

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

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 27.04.04 Управление в технических системах
Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы |
|---|
| Разработка подхода к настройке регулятора с гарантированной динамикой САУ при изменяющихся во времени параметрах |

УДК 681.515-77:681.516.7

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 8АМ61 | Зарипов Сергей Сергеевич | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------|------|
| Руководитель ВКР, доцент ОАР ИШИТР | Ефимов Семён Викторович | к.т.н. | | |
| Руководитель ООП, доцент ОАР ИШИТР | Пушкарев Максим Иванович | к.т.н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------|--------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН | Баннова Кристина Алексеевна | к.э.н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|---------------------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент ОКД | Авдеева Ирина Ивановна | | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОАР ИШИТР | Леонов Сергей Владимирович | к.т.н. | | |

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

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

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

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 27.04.04 Управление в технических системах
 Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|--------------------------|
| 8АМ61 | Зарипов Сергей Сергеевич |

Тема работы:

Разработка подхода к настройке регулятора с гарантированной динамикой САУ при
 изменяющихся во времени параметрах

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 2181/с от 28 марта 2018 г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

09.06.2018

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|---|
| <p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(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.).</i></p> | <p>Имитационный стенд буровой установки</p> |
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования,</i></p> | <p>Проведение аналитического обзора. Разработка подхода к настройке регулятора. Синтез регулятора. Идентификация объекта управления. Проведение моделирования регулятора в ППП MatlabR2013b и на имитационном стенде. Разработка программы в среде Codesys для ПЛК</p> |

| | |
|--|--|
| <i>конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i> | ОВЕН Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Социальная ответственность. Выводы по результатам работы. |
| Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i> | Графики переходных процессов при изменении интервальных параметров ПФ |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i> | |
| Раздел | Консультант |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Доцент ОСГН, к.э.н. Баннова Кристина Алексеевна |
| Социальная ответственность | Ассистент ОКД, Авдеева Ирина Ивановна |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: | |
| Системы управления с интервальными параметрами | |

| | |
|---|------------|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | 01.03.2018 |
|---|------------|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОАР ИШИТР | Ефимов Семён Викторович | к.т.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 8АМ61 | Зарипов Сергей Сергеевич | | |

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

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 27.04.04 Управление в технических системах
Уровень образования Магистратура
Отделение автоматизации и робототехники
Период выполнения (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

| |
|--------------------------|
| Магистерская диссертация |
|--------------------------|

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

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

| | |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 09.06.2018 |
|--|------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 09.06.18 | Основная часть | 60 |
| 04.06.18 | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 15 |
| 04.06.18 | Социальная ответственность | 10 |
| 04.06.18 | Обязательное приложение на иностранном языке | 15 |

Составил преподаватель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОАР ИШИТР | Ефимов Семён Викторович | к.т.н. | | |

СОГЛАСОВАНО:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|--------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОАР ИШИТР | Пушкарев Максим Иванович | к.т.н. | | |

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

Студенту:

| | |
|-----------------|---------------------------------|
| Группа 8АМ61 | ФИО Зарипов Сергей Сергеевич |
|-----------------|---------------------------------|

| | | | |
|--|--------------|---|--|
| Инженерная школа информационных технологии и робототехники | | Отделение автоматизации и робототехники | |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | 27.04.04 «Управление в технических системах» |

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

| | |
|---|---|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): | Работа с информацией, предоставленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических 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. Предпроектный анализ | Проведение предпроектного анализа: оценка потенциальных потребителей, SWOT анализ, определение возможных альтернатив НТИ. |
| 2. Инициация проекта | Определение структуры и трудоёмкости работ в рамках НТИ, разработка графика проведения НТИ, планирование бюджета НТИ |
| 3. Планирование управления научно-техническим проектом | Составление перечня этапов и работ по выполнению НИР, составление калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов. Бюджетирование и организация структуры предприятия. |
| 4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности | Определение эффективности и перспектив научного исследования. |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

| |
|--|
| 1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений |
| 2. Функционально-стоимостная диаграмма |
| 3. График проведения и бюджет НТИ |
| 4. Календарный план проекта |
| 5. Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе |
| 6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ |

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

| | | | | |
|-----------------------------------|--------------|------------------------|---------|------------|
| Задание выдал консультант: | | | | |
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент ОСГН | Баннова К.А. | К.Э.Н. | | 01.03.2018 |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|--------|--------------------------|---------|------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 8АМ61 | Зарипов Сергей Сергеевич | | 01.03.2018 |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | |
|---------------|--------------------------|
| Группа | ФИО |
| 8АМ61 | Зарипов Сергей Сергеевич |

| | | | |
|---|--------------|--|--|
| Инженерная школа информационных технологий и робототехники | | Отделение автоматизации и робототехники | |
| Уровень образования | магистратура | Направление/специальность | 27.04.04 Управление в технических системах |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|--|--|
| <p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) | <p>Рабочим местом является имитационный стенд в помещении. Рабочей зоной является место за персональным компьютером. Технологический процесс представляет собой автоматическое поддержание оборотов двигателя. Здание, в котором находится имитационный стенд, расположено в 10 корпусе ТПУ.</p> |
|--|--|

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|---|
| <p>1. Производственная безопасность:</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем индивидуальные защитные средства). | <p>1. Отклонение показателей микроклимата;</p> <p>2. Недостаточная освещённость рабочей зоны.</p> <p>3. Повышенный уровень шума на рабочем месте;</p> <p>4. Повышенный уровень электромагнитных излучений;</p> <p>5. Психофизиологические факторы</p> |
| <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); | <p>Электрический ток (Источником является ПК, двигатель) (Короткое замыкание), (Статическое электричество)</p> |

| | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). | |
| <p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу; – анализ воздействия объекта на гидросферу; – анализ воздействия объекта на литосферу; – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. | Утилизация люминесцентных ламп, комплектующих персонального компьютера, макулатуры |
| <p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. | Возможная ЧС техногенного характера: пожар. Мероприятия по предупреждению (снижению) последствий взрыво- и пожароопасных объектов |
| <p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | -Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. -ТК РФ ФЗ 197 «Регулирующий трудовые отношения» |

| | |
|---|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 01.03.2018 |
|---|------------|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|------------------------|------------------------|---------|------------|
| Ассистент ОКД | Авдеева Ирина Ивановна | | | 01.03.2018 |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------------|
| 8АМ61 | Зарипов Сергей Сергеевич | | 01.03.2018 |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 119 листов, 31 рисунок, 27 таблиц, 28 литературных источников и 2 приложения.

Ключевые слова: регулирование, система автоматического управления, интервальная система, методы синтеза, переходной процесс, полюсы.

Объектом исследования является система с интервально заданными параметрами, у которой в процессе эксплуатации происходит изменение параметров ПФ.

Целью работы является разработка подхода к настройке линейного регулятора, гарантирующего заданные прямые показатели качества переходных процессов для передаточной функции системы с интервально заданными параметрами. Методика синтеза регулятора состоит в фиксировании вещественных корней системы желаемым образом для создания нужных прямых показателей качества с учетом возможного изменения параметров передаточной функции в заданных интервалах.

Результатом является методика расчета коэффициентов ПИ-регулятора, позволяющая расположить корни характеристического полинома замкнутой интервальной системы желаемым образом, позволяя добиться нужных прямых показателей качества с учетом возможного изменения параметров передаточной функции в заданных интервалах.

Разработанная методика апробирована на лабораторном стенде, имитирующем работу буровой установки.

Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord 2010 с применением программных пакетов Matlab.

Обозначения и сокращения

МИКГ- многопараметрический интервальный корневой годограф;

ИХП- интервальный характеристический полином;

САУ- система автоматического управления;

ИСАУ-интервальная система автоматического управления;

САР – система автоматического регулирования;

ОУ – объект управления;

ХП-характеристический полином;

ПФ-передаточная функция;

ПИ-пропорционально-интегрирующий;

ПК- персональный компьютер.

Оглавление

| | |
|--|----|
| Введение..... | 13 |
| 1. Методы синтеза регулятора | 14 |
| 1.1. Синтез регуляторов полного порядка | 14 |
| 1.2. Синтез регуляторов пониженного порядка..... | 15 |
| 2. Системы управления с интервальными параметрами | 18 |
| 2.1. Интервалы и интервальная арифметика | 18 |
| 2.2. Интервальные характеристические полиномы | 20 |
| 2.3. Отображение многогранника коэффициентов ИХП на | 22 |
| корневую плоскость..... | 22 |
| 2.4 Робастная устойчивость полиномов | 25 |
| 2.5 Определение показателей качества системы в динамике процесса | 27 |
| изменения интервальных параметров..... | 27 |
| 3. Постановка задачи..... | 39 |
| 3.1 Описание имитационного стенда..... | 41 |
| 3.2. Обеспечение желаемого вещественного полюса стационарной | 44 |
| системы | 44 |
| 3.2.1. Разделение характеристического полинома на доминирующий и | 45 |
| свободный..... | 45 |
| 3.2.2. Обеспечение желаемого вещественного полюса | 46 |
| стационарной САУ | 46 |
| 3.2.3. Методика синтеза ПИ-регулятора стационарной системы | 49 |
| 3.2.4. Методика синтеза ПИ-регулятора интервальной системы | 50 |
| 3.3 Расчет параметров ПИ-регулятора для их апробации на имитационном | 50 |
| стенде..... | 50 |
| 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 54 | |
| 4.1. Предпроектный анализ..... | 55 |
| 4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования..... | 55 |
| 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурс | 57 |
| эффективности и ресурсосбережения..... | 57 |
| 4.1.3 Диаграмма Исикавы..... | 59 |
| 4.1.4 SWOT-анализ | 60 |

| | |
|--|-----|
| 4.1.5 Оценка готовности проекта к коммерциализации | 62 |
| 4.2. Инициализация проекта | 64 |
| 4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) | 71 |
| 4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ..... | 71 |
| 4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ | 72 |
| 4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы | 73 |
| 4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)..... | 74 |
| 4.3.5 Накладные расходы | 75 |
| 4.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования . | 76 |
| 4.4.1 Оценка научно-технического уровня НИР | 77 |
| 5 Социальная ответственность | 79 |
| 5.1 Анализ вредных и опасных факторов..... | 79 |
| 5.2 Анализ вредных факторов..... | 80 |
| 5.2.1 Отклонения показателей микроклимата..... | 80 |
| 5.2.2. Повышенный уровень шума | 81 |
| 5.2.3. Повышенный уровень электромагнитных излучений | 83 |
| 5.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны..... | 84 |
| 5.2.5 Психофизиологические факторы | 85 |
| 5.3 Анализ опасных факторов..... | 86 |
| 5.3.1 Электробезопасность..... | 86 |
| 5.3.2 Экологическая безопасность | 88 |
| 5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 90 |
| 5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. | 92 |
| Заключение | 95 |
| Список использованных источников | 96 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А | 99 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б..... | 118 |

Введение

Поддержание оборотов двигателя является основной задачей на многих объектах автоматизации. Особенно остро эта проблема стоит в интервальных системах, где при изменении нагрузки обороты двигателя начинают меняться и удержать прямые показатели качества данной в этот момент становится проблематично.

Объектом данного исследования является имитационный стенд буровой установки, который моделирует процесс бурения скважины, при котором обороты вращения буровой колонны могут изменяться в момент прохождения колонны различных земных пород, имеющих различную твердость. В данном случае интервальность системы задается изменяющимся моментом двигателя, который зависит от напряжения питания самого двигателя, что отражается на передаточной функции объекта управления.

Однако обеспечение постоянной скорости вращения буровой колонны в условиях изменяющихся значений параметров требует моделирования такой системы, научных исследований и разработки подходов к настройке параметров регуляторов, гарантирующих требуемые показатели качества.

Целью работы является разработка подхода к синтезу параметров регулятора для динамически изменяющейся САУ на примере имитационного стенда.

1. Методы синтеза регулятора

Для разработки подхода к настройке регулятора необходимо произвести его синтез. В настоящее время имеется множество методов синтеза систем автоматического регулирования. Большая часть из них связана с линейными одноканальными системами [1,2,3,4,5]. Меньшее количество работ связано с многоканальными методами, используемые при синтезе систем управления. В большинстве случаев при синтезе усложняют закон управления, но, чем проще закон управления, тем проще изготовление регулятора, тем меньше его стоимость и выше надежность эксплуатации системы. Вследствие этого разработчики промышленных систем автоматического управления внедряют в инженерную практику ПИ-, ПИД- и другого вида простых регуляторов. Таким образом, создание подхода к синтезу систем с регулятором пониженного порядка является достаточно актуальной задачей.

1.1. Синтез регуляторов полного порядка

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

Для одноканальных систем в основном применяются следующие методы синтеза:

-модальный метод синтеза в пространстве состояний с наблюдателем полного или пониженного порядка [6];

-модальный метод синтеза с использованием полиномиального представления [7];

-метод локализации [8];

-частотный метод синтеза [6].

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

Перечисленные выше методы также можно применять и для анализа и синтеза многоканальных систем управления, например, модальный метод синтеза с использованием полиномиальных матриц [9], модальный метод синтеза в пространстве состояний [10] и ряд других работ, рассматривающих различные примеры синтеза многоканальных систем.

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

1.2. Синтез регуляторов пониженного порядка

В настоящее время при синтезе систем управления идут по пути усложнения закона управления, а, следовательно, и самого регулятора.

Достоинством такого решения является желаемое расположение каждого полюса регулируемой системы. Однако на качество переходных процессов в системе влияет расположение корней в определенной заданной области. И если ограничиваться только желаемой областью, то задачу анализа и синтеза можно решить с помощью регулятора меньшей степени или с меньшим числом параметров [7], иначе говоря, с помощью регулятора пониженного порядка.

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

этом случае данная задача может решаться с помощью различных численных процедур.

Например, оптимизационный сдвиг корней замкнутой системы в желаемую область в пространстве осуществлять, изменяя параметры регулятора [11].

Однако практическая реализация вычислительного процесса затруднена, поскольку корни могут быть как действительными, так и комплексными, так что реальное соотнесение метрических пространств коэффициентов и корней осуществимо только в объемлющих n -мерных комплексных пространствах. В работе [12] представлены совмещенные декартовы координаты как для действительных, так и для комплексно сопряжённых пар корней, позволяющие ограничиться n -мерными действительными пространствами, что упрощает оптимизационную процедуру анализа и синтеза регулятора пониженного порядка.

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

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

- по квадратичному критерию при ограничениях на норму передаточной функции замкнутой системы [8];
- использованием свойств нормы некоторой верхней оценки разности собственных значений путем оптимизации некоторого функционала [9];
- посредством использования некоторых взвешивающих функций, минимизируются сингулярные значения оператора замкнутой системы [13];

-с помощью интерполяционных методов так, чтобы частотная характеристика проектируемой системы [14] или ее переходная характеристика [15] имела наперед заданные значения на заданном наборе частот или временных отсчетов;

-с помощью оптимизационного алгоритма с использованием свойств кривизны и области расположения корней производного (интегрального) полинома [6].

В [6] представлены градиентный метод, метод производных, метод положительной кривизны, а также метод линеаризации, основанный на достаточном условии устойчивости.

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

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

Метод линеаризации основан на достаточном условии устойчивости [16] :

$$c_{i-1}c_{i+2} < \lambda c_i c_{i+1}, i = \overline{1, d-2}, \quad (1.1)$$

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

d -степень характеристического полинома системы. Для задач синтеза многоканальных систем данный алгоритм применим в случае, если желаемая

матрица «знаменателя» замкнутой системы имеет диагональный или треугольный вид. Так как в этом характеристический полином определяется как произведение элементов стоящих на главной диагонали. К сожалению, данный метод носит достаточный характер, но по сравнению с методом частных производных он довольно прост и хорошо формализуется даже для многоканального случая.

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

2. Системы управления с интервальными параметрами

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

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

2.1. Интервалы и интервальная арифметика

Интервалом называется область значений какого-либо параметра системы, ограниченная с двух сторон. Письменно интервал обычно обозначается буквой латинского алфавита, заключенной в квадратные скобки; верхняя и нижняя границы интервала обозначаются той же буквой с чертой над или под ней соответственно:

$$[x] = [\underline{x}; \bar{x}] \quad (2.1)$$

Совокупность операций, проводимых над интервалами, называется интервальным анализом. Интервальный анализ является развитием теории множеств и позволяет выполнять основные арифметические операции над интервалами, операции над интервальными матрицами; позволяет вычислять значение трансцендентных функций от интервалов и прочее [17].

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

$$[x] + [y] = [\underline{x} + \underline{y}; \bar{x} + \bar{y}] \quad (2.2)$$

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

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

$$[x] - [y] = [\underline{x} - \bar{y}; \bar{x} - \underline{y}] \quad (2.3)$$

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

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

$$[x] \cdot [y] = [\min\{\underline{x}\underline{y}, \underline{x}\bar{y}, \bar{x}\underline{y}, \bar{x}\bar{y}\}; \max\{\underline{x}\underline{y}, \underline{x}\bar{y}, \bar{x}\underline{y}, \bar{x}\bar{y}\}] \quad (2.4)$$

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

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

$$\frac{1}{[y]} = \begin{cases} 0, [y] = [0, 0] \\ \left[\frac{1}{\underline{y}}, \frac{1}{\bar{y}} \right], 0 \notin [y] \\ \left[\frac{1}{\underline{y}}, \infty \right], \underline{y} = 0, \bar{y} > 0 \\ \left[-\infty, \frac{1}{\bar{y}} \right], \bar{y} = 0, \underline{y} < 0 \\ [-\infty, \infty], \underline{y} < 0, \bar{y} > 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

2.2. Интервальные характеристические полиномы

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

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

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

$$P(s) = \left\{ P(s) = \sum_{i=0}^n [a_i] \cdot s^i : \underline{a}_i \leq a_i \leq \bar{a}_i, a_n > 0 \right\} \quad (2.6)$$

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

Полилинейная или *мультилинейная* неопределенность предполагает, что коэффициенты ИХП представляют собой полиномы первой степени относительно одного из интервальных параметров при замене прочих интервальных параметров константами. От аффинной неопределенности

отличается тем, что допускается зависимость ИХП еще и от произведений интервальных параметров.

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

$$P(s) = \{P(s, q) = P_0 + q_1 \cdot P_1(s) + \dots + q_l \cdot P_l(s), q \in Q\} \quad (2.7)$$

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

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

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

В данной работе рассматривается интервальный тип неопределенности, к которому на основании законов интервальной арифметики может быть сведен любой более сложный тип неопределенности. Переход к ней возможен на основании правил интервальной математики [18]. С этой точки зрения наиболее простой является интервальная неопределенность, здесь необходимо иметь в виду, что при таком упрощении создается область переограничения, и показатели качества синтезируемой интервальной системы могут немного отличаться от действительных показателей качества системы с более сложным типом неопределенности.

В настоящее время много внимания уделяется ИСАУ. При интервальной неопределенности существует проблема усиления настроек регуляторов при их расчете на наиболее неблагоприятные режимы работы

САУ ТП. Одним из путей ее решения может быть обеспечение в САУ гарантированного запаса устойчивости, при функционировании в наихудшем режиме.

2.3. Отображение многогранника коэффициентов ИХП на корневую плоскость

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

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

$$W(s) = \frac{1}{s^2 + [a_1] \cdot s + [a_0]} \quad (2.8)$$

Очевидно, что режим работы данной системы полностью определяется совокупностью значений двух интервальных параметров: $[a_1]$ и $[a_0]$.

Можно сказать, что совокупность возможных режимов работы системы ограничивается квадратом в двумерном пространстве перечисленных параметров.

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

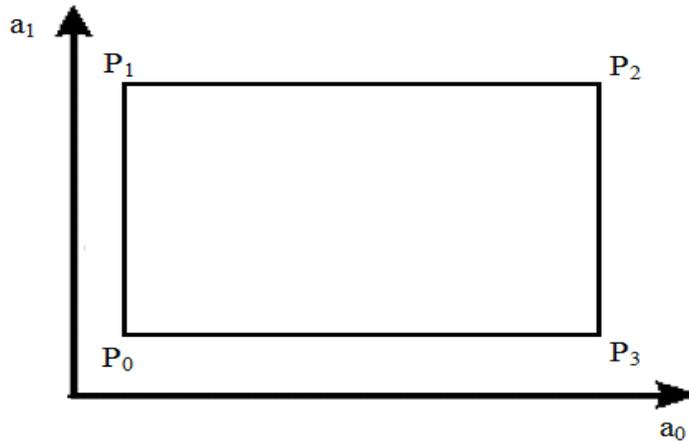


Рисунок 2.1 – Параметрический многогранник гипотетической системы второго порядка

Очевидно, что координаты каждой вершины параметрического многогранника представляют собой совокупность крайних значений интервалов. Например, вершина P_0 имеет в пространстве параметров $[\underline{a}_0; \underline{a}_1]$ системы координаты вершина P_1 – координаты $[\underline{a}_0; \overline{a}_1]$. Очевидно при этом, что ребро PP_1 соответствует изменению параметра a_0 от его нижней границы \underline{a}_0 до верхней границы \overline{a}_0 . Стоит отметить, что число ребер параметрического многогранника системы с интервальной неопределенностью определяется выражением:

$$N = m \cdot 2^{m-1} \quad (2.9)$$

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

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

называемый многопараметрическим интервальным корневым годографом (МИКГ).

Пусть интервальные коэффициенты передаточной функции (2.8) заданы следующим образом: $a_0 = [2;5]; a_1 = [3;6]$, тогда МИКГ будет иметь следующий вид(рисунок 2.2).

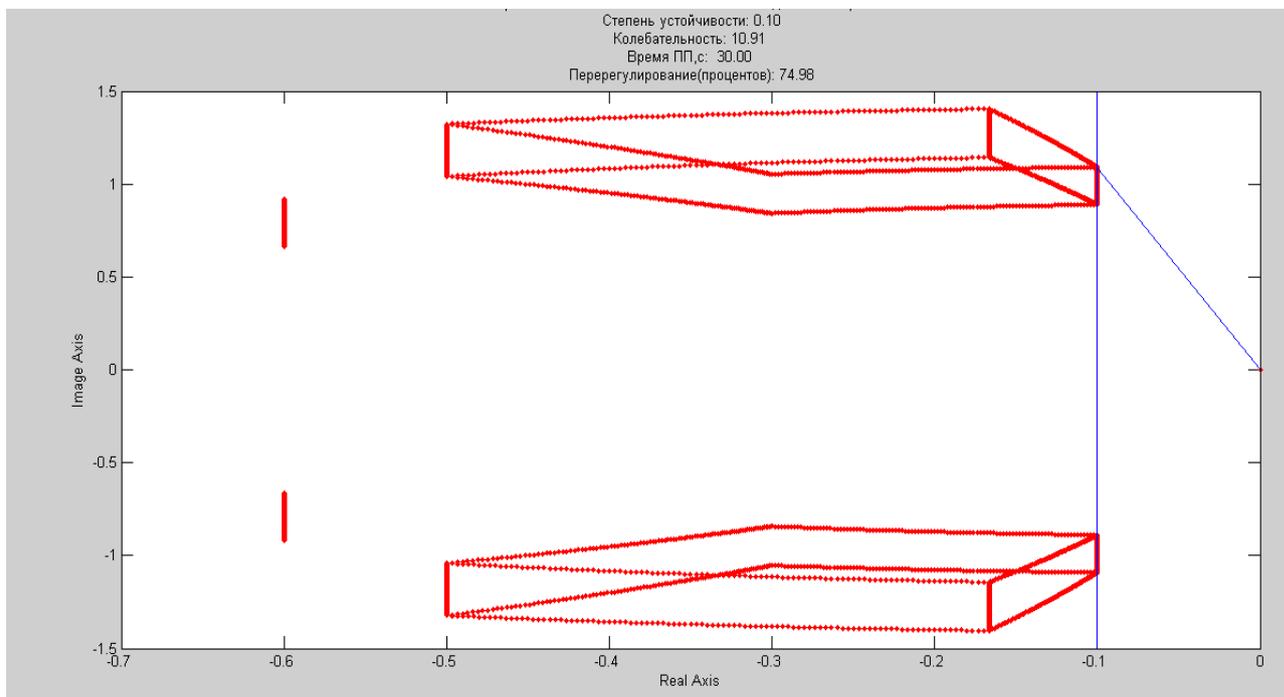


Рисунок 2.2 – Многопараметрический интервальный корневой годограф произвольной системы второго порядка

Данный годограф позволяет определить степень робастной устойчивости системы и робастную колебательность системы. Степень робастной устойчивости определяется минимальным расстоянием от мнимой оси до ближайшей границы области локализации полюсов, в данном случае $\eta = 0.1$. Степень робастной колебательности определяется минимальным углом, в котором располагаются все области локализации полюсов, здесь $\mu = 10.91$.

2.4 Робастная устойчивость полиномов

Система автоматического управления, которая обладает свойством сохранять заданный запас устойчивости на всем интервале изменений параметров, настроек системы в результате их технологического разброса, физического и морального износа. Влияния условий эксплуатации на предприятии, качества поддержания параметров нагрузки, а также на всем интервале действующих на систему сигналов возмущений в реальных эксплуатационных условиях, называют робастной. В литературе упоминается [19], что робастность (от англ. robust - крепкий, не допускающий возражений, сильный) и грубость используют как эквивалентные термины, но это не так.

Понятие грубости обычно трактуют как малая чувствительность к изменению параметров динамической системы при небольших изменениях ее математической модели. Известно, что фундаментальным свойством любой динамической системы является ее устойчивость, больше всего интересуются грубой устойчивостью, грубость переходных характеристик и процессов, точностная грубость, частотных характеристик грубость и т.д.

Говоря о свойстве робастности, предполагают более широкий смысл, включающий в себя знание количественных и качественных оценок допустимых вариаций математической модели. То есть на сегодняшний день «грубость» может описываться как один из частных случаев робастности.

Системы, обладающие свойством робастности, называются робастными системами.

Если система задана, как семейство полиномов

$$P(s, Q) = \{P(s, q) = a_0(q) + a_1(q)s + \dots + a_n(q)s^n, q \in Q\} \quad (2.10)$$

коэффициенты $a_i(q)$ которых зависят от параметров q , изменяющихся в допустимом множестве Q . Это семейство называется робастно устойчивым, если $P(s, q)$ устойчивы при всех $q \in Q$, т. е.

$$\operatorname{Re} s_i(q) < 0, i = 1, \dots, n, q \in Q \quad (2.11)$$

Где $s_i(q)$ - корни $P(s,q)$. Таким образом, здесь имеем дело с непрерывной устойчивостью.

Приведем один общий принцип (часто называемый принципом исключения нуля), позволяющий строить конструктивные алгоритмы проверки робастной устойчивости.

Принцип исключения нуля. Пусть $P(s,q^0)$ устойчив для некоторого, множество Q связно, и $a_n(q) \neq 0$ для всех $q \in Q$

Тогда условие

$$0 \notin S(\omega) = \{P(j\omega, q) : q \in Q\} \quad \forall 0 \leq \omega < \infty \quad (2.12)$$

необходимо и достаточно для робастной устойчивости семейства (2.10). Множество $S(\omega)$ называется областью значений полиномиального семейства (2.10); это двумерный образ множества Q при преобразовании $P(j\omega)$.

Для того, чтобы конструктивно пользоваться принципом, нужно, во-первых, строить множества $S(\omega)$, а во-вторых, уметь эффективно проверять условие (2.12). И то, и другое возможно для ряда важных частных случаев задачи о робастной устойчивости. Приступим к их анализу.

Начнем с интервального полинома

$$\begin{aligned} P(s) = \{P(s) = a_0 + a_1s + \dots + a_n s^n, \\ \underline{a}_i \leq a_i \leq \overline{a}_i, i = 0, \dots, n, \underline{a}_0 > 0, \underline{a}_n > 0\}, \end{aligned} \quad (2.13)$$

параметрами которого являются сами коэффициенты полинома, изменяющиеся в параллелепипеде. Рассмотрим четыре полинома, составленных из крайних значений коэффициентов, чередующихся парами (два нижних значения - два верхних)

$$\begin{aligned} P_1(s) &= \underline{a}_0 + \underline{a}_1s + \overline{a}_2s^2 + \overline{a}_3s^3 + \dots, \\ P_2(s) &= \overline{a}_0 + \underline{a}_1s + \underline{a}_2s^2 + \overline{a}_3s^3 + \dots, \\ P_3(s) &= \overline{a}_0 + \overline{a}_1s + \underline{a}_2s^2 + \underline{a}_3s^3 + \dots, \\ P_4(s) &= \underline{a}_0 + \overline{a}_1s + \overline{a}_2s^2 + \underline{a}_3s^3 + \dots \end{aligned} \quad (2.14)$$

Эти так называемые полиномы Харитонова.

Для робастной устойчивости интервального семейства (2.13) необходимо и достаточно, чтобы все полиномы Харитонова были устойчивы, т.е. корни характеристического полинома были отрицательными. Так же по ним можно определить максимальные прямые показатели качества, т.е. они не будут больше найденных по полиномам Харитонова.

2.5 Определение показателей качества системы в динамике процесса изменения интервальных параметров

Прямыми показателями качества называются показатели, которые получаются непосредственно по переходной характеристике. Из прямых показателей качества наиболее часто используют время регулирования и перерегуливание (рисунок 2.3).

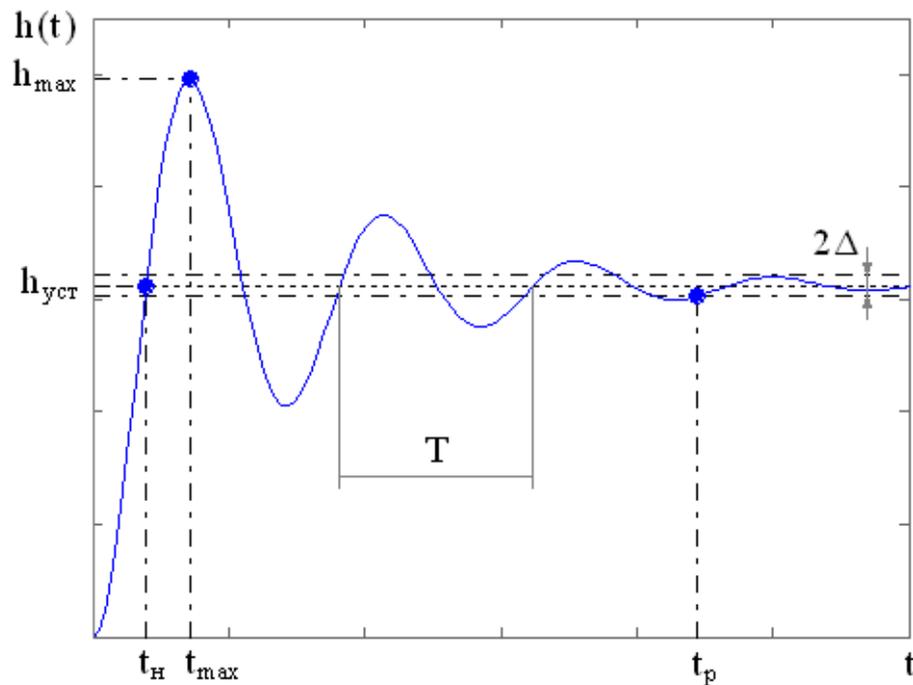


Рисунок 2.3- График переходного процесса

Основные прямые показатели качества системы:

- $h_{уст}$ - установившееся значение – конечное значение переходной характеристики;

- t_n - время нарастания – время до момента, когда переходная характеристика впервые достигает значения $h_{уст}$;

- перерегулирование $\sigma = \frac{h_{\max} - h_{уст}}{h_{уст}} \cdot 100\%$;

- время регулирования t_p – время, за которое сигнал достигает заданного значения с допустимым отклонением (с заданной точностью Δ)

$$\Delta = (0.03 \div 0.05)h_{уст} ;$$

- число колебаний n – число колебаний переходной характеристики за время t_p . Первый выброс не учитывается;

- частота колебаний $\omega = \frac{2\pi}{T_k}$.

В п.2.3 определены косвенные показатели качества-робастная устойчивость системы (η) и робастная колебательность системы (μ). Зная η и μ можно найти σ и t_p и наоборот (2.15).

$$t = \frac{3}{\eta} \tag{2.15}$$

$$\sigma = e^{-\frac{\pi}{\mu}}$$

Пусть для моделирования переходного процесса системы из одного состояния в другое задана ПФ с характеристическим полиномом 3-го порядка (2.16).

$$W(s) = \frac{a_1s + a_0}{b_3s^3 + b_2s^2 + b_1s + b_0} = \frac{0.1s + [2;4]}{s^3 + 3s^2 + [3;4]s + [2;4]} \tag{2.16}$$

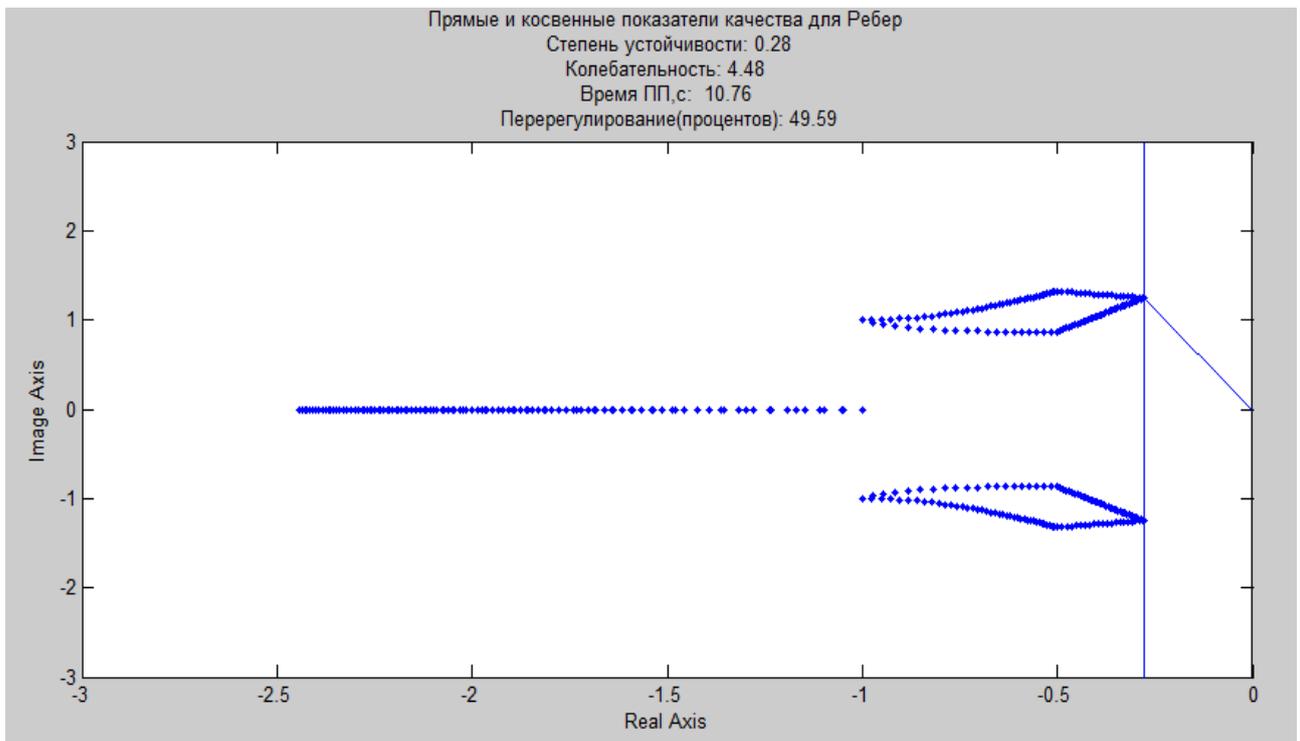


Рисунок 2.4 – Корни интервальной системы и ее показатели качества на корневой плоскости

Для (2.16) можно найти корневые показатели качества, которые лежат на ребрах параметрического многогранника. Переходя от корневых показателей качества к прямым можно узнать, что $\delta = 49.59\%$, $t_p = 10.76c$.

Отсюда следует, что для (2.16) прямые показатели качества в переходных процессах для всех возможных комбинаций крайних интервалов ПФ не могут превысить данные показатели. Это показано на рисунке 2.5.

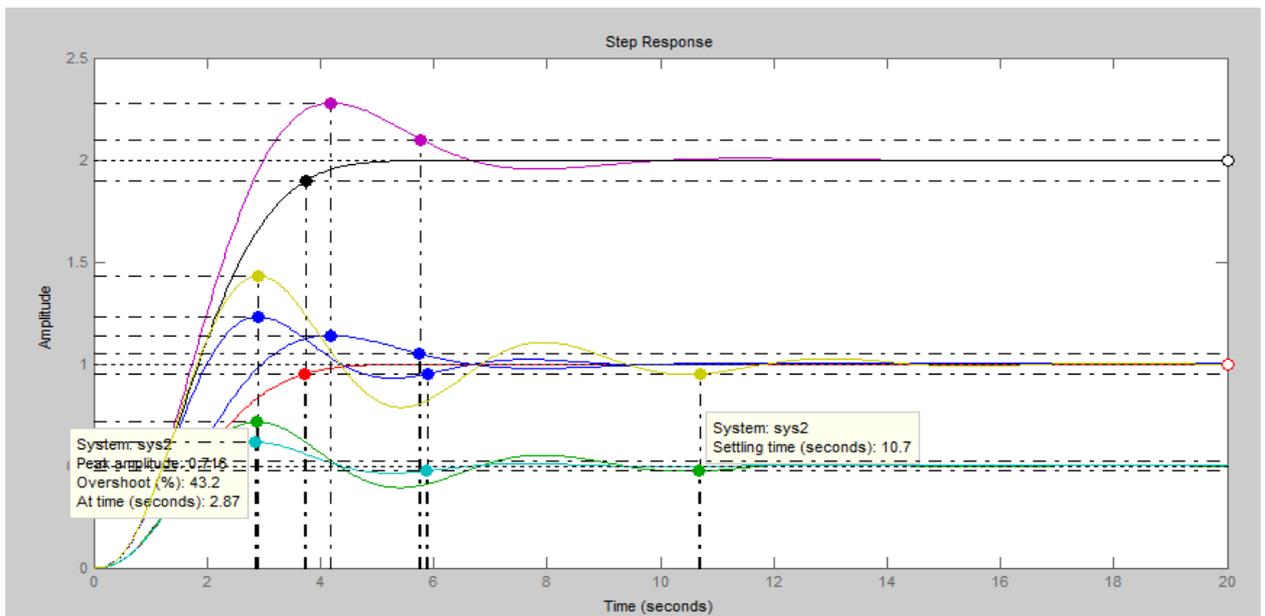


Рисунок 2.5- Графики переходных процессов

Но так же был рассмотрен случай, когда параметр a_0 меняется со 2 до 4 секунды с шагом 0.5(рисунок 3.4) с целью выяснить превышение прямых показателей. На рисунке 2.6 синим цветом показаны переходные процессы для состояния системы, при котором полюсы ПФ находятся на ребрах параметрического многогранника, красным - внутри него. В итоге оказалось, что при изменении параметра a_0 ПФ (2.16) менялась только уставка, но прямые показатели не выходили за пределы, оговоренные выше.

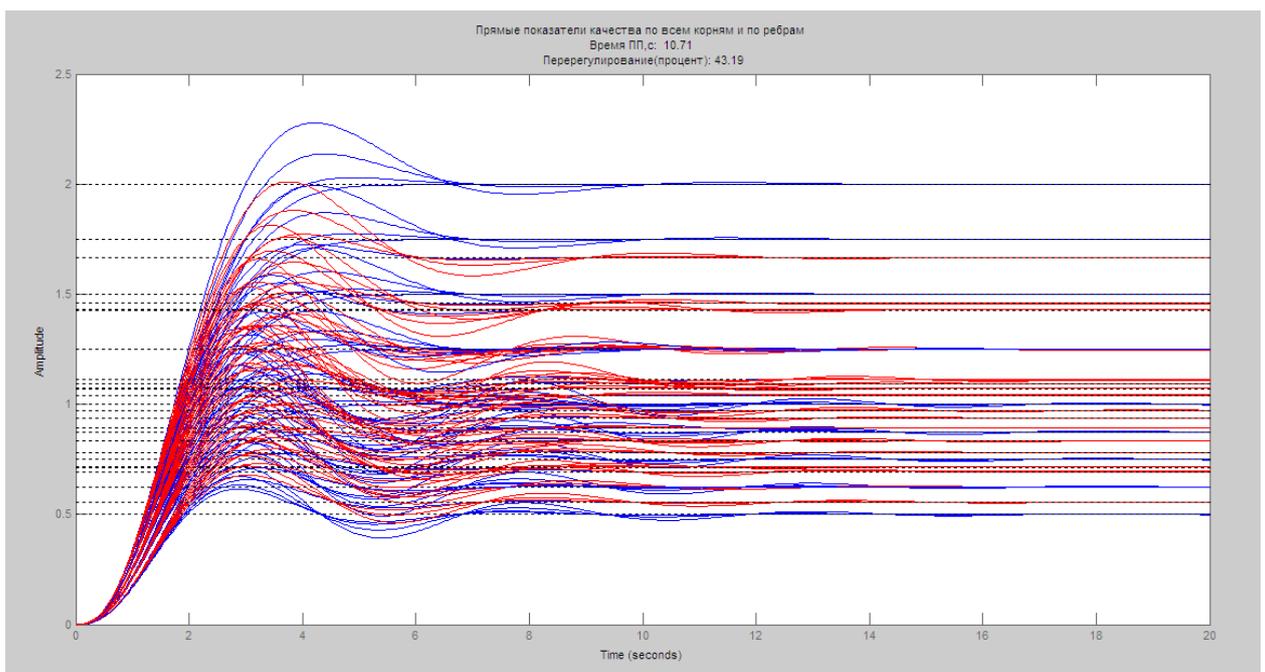


Рисунок 2.6 - Переходной процесс для передаточной функции

Сделано предположение о том, что переход из одного состояния в другое происходит не сразу, а плавно в течение какого-то времени. Для этого предположения собрана схема (рисунок 2.7) и написана программа для моделирования (Приложение Б)

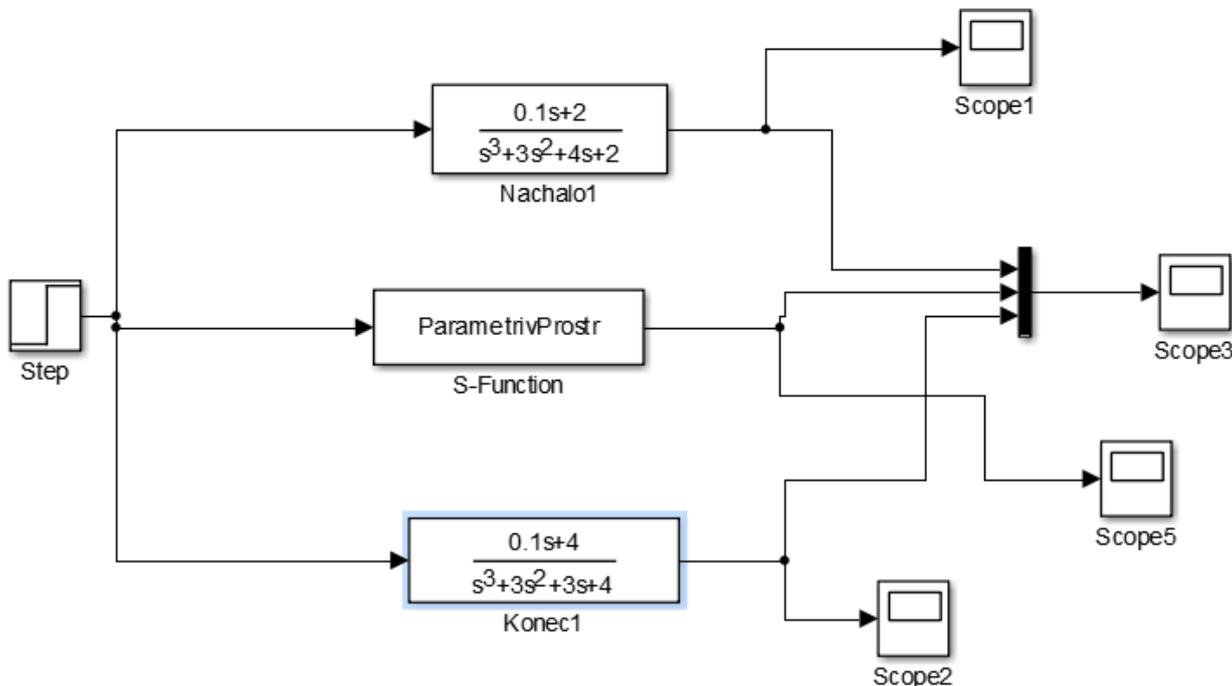


Рисунок 2.7 - Схема в Simulink-e

Произведена серия экспериментов, при которой различные параметры (2.16) менялись линейно за какой-то промежуток времени.

Промоделирован переход (рисунок 2.8) с $W(s) = \frac{0.1s + 2}{s^3 + 3s^2 + 4s + 2}$ до

$W(s) = \frac{0.1s + 4}{s^3 + 3s^2 + 3s + 4}$, где интервальные параметры линейно меняются за промежуток времени с 1 по 3 секунду. Здесь видно, что $\delta = 55.22\%$, $t_p = 11.25c$ выходят за пределы прямых показателей качества, оговоренных по теореме Харитонова.

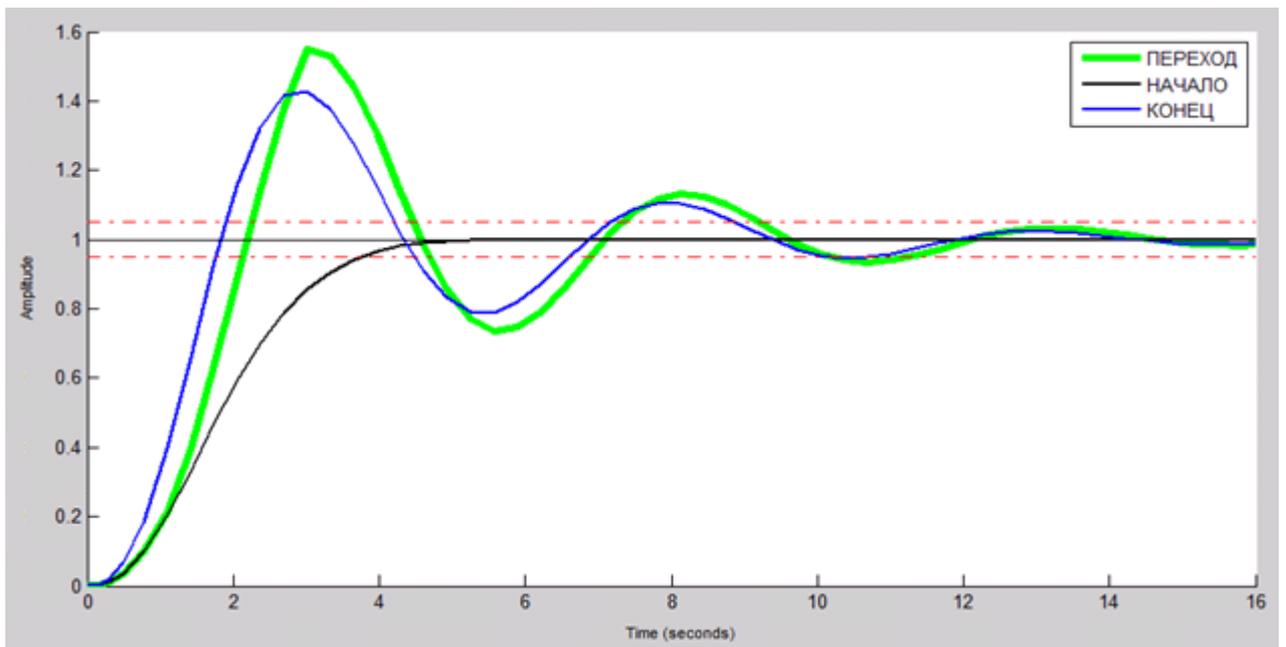


Рисунок 2.8 - Графики переходных процессов

В реальной жизненной ситуации имеет место случай, когда уже в устоявшемся режиме параметры ПФ меняются, к примеру, момент электродвигателя, отвечающий за них. Для данного случая проведен эксперимент (рисунок 2.9), где система переходит в первоначальное

состояние с $W(s) = \frac{0.1s + 4}{s^3 + 3s^2 + 3s + 4}$ до $W(s) = \frac{0.1s + 2}{s^3 + 3s^2 + 4s + 2}$ при этом интервальные параметры линейно меняются за интервал времени от 20 до 24 с.

По рисунку 2.9 видно, что $\delta = 54.88\%$ и $t_p = 14.55c$ выходят за пределы прямых показателей качества, оговоренных по теореме Харитонова.

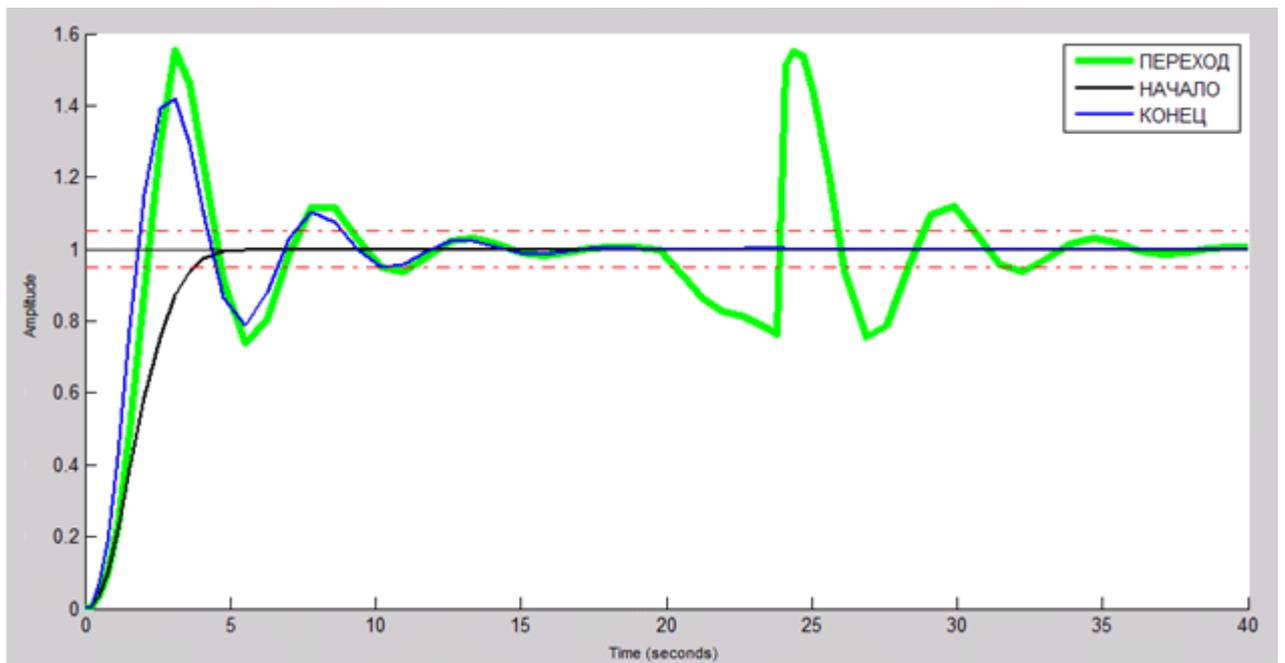


Рисунок 2.9 - Графики переходных процессов

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что и при динамическом и статическом характере протекания переходных процессов прямые показатели качества выходят за пределы, оговоренных по теореме Харитонова.

Далее была проведена серия экспериментов чтобы узнать как ведет себя система, если ее обхватить отрицательной обратной связью с настроенным ПИ-регулятором (рисунок 2.10), приводящую систему в установившийся режим для всех комбинаций крайних интервалов ПФ (рисунок 2.11).

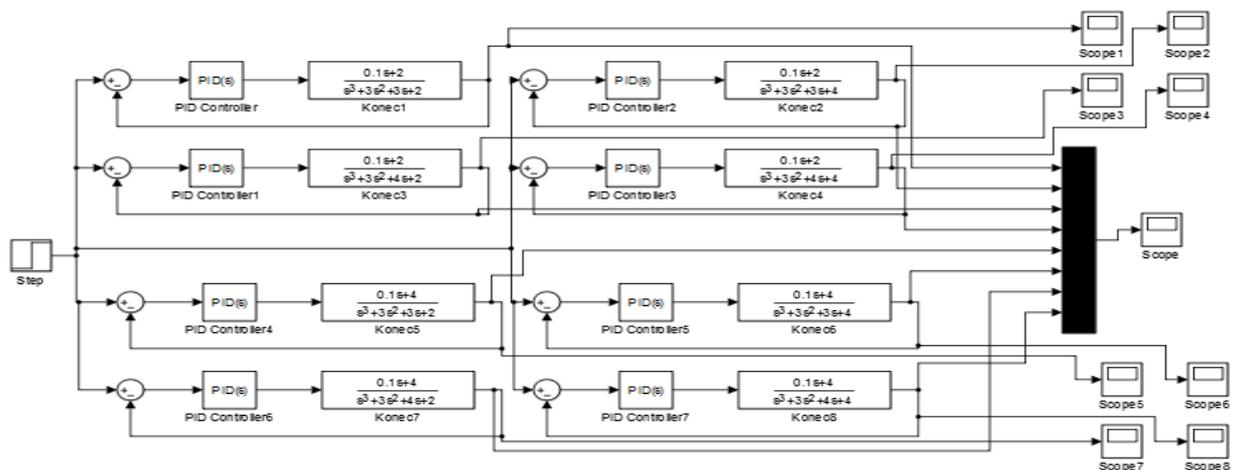


Рисунок 2.10 - Схема в Simulink-e

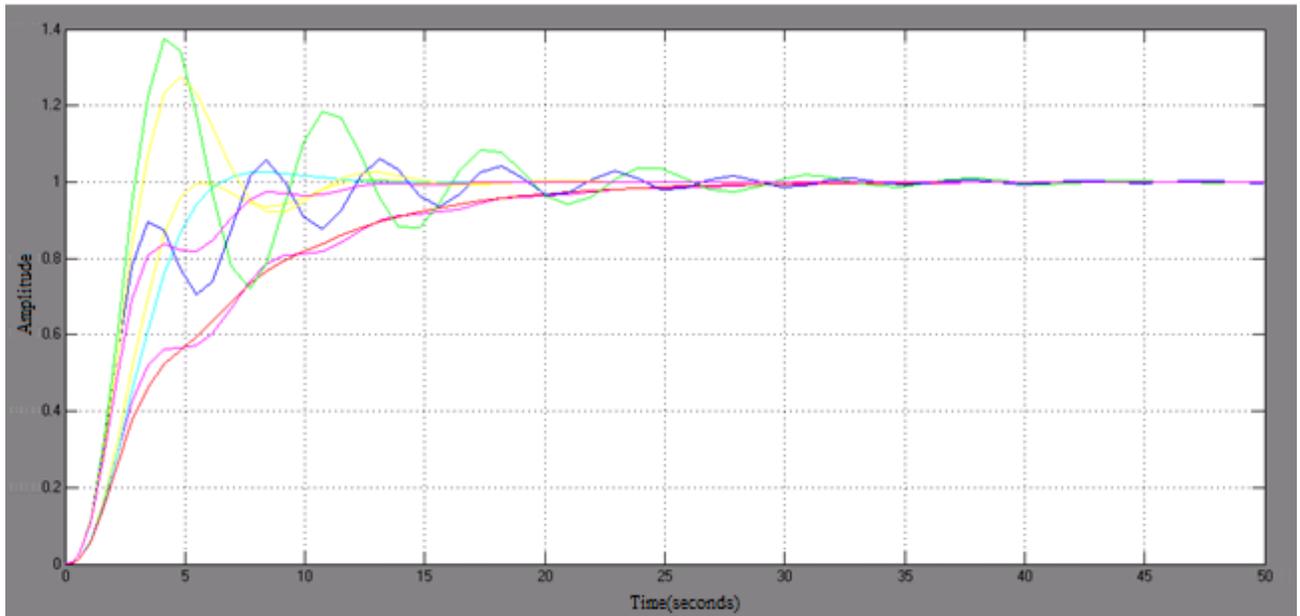


Рисунок 2.11- Графики переходных процессов

По рисунку 2.11 можно определить наилучшие и наихудшие прямые показатели. Наихудшие обнаружены у (2.17), они составляют $\delta = 37.35\%$, $t_p = 21.43c$. Наилучшие прямые показатели качества обнаружены у (2.18), они составляют $\delta = 0\%$ и $t_p = 17.3c$.

$$W_1(s) = \frac{0.1s + 4}{s^3 + 3s^2 + 3s + 2} \quad (2.17)$$

$$W_2(s) = \frac{0.1s + 2}{s^3 + 3s^2 + 4s + 4} \quad (2.18)$$

Так как был добавлен регулятор и замкнут отрицательной обратной связью, то поменялась передаточная функция (2.19).

$$W = \frac{W_{\text{регулятора}} \cdot W_{\text{объекта}}}{1 + W_{\text{регулятора}} \cdot W_{\text{объекта}}} \quad (2.19)$$

$$W_{\text{регулятора}} = \frac{k_p s + k_I}{s} \quad (2.20)$$

В итоге подставив все числовые параметры и применяя интервальную арифметику, оговоренную в п. 2.1, получена следующая интервальная передаточная функция (2.21):

$$W_{zc} = \frac{0.0197s^2 + [0.4273; 0.8213]s + [0.67; 1.33]}{s^4 + 3s^3 + [3.02; 4.02]s^2 + [2.43; 4.82]s + [0.67; 1.33]} \quad (2.21)$$

Для того, чтобы найти корневые показатели качества, а от них перейти к прямым для (2.21) был построен рёберный маршрут (рисунок 2.12).

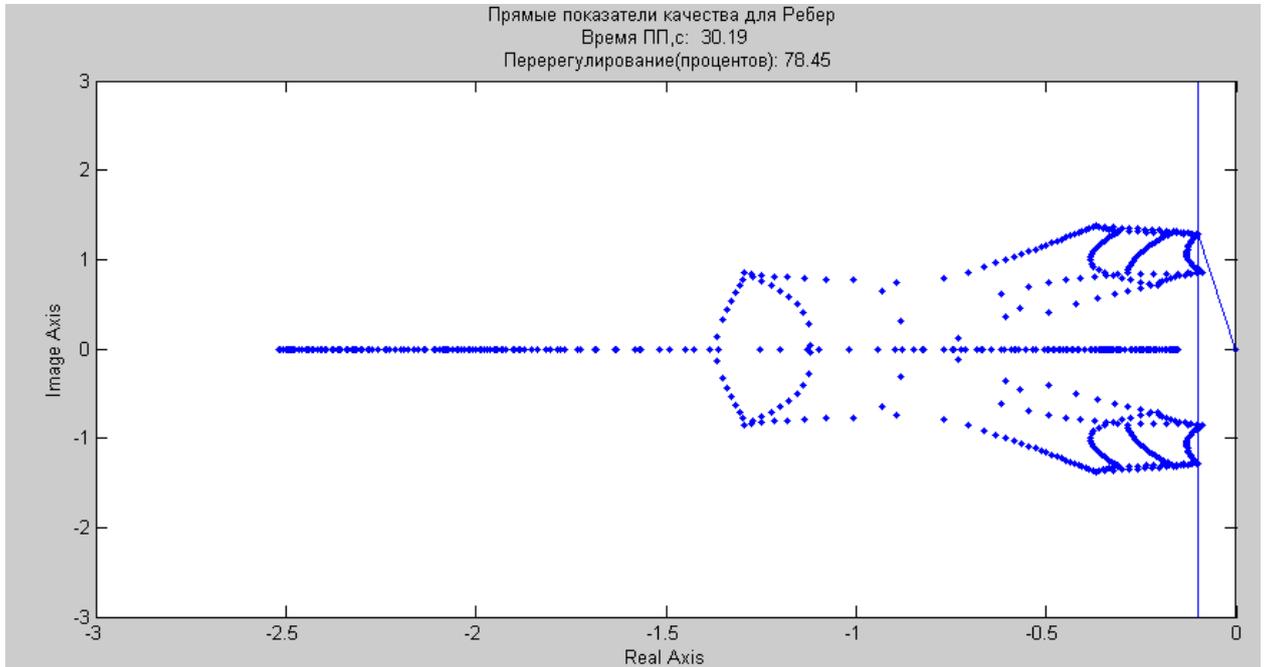


Рисунок 2.12 - Рёберный маршрут

По рисунку 2.12 видно, что $\delta=78.45\%$, $t_p=30.19$ с.

Далее с целью определить поведение замкнутой САУ была произведена серия экспериментов, меняя параметры (2.16) линейно за какой-то промежуток времени.

Промоделирован переход с (2.17) до (2.18) линейно изменяя параметры системы с 1 по 3 секунду (рисунок 2.13). Как видно $\delta=51.6\%$, $t_p=22.6$ с, что превышает наихудшие прямые показатели качества системы, оговорённые по теореме Харитонова.

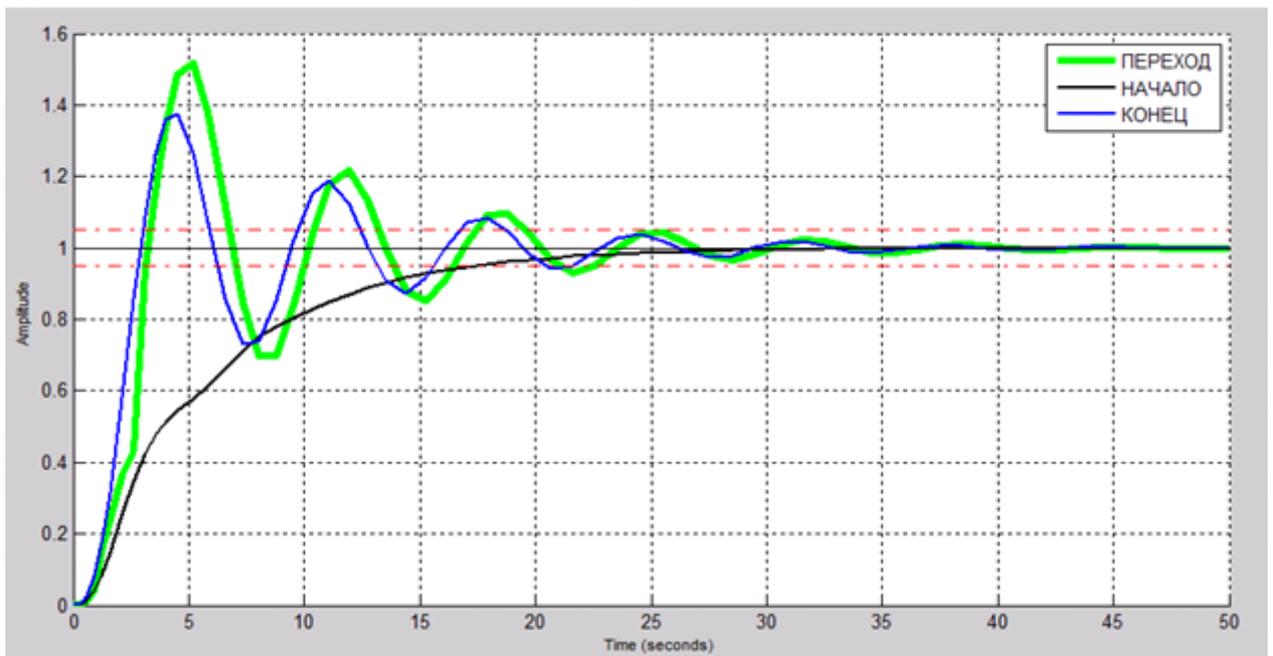


Рисунок 2.13 - Переходные процессы

Промоделирован переход с (2.17) до (2.18) линейно изменяя параметры системы с 6 по 8 секунду (рисунок 2.14). Как видно $\delta=103.9\%$, $t_p=30.7с$, что так же превышает наилучшие прямые показатели качества системы, оговорённые по теореме Харитонова.

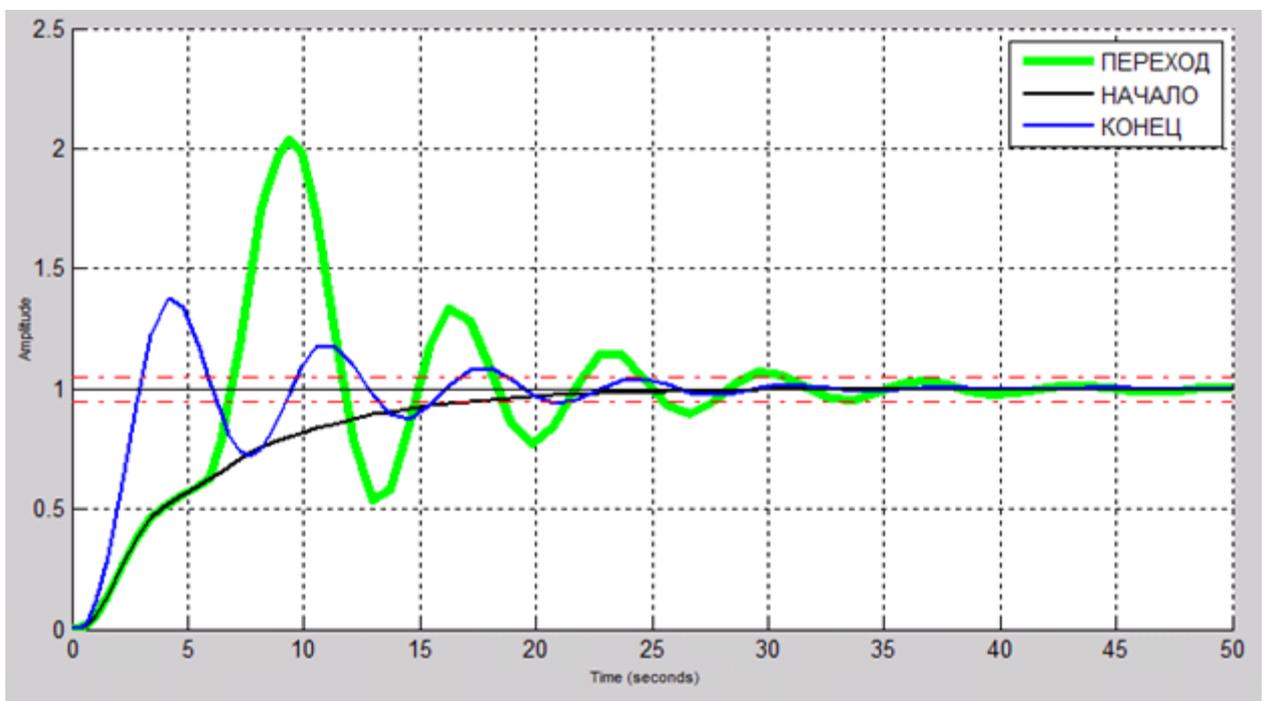


Рисунок 2.14 - Переходные процессы

Промоделирован переход с (2.17) до (2.18) линейно изменяя параметры системы с 16 по 18 секунду (рисунок 2.15). Как видно $\delta=144\%$,

$t_p = 48.85$ с, что превышает наилучшие прямые показатели качества системы, оговорённые по теореме Харитонова.

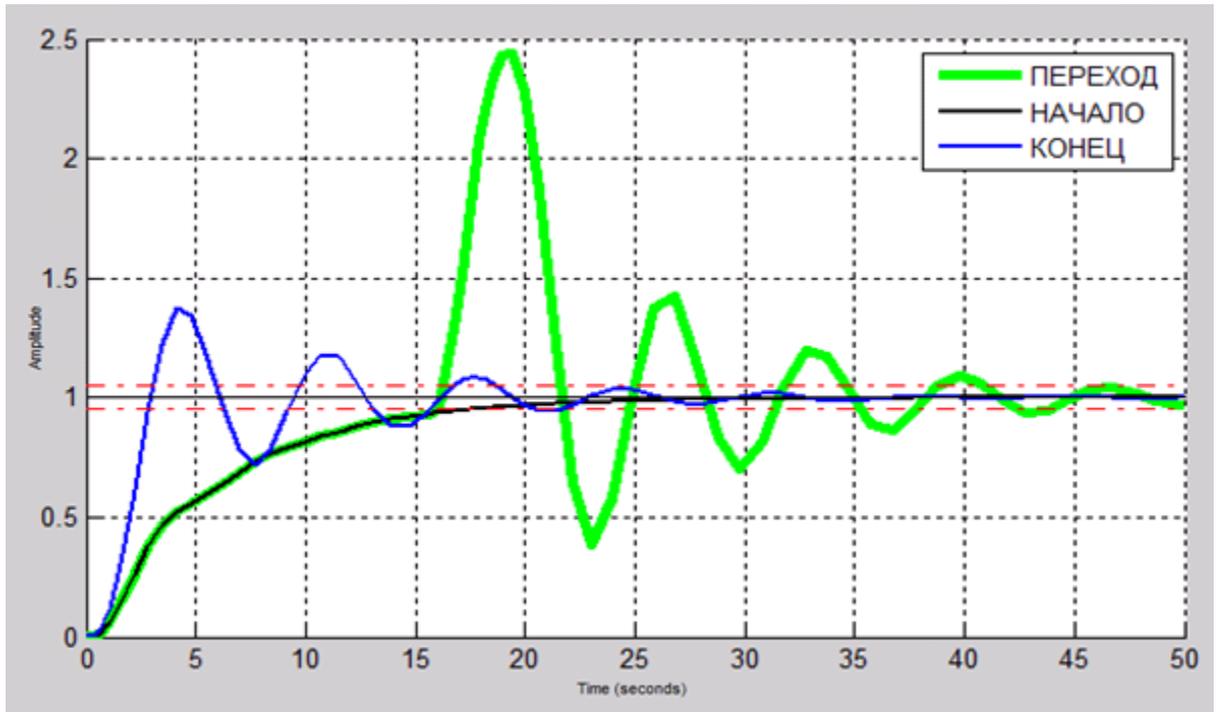


Рисунок 2.15 - Переходные процессы

Был произведен переход с (2.17) до (2.18) линейно изменяя параметры системы с 46 по 48 секунду (рисунок 2.16). Как видно $\delta = 153.8\%$, $t_p = 73.82$ с, что превышает наилучшие прямые показатели качества системы, оговорённые по теореме Харитонова.

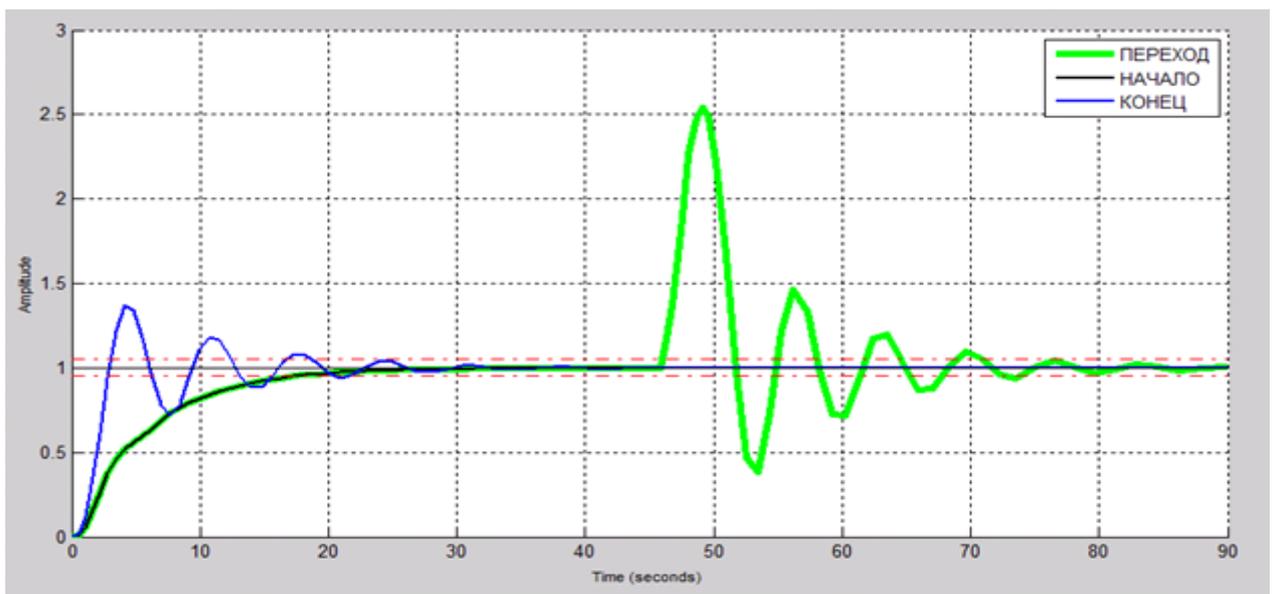


Рисунок 2.16- Переходные процессы

Был произведен переход с (2.17) до (2.18) линейно изменяя параметры системы с 146 по 148 секунду (рисунок 2.17). Как видно $\delta=152.4\%$, $t_p=173.66$ с, что превышает наихудшие прямые показатели качества системы, оговорённые по теореме Харитонова.

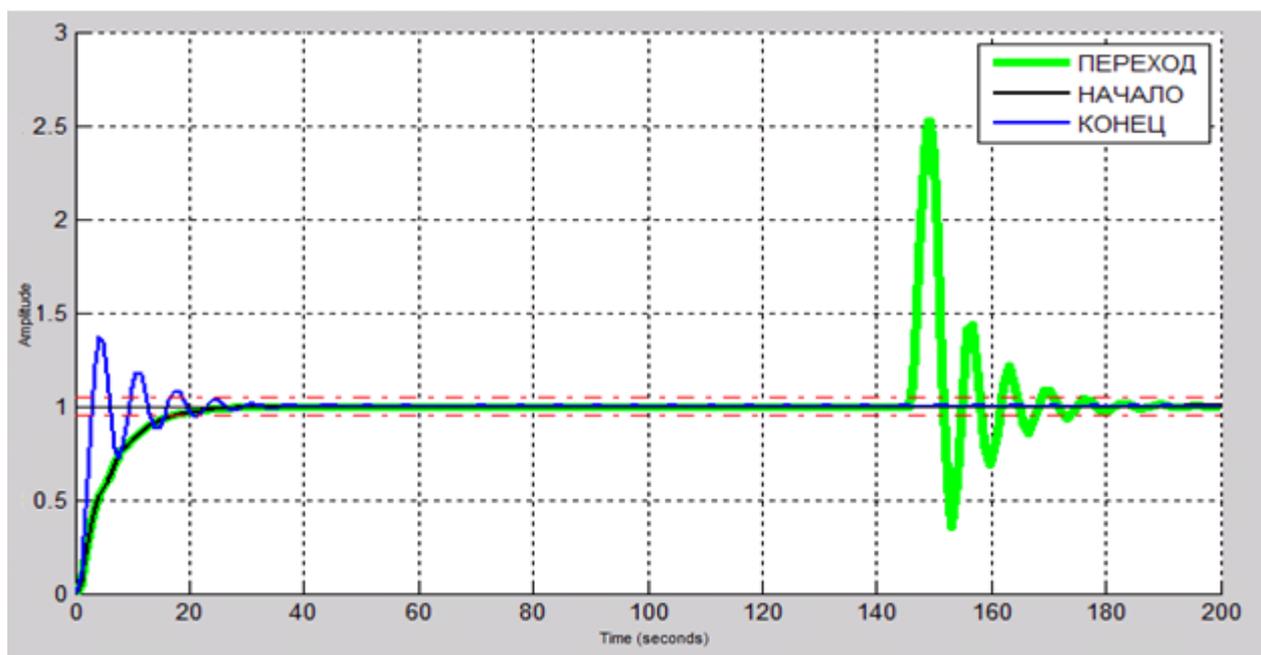


Рисунок 2.17- Переходные процессы

В итоге результаты всех переходных процессов замкнутой САУ сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1-Прямые показатели качества

| Переход | $t_1=1,с$ $t_2=3,с$ | $t_1=6,с$ $t_2=8,с$ | $t_1=16,с$ $t_2=18,с$ | $t_1=46,с$ $t_2=48,с$ | $t_1=146,с$ $t_2=148,с$ |
|--------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| $\delta, \%$ | 51.6 | 103.9 | 144 | 153.8 | 152.4 |
| $t_p, с$ | 22.6 | 30.7 | 48.85 | 73.82 | 173.66 |

Как видно из таблицы 2.1 все значения прямых показателей качества превышают значения, полученные на рёбрах параметрического многогранника ($\delta = 78.45\%$, $t_p = 30.19с$).

3. Постановка задачи

В п. 2.5 было установлено, что в динамике процесса изменения интервальных параметров прямые показатели качества выходят за рамки, объявленные по теореме Харитонова. Вследствие этого встала необходимость разработки подхода к настройке регулятора. Известно, что система сколь угодно высокого порядка может быть эквивалентирована системой третьего, либо второго порядка, выходные сигналы которых в целом будут содержать всю необходимую информацию о динамических свойствах системы высокого порядка [20]. Это связано с тем, что системы высокого порядка в основном содержат полюса привносящие незначительный эффект в переходную характеристику замкнутой системы. В этой связи проблема синтеза систем низкого порядка является актуальной и настройке параметров регулятора таких систем по различным критериям посвящен ряд работ [20, 21].

При размещении корней характеристического полинома в отрицательной полуплоскости имеет место два случая:

- корни характеристического полинома вещественные, вследствие чего система имеет апериодический переходной процесс;
- корни характеристического полинома комплексно-сопряженные, вследствие чего система имеет колебательный переходной процесс (рисунок 3.1);

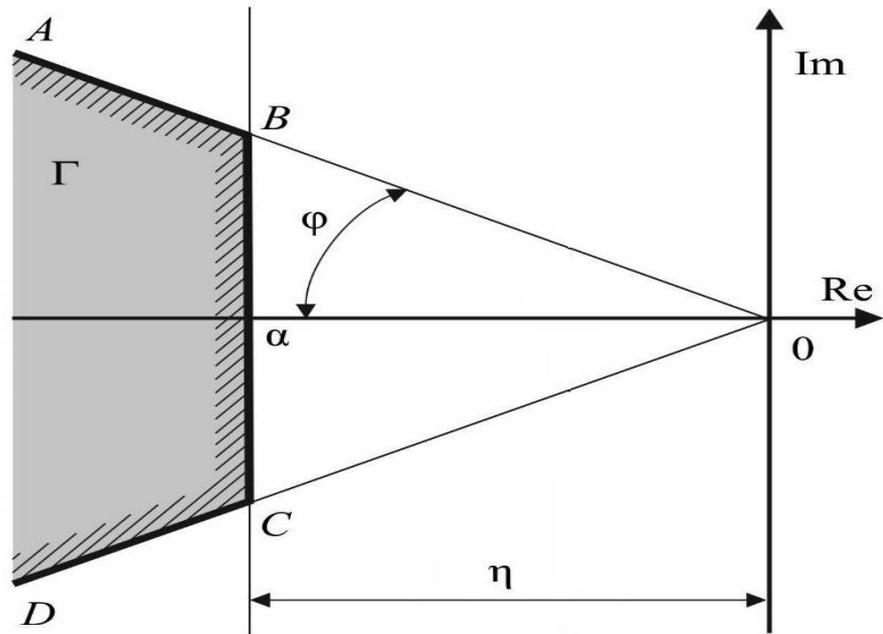


Рисунок 3.1 – Расположение полюсов стационарной системы

В интервальной системе корни интервального характеристического полинома мигрируют по комплексной плоскости и образуют области их локализации (рисунок 3.2). В результате чего прямые показатели качества меняются.

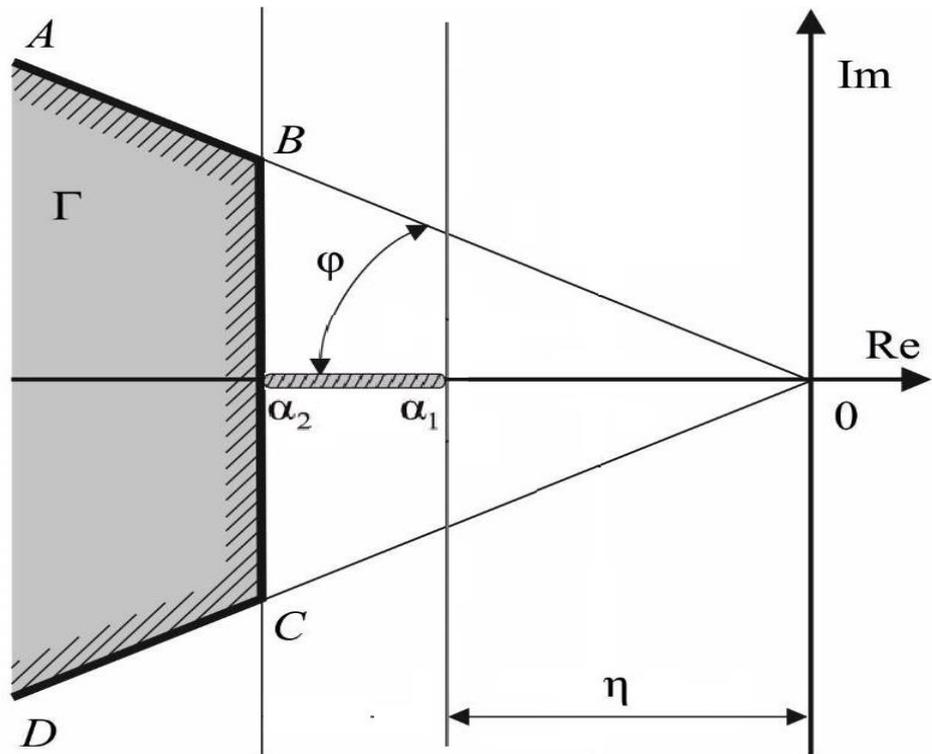


Рисунок 3.2 – Область полюсов интервальной системы

Стоит заметить, что значение α_1 характеризует минимальную степень устойчивости ИСАУ. Область Γ представляет собой усеченную трапецию $ABCD$, ограниченную вертикальной прямой, проходящей через $(-\eta; j0)$ и двумя лучами, выходящими из начала координат под углом $\pm\varphi$, который определяет степень максимальной (робастной) колебательности системы [22].

3.1 Описание имитационного стенда

За прототип объекта была выбрана буровая установка БУ3900/225ЭП–БМЦ (рисунок 3.3). А именно один из главных механизмов - роторный стол, предназначенный для вращения всей буровой колонны, приводимый в движение двигателем постоянного тока 4ПП-355-630 УХЛЗ (рисунок 3.4) с характеристиками, представленными в таблице 3.1.



Рисунок 3.3- Буровая установка БУ3900/225ЭП



Рисунок 3.4- Двигатель постоянного тока 4ПП-355-630 УХЛЗ

Таблица 3.1-Характеристики двигателя 4ПП-355-630 УХЛЗ

| Тип двигателя | Мощность, кВт | Напряжение, В | Частота вращения, об/с | Масса, кг | Динамический момент инерции, кг·м ² |
|------------------|---------------|---------------|------------------------|-----------|--|
| 4ПП-355-630 УХЛЗ | 630 | 440 | 600/1500 | 3250 | 18,8 |

Стенд имитирует работу роторного стола, приводимого во вращение двигателем постоянного тока, который вращает буровую колонну, на которую воздействует внешняя нагрузка в момент прохождения более твердых земных пород, а так же в момент выхода из этого интервала, что влечет за собой неравномерную работу двигателя и требует поддержания оборотов на заданной отметке. Нагрузку на стенде имитирует ролики, которые прижимаются натяжением пружины, что в свою очередь меняет частоту вращения вала (рисунок 3.5). Схема комплекса технических средств представлена на рисунке 3.6.

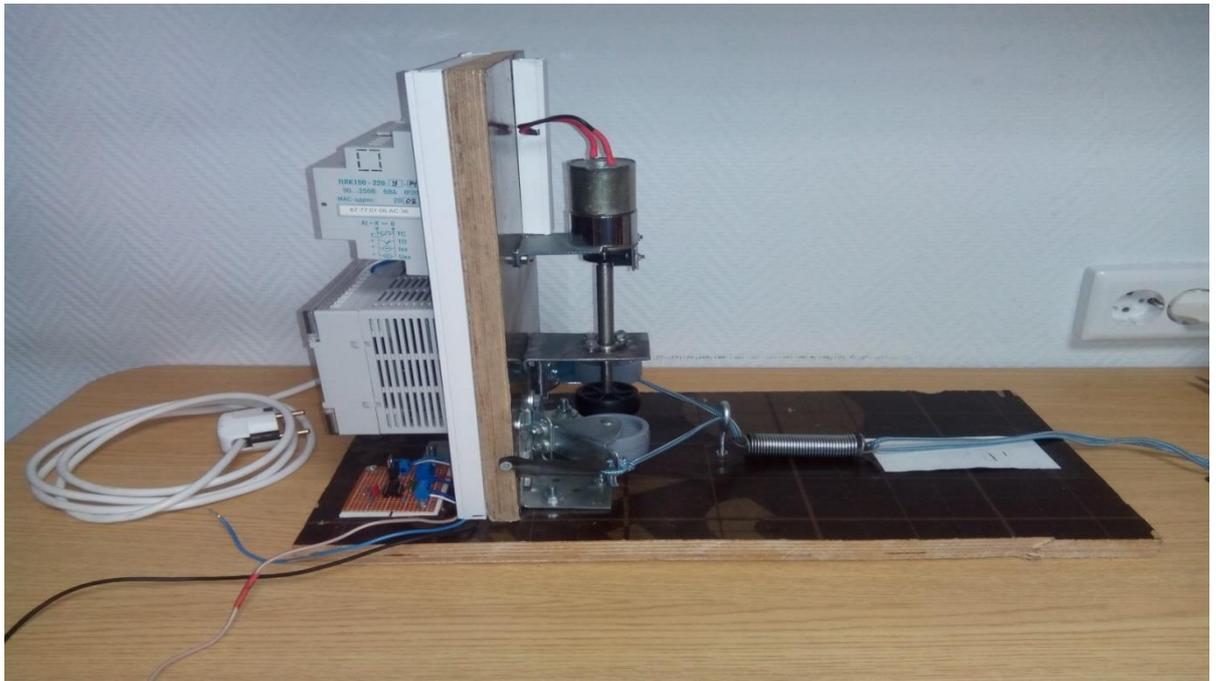


Рисунок 3.5- Имитационный стенд

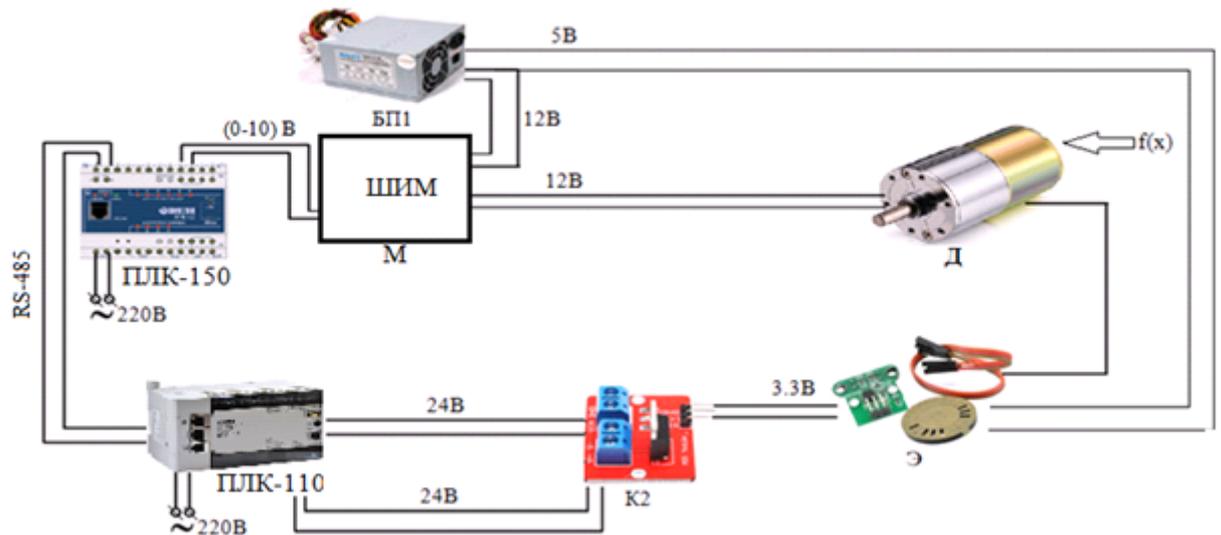


Рисунок 3.6- Схема комплекса технических средств

Управляющую составляющую на рисунке 3.6 представляет программируемый логический контроллер ПЛК-150-У-М, обозначенный ПЛК-150; программируемый логический контроллер ПЛК-110-32-Р4, обозначенный ПЛК-110. ПЛК-110 обменивается по интерфейсу RS-485 с ПЛК-150 по протоколу Modbus значением напряжения от 3 до 9 Вольт , которое будет направлено на ШИМ модулятор (М) для формирования

импульсов различной скважности для управления двигателем. Двигатель вращает вал, на который установлен диск энкодера с прорезями для получения значения угла поворота вала. Сигнал с энкодера поступает для коммутации на транзисторный ключ, который подает усиленный импульс на ПЛК-110 для подсчета оборотов двигателя.

3.2. Обеспечение желаемого вещественного полюса стационарной системы

Пусть структурная схема САУ имеет вид, показанный на рисунке 3.7. ОУ описывается передаточной функцией

$$W_{Oy} = \frac{k_y}{c_2s^2 + c_1s + c_0} \quad (3.1)$$

Где k_y – коэффициент усиления системы;

c_i – коэффициенты объекта управления соответственно.

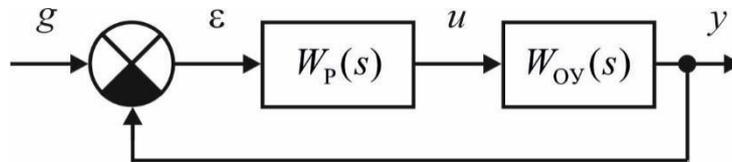


Рисунок 3.7 – Структурная схема САУ

Передаточная функция линейного ПИ-регулятора описывается:

$$W_p(s) = \frac{k_p s + k_I}{s} \quad (3.2)$$

где k_I и k_p – настраиваемые параметры регулятора.

В итоге передаточная функция замкнутой системы автоматического управления предстанет в виде:

$$W_3(s) = \frac{k_p k_y s + k_I k_y}{c_2 s^3 + c_1 s^2 + (c_0 + k_p k_y) s + k_I k_y} \quad (3.3)$$

Характеристический полином замкнутой системы автоматического управления имеет вид:

$$A(s) = \sum_{i=0}^f a_i(\vec{k}, k_y, \vec{c}) s^i \quad (3.4)$$

где k_y – коэффициент усиления системы, c – вектор значений коэффициентов полиномов $C(s)$, \vec{k} – вектор настраиваемых параметров регулятора, линейно входящих в коэффициенты полинома (3.2), a_i – коэффициенты полинома (3.4), являющиеся функциями \vec{k}, k_y, \vec{c}

Необходимо найти настроечные параметры ПИ-регулятора, которые обеспечивают расположение вещественного полюса α на действительной оси, в заданной точке комплексной плоскости, а свободные полюсы – в области Γ как показано на рисунке 4.

3.2.1. Разделение характеристического полинома на доминирующий и свободный

На первом этапе синтеза необходимо сформировать доминирующий полином, который предписывает расположение доминирующего вещественного полюса и обеспечивает минимальную степень устойчивости системы, он имеет вид (3.5)

$$Q(s) = s + \eta \quad (3.5)$$

При этом $\eta = \frac{3}{t_p}$, откуда можно желаемым способом

расположить полюс с учетом времени переходного процесса.

Все коэффициенты полинома (3.4) связаны между собой, следовательно свободные корни зависят от доминирующих. Следует выделить доминирующий полином $Q(s)$ из полинома (3.4), путем его деления на полином (3.5). При этом получается свободный полином вида

$$P(s) = p_2 s^2 + p_1 s + p_0 > 0 \quad (3.6)$$

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

Для получения $P(s)$ предлагается использовать алгоритм деления столбиком. В результате деления получится остаток R . Таким образом, исходный полином (3.4) можно представить в виде

$$A(s) = Q(s)P(s) + R \quad (3.7)$$

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

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

$$p_i = a_{i+1} - \eta \cdot p_{i+1}, i = \overline{0, n-1} \quad (3.8)$$

$$R = a_0 - \eta p_0 \quad (3.9)$$

где n – степень характеристического полинома замкнутой системы.

3.2.2. Обеспечение желаемого вещественного полюса стационарной САУ

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

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

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

$$s_{1,2} = \frac{-p_1 \pm \sqrt{p_1^2 - 4p_0p_2}}{2p_2} \quad (3.10)$$

На основании (12) могут быть сформулированы условия расположения свободных полюсов системы левее границы η (рисунок 3.1), для двух случаев: полюсы вещественные и полюсы комплексно-

сопряженные. Таким образом, на основании решения квадратного уравнения для полинома (3.6) могут быть получены следующие соотношения:

а) свободные полюсы комплексно-сопряженные:

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

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

б) свободные полюсы вещественные:

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

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

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

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

Таким образом, задача расположения свободных полюсов системы сводится к решению двух систем неравенств:

для случая вещественных полюсов

$$\begin{cases} p_1^2 - 4p_0p_2 > 0 \\ p_0 \geq \eta p_1 - \eta^2 p_2 \end{cases} \quad (3.11)$$

для случая комплексно-сопряженных полюсов

$$\begin{cases} p_1^2 - 4p_0p_2 < 0 \\ p_1 \geq 2\eta^2 p_2 \end{cases} \quad (3.12)$$

Таблица 3.2 - Коэффициенты свободного полинома $P(s)$ для характеристического полинома степени $n=3$

| P_i | Коэффициенты полинома $P(s)$ |
|-------|--|
| P_2 | c_2 |
| P_1 | $c_1 - \eta c_2$ |
| P_0 | $c_0 - \eta(c_1 - \eta c_2) + k_y k_P$ |

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

$$k_y k_I - \eta(c_0 - \eta(c_1 - \eta c_2) + k_y k_P) = 0 \quad (3.13)$$

Из (3.13) получим

$$k_I(k_P) = \frac{\eta(c_0 - \eta(c_1 - \eta c_2) + k_y k_P)}{k_y} \quad (3.14)$$

Подставляя в выражения (3.11) и (3.12) коэффициенты p_i свободного полинома, из таблицы 3.2, с учетом (3.14) получены условия для определения параметров регулятора, гарантирующих заданное расположение доминирующего полюса $s = -\eta$ и расположение свободных полюсов левее границы η . Так же стоит учитывать влияние нуля передаточной функции, а именно то, что он должен быть меньше полюсов, но так как у нас по условию один из полюсов равен η , то ноль передаточной функции так же должен стоять левее границы η [23]. Эти условия сформированы в виде таблицы 3.3.

Таблица 3.3– Условия для определения параметров регулятора

| Вид свободных полюсов | Условия для параметров регулятора |
|-----------------------|---|
| Вещественные | $k_P < \frac{(c_1 - \eta c_2)^2 - 4c_2 c_0 + 4\eta c_2 (c_1 - \eta c_2)}{4k_y c_2}$ |
| | $k_P > \frac{\eta(c_1 - \eta c_2) + \eta(c_1 - \eta c_2) - \eta c_2 - c_0}{k_y}$ |
| | $k_I(k_P) = \frac{\eta(c_0 - \eta(c_1 - \eta c_2) + k_y k_P)}{k_y}$ |
| | $N_P < \frac{-\eta - k_I k_y}{k_P k_y}$ |

Продолжение таблицы 3.3

| | |
|------------------------|---|
| Комплексно-сопряженные | $k_p < \frac{(c_1 - \eta c_2)^2 - 4c_2 c_0 + 4\eta c_2 (c_1 - \eta c_2)}{4k_y c_2}$ |
| | $k_I(k_p) = \frac{\eta(c_0 - \eta(c_1 - \eta c_2)) + k_y k_p}{k_y}$ |
| | $N_p < \frac{-\eta - k_I k_y}{k_p k_y}$ |

В результате решения неравенств из таблицы 3.3 можно получить интервалы допустимых значений параметров ПИ-регулятора, внутри которых следует выбирать их искомые значения.

3.2.3. Методика синтеза ПИ-регулятора стационарной системы

1. На основании передаточной функции объекта управления и регулятора, а также заданных значений η формируется характеристический полином замкнутой системы $A(s)$ вида (3.4), доминирующий полином $Q(s)$ вида (3.5), свободный полином $P(s)$ вида (3.8) и остаток от деления R (3.9).

2. На основании η и коэффициентов передаточной функции объекта управления составляются неравенства (3.11) или (3.12).

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

4. Выбирается значение коэффициента k_p и на основании (3.13) находится значение параметра k_I

5. Проверяется условие того, что нули передаточной функции лежат левее η .

3.2.4. Методика синтеза ПИ-регулятора интервальной системы

1. На основании передаточной функции регулятора и объекта управления, имеющий интервальность, а также заданного значения η формируется характеристический полином замкнутой системы $A(s)$ вида (3.4), доминирующий полином $Q(s)$ вида (3.5), свободный полином $P(s)$ вида (3.8) и остаток от деления R (3.9) для двух крайних случаев, когда передаточная функция объекта переходит из одного состояния в другое.

2. На основании η и коэффициентов передаточной функции объекта управления составляются неравенства (3.11) или (3.12) для двух крайних случаев, когда передаточная функция объекта переходит из одного состояния в другое.

3. Решаются неравенства из пункта 2 и определяется допустимый диапазон изменения параметра регулятора k_p с учетом ограничений для двух состояний интервальной системы.

4. Выбираются интервалы значения коэффициента k_p и на основании (3.13) находятся интервалы значения параметра k_I

5. Проверяется условие того, что нули передаточной функции для двух крайних состояний объекта управления лежат левее η .

3.3 Расчет параметров ПИ-регулятора для их апробации на имитационном стенде

Согласно методике п. 3.2.4 необходимо произвести расчет параметров ПИ-регулятора для имитационного стенда.

Первоначально нужно произвести идентификацию объекта управления. Идентификация произведена для двух случаев: когда система работала без нагрузки, когда система работала с нагрузкой. В итоге получилась интервальная система (3.15) и график переходного процесса представлен на рисунке 3.8.

$$W_{OY} = \frac{[1120;338.7]}{s^2 + [166.27;103.77]s + [1124;339]} \quad (3.15)$$

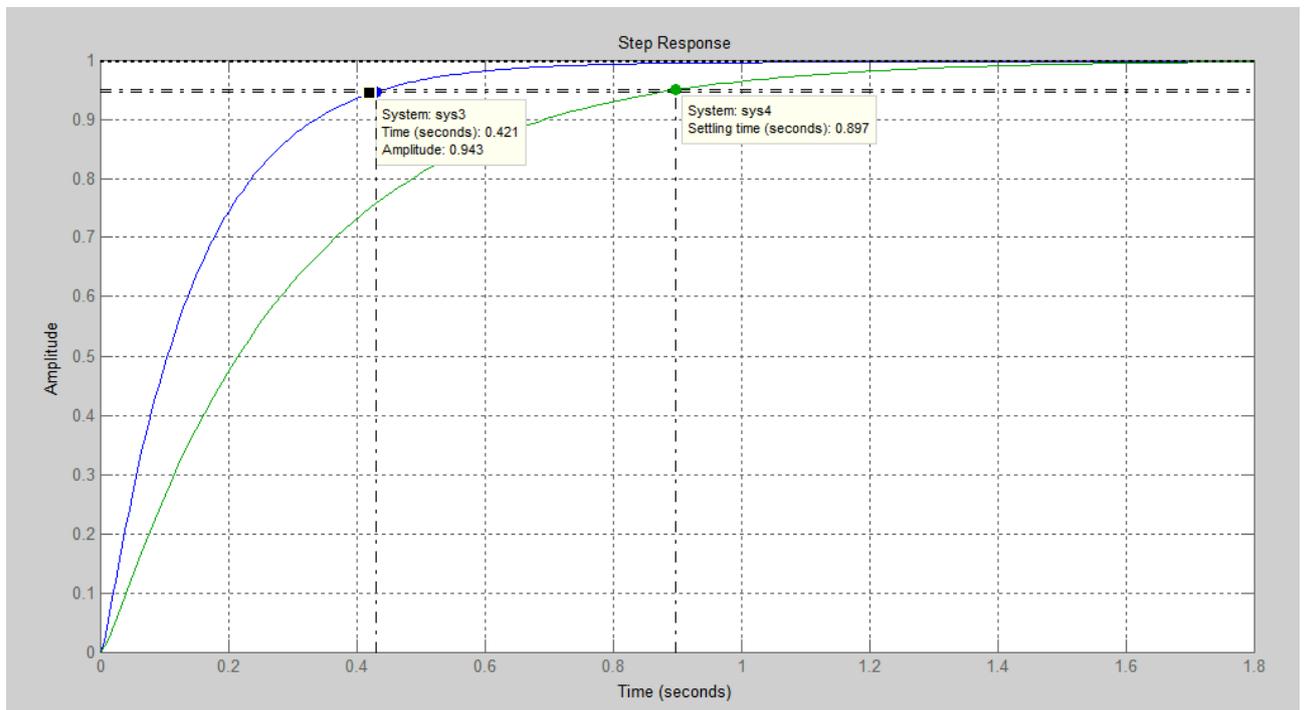


Рисунок 3.8- График переходного процесса

На рисунке 3.8 видно что переходной процесс происходит за $t_p = 0.421$ с без нагрузки и с нагрузкой $t_p = 0.897$ с.

Условившись, что корни необходимо расположить на вещественной оси, тем самым задав апериодический переходной процесс было выбрано время переходного процессе $t_p = 1.1$ с.

Переходной процесс будет протекать при изменении коэффициентов

передаточной функции с $W_{OY1} = \frac{1120}{s^2 + 166.27s + 1124}$ до

$W_{OY2} = \frac{338.7}{s^2 + 103.77s + 339}$. Подставляя в (3.11), (3.12) коэффициенты

передаточных функций объекта управления найден интервал для $k_p \in [0.97; 5.41]$, отсюда можно найти предел для $k_I \in [3.31; 18.08]$.

Результат моделирования при $k_p = 0.98$ и $k_I = 3.31$ представлен на рисунке 3.9, где видно, что максимальное время регулирования $t_p = 0.9c$, а перерегуливание $\delta = 0\%$

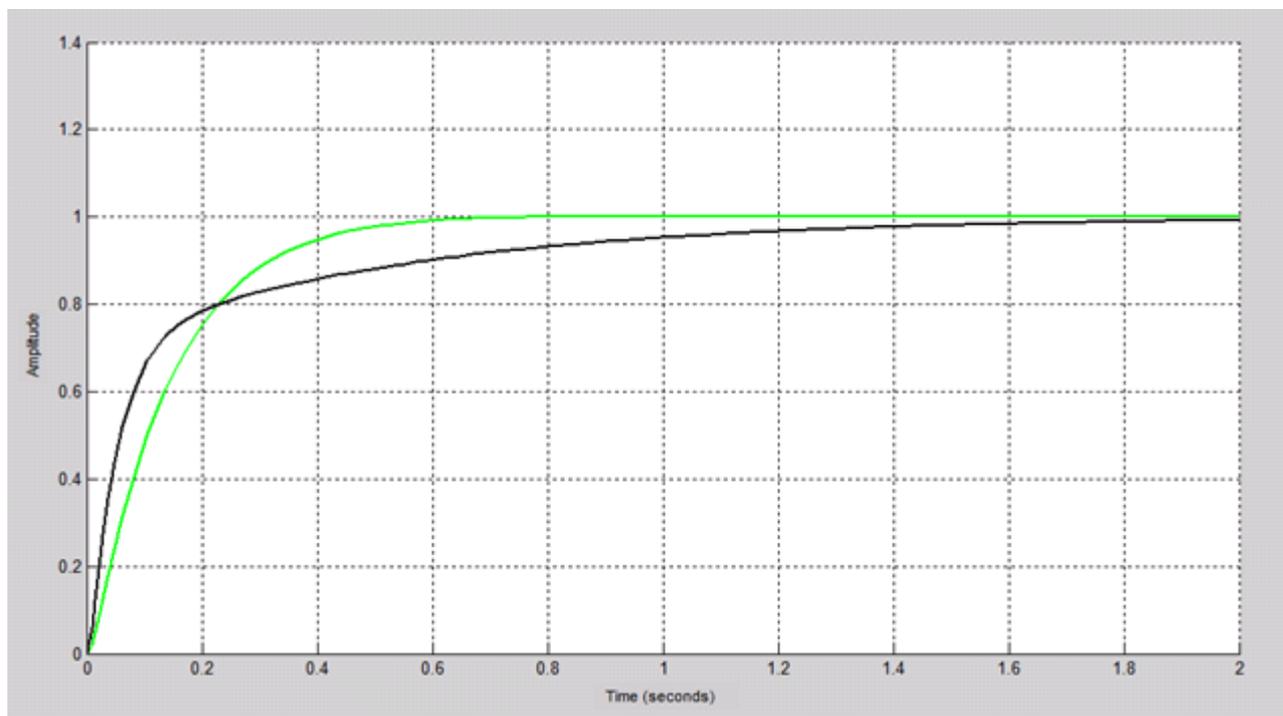


Рисунок 3.9- График переходного процесса

Так как данные коэффициенты ПИ-регулятора дали положительный результат, то их апробация реализована на имитационном стенде. Результаты представлены на рисунке 3.10.

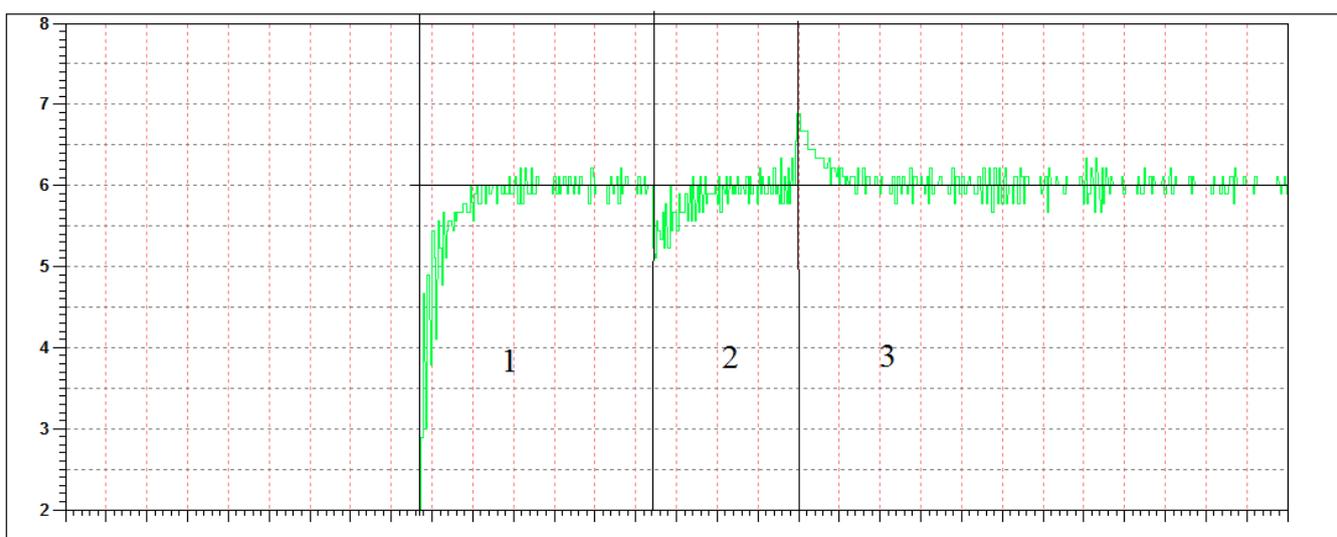


Рисунок 3.10- График переходного процесса на имитационном стенде

Где 1-зона переходного процесса в момент пуска без нагрузки; 2-переходный процесс в момент приложения нагрузки; 3-переходный процесс, получившийся в результате снятия нагрузки.

Прямые показатели качества по зонам сведены в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 - Прямые показатели качества

| | Зона 1 | Зона 2 | Зона 3 |
|--------------|--------|--------|--------|
| $\delta, \%$ | 0 | 0 | 0 |
| t_p, c | 1.3 | 1.1 | 1.0 |

По таблице видно, что прямые показатели качества примерно соответствуют прямым показателям качества, найденным при использовании методики расчета ПИ-регулятора для замкнутой САУ из п.3.2.4.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время в промышленной автоматизации основную роль в управлении играют PLC (Programmable Logic Controller - программируемые логические контроллеры). Но для регулирования какого-либо процесса нужен алгоритм обработки входных значений для выдачи управляющих сигналов с целью получить требуемые параметры качества регулирования. Для этой цели используются регуляторы. В данной работе разрабатывается подход к настройке робастного регулятора. Для более объективной оценки он будет сравниваться с ПИД-регулятором и адаптивным регулятором

В данном разделе исследуется рынок ,в котором будут применяться данные регуляторы в той или иной области.

Рассмотренные области:

- Машиностроение;
- Нефтегазовая отрасль:
- Пищевая промышленность.

Задачи которые будут применимы к данному объекту в предпроектном анализе:

1. Потенциальные потребители результатов исследования
2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения
3. Диаграмма Исикавы
4. SWOT-анализ.

4.1. Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Выберем сегментацию рынка для коммерческой реализации робастного регулятора.

К машиностроительной промышленности относят:

— ООО «Интеллект-Сервис»

Компания, основная сфера которой лежит в автоматизации учета и управления на предприятиях различных отраслей производства, торговли, сферы услуг и в бюджетных организациях.

К нефтегазовым предприятиям относят:

— ПАО «Элеси»

Компания занимается проектированием, поставками, строительством автоматизацией различных объектов нефтегазовой отрасли, тяжелой промышленности.

— ОАО «Аксиома-Сервис»

Основными направлениями деятельности компании являются предоставление различных видов сервисного обслуживания электрооборудования буровых установок как российского, так и зарубежного производства. В состав компании входят специалисты с богатым опытом разработки, изготовления и обслуживания электрооборудования буровых установок с регулируемыми электроприводами.

— ОАО «Велесстрой»

одна из крупнейших компаний в России по реализации сложнейших объектов нефтегазового комплекса и внешнего электроснабжения.

К пищевым комбинатам относят:

— ООО «Ракурс»

Продает широкий спектр электротехнического оборудования для решения практически любой задачи по автоматизации производства заказчика

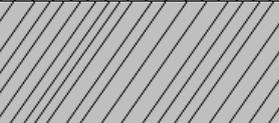
— ООО «Томское пиво»

Предприятие по производству пива и безалкогольных напитков (кваса, газированных напитков, минеральной воды «Чажемто»)

— ООО «Яшкино КДВ»

Российский пищевой холдинг, специализирующийся на выпуске сэндвичей и кондитерских изделий. Сегментируем рынок по объёму (сложности) системы, которую надо автоматизировать .

Таблица 4.1-Карта сегментирования рынка услуг по разработке интернет-ресурсов

| | | Регуляторы | | |
|-------------|------------------------|---|--|---|
| | | Робастные | Адаптивные | ПИД |
| Потребители | Машиностроение | |  |  |
| | Нефтегазовая отрасль |  | |  |
| | Пищевая промышленность | |  |  |

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| ПАО«Элеси» | ООО«Интеллект-Сервис» | ООО «Ракурс» |

Из приведённой таблицы 4.1 карты сегментирования можно сделать следующие выводы:

- 1) основными сегментами рынка являются адаптивные и ПИД регуляторы;

2) необходимо применять робастные регуляторы для пищевой и машиностроительной отрасли.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения.

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.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Где B_{ϕ} –робастный регулятор, B_{k1} – адаптивный регулятор, B_{k2} – ПИД-регулятор, K_{ϕ} – робастный регулятор, K_{k1} – адаптивный регулятор, K_{k2} – ПИД-регулятор.

Таблица 4.3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок).

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | | Конкурентоспособность | | |
|---|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| | | Б _ф | Б _{к1} | Б _{к2} | К _ф | К _{к1} | К _{к2} |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | | | |
| 1. Простота настройки | 0.15 | 3 | 4 | 3 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| 2. Потребность в ресурсах памяти контроллера | 0.05 | 4 | 5 | 3 | 0,15 | 0,25 | 0,15 |
| 3. Функциональное исполнение системы | 0.1 | 5 | 2,5 | 2 | 0,5 | 0,3 | 0,1 |
| 4. Качество управления | 0.05 | 4 | 5 | 3,5 | 0,15 | 0,25 | 0,15 |
| 5. Уровень унификации | 0.05 | 4 | 5 | 5 | 0,15 | 0,25 | 0,25 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | | | |
| 1. Конкурентоспособность | 0.1 | 4 | 5 | 3 | 0,5 | 0,5 | 0,3 |
| 2. Уровень востребованности среди потребителей | 0.1 | 2 | 5 | 3 | 0,1 | 0,5 | 0,3 |
| 3. Цена | 0.1 | 2,5 | 4 | 1,5 | 0,3 | 0,5 | 0,1 |
| 4. Финансирование разработки | 0.2 | 3 | 3,5 | 3 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| 5. Срок исполнения системы | 0.1 | 5 | 4 | 3 | 0,5 | 0,5 | 0,3 |
| Итого | 1 | 35 | 42 | 31 | 3,7 | 4,4 | 3 |

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

4.1.3 Диаграмма Исикавы

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство в форме рыбьей кости для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

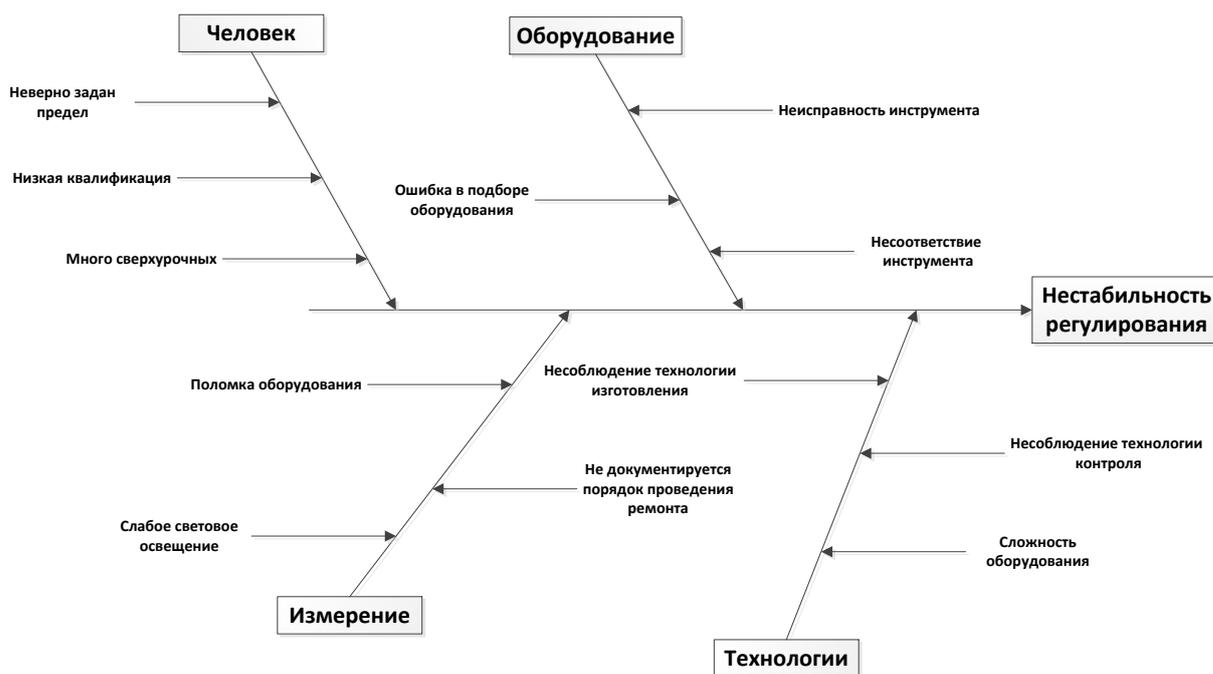


Рисунок 4.1 – принцип метода диаграммы Исикавы.

Из построенной диаграммы можно определить следующие причины проблемы:

- из-за неверно заданного предела ошибки оператора может прерваться технологический процесс;
- низкая квалификация рабочих не позволяет отрегулировать процесс на должном уровне ;
- сверх загруженность рабочего персонала влечет за собой ошибки в обслуживании оборудования;
- слабое освещение может повлечь за собой неправильное задание уставок;

- поломка оборудования влечет за собой останов технологического процесса;
- при подборе оборудования важно учитывать их совместимость;
- неисправность оборудования и несоответствие инструментов для их починки приводит к нежелательным последствиям, в том числе к останову технологического процесса ;
- не задокументированный порядок проведения ремонта может сказаться на дальнейшем плановом ремонте и поверке оборудования ,что в конечном счете будет давать погрешности при настройке технологического процесса;
- несоблюдение технологии изготовления и контроля и сложность обработки может повлечь за собой перегруженность технологической линии, что в итоге приведет к нестабильному выходу продукции, а это можно посчитать как нестабильное регулирование.

4.1.4 SWOT-анализ

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

Таблица 4.4– SWOT-анализ

| | | |
|---|--|--|
| | <p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С2. Дешевизна по сравнению с использованием прогнозирующих регуляторов</p> <p>С3. Высококвалифицированный научный труд</p> | <p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Сложность настройки</p> <p>Сл2. Качество регулирования уступает системам с более сложными регуляторами</p> |
| <p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инфраструктуры ТПУ для распространения предложенного проекта.</p> <p>В2. Получение финансирования для дальнейшего более глубокого исследования.</p> <p>В3. Возможность применить результаты исследования на других системах в университете.</p> | <p>Относительная дешевизна позволит получить финансирование для дальнейших разработок по данной теме.</p> | <p>Недостаточное количество исследованных методов и не самое высокое качество регулирования может привести к неудовлетворительным результатам на других объектах и системах.</p> |

Продолжение таблицы 4.4

| | | |
|---|---|---|
| <p>Угрозы:</p> <p>У1. Развитая конкуренция.</p> <p>У2. Остановка исследования из-за необходимости использования качественно новых методов и подходов.</p> <p>У3. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> | <p>Отсутствие спроса на новые технологии производства может замедлить срок выхода регулятора на рынок и понизить квалификацию научного труда. Развитая конкуренция производителей регуляторов может привести к снижению конкурентоспособности</p> | <p>В силу недостаточного количества методов в исследовании резко понижается показатель конкурентоспособности, а показатели качества могут показывать на то, что требуется качественно другой подход в перспективе разработанный мной.</p> |
|---|---|---|

Благодаря SWOT-анализу, можно сделать вывод о том, что сильной стороной проекта является его простота и экономичность, что позволит уменьшить влияние угроз на реализацию проекта.

4.1.5 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Таблица 4.5-Оценка готовности проекта

| № п/п | Наименование | Степень проработанности научного проекта | Уровень имеющихся знаний у разработчика |
|----------|--------------|--|---|
| | | | |

Продолжение таблицы 4.5

| | | | |
|-----|--|---|---|
| 1. | Определен имеющийся научно- технический задел | 5 | 4 |
| 2. | Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела | 5 | 3 |
| 3. | Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке | 3 | 3 |
| 4. | Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок | 3 | 3 |
| 5. | Определены авторы и осуществлена охрана их прав | 4 | 4 |
| 6. | Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности | 4 | 4 |
| 7. | Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта | 3 | 3 |
| 8. | Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки | 3 | 2 |
| 9. | Определены пути продвижения научной разработки на рынок | 4 | 2 |
| 10. | Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки | 2 | 2 |

Продолжение таблицы 4.5

| | | | |
|-----|---|-----------|-----------|
| 11. | Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок | 1 | 1 |
| 12. | Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот | 1 | 1 |
| 13. | Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки | 4 | 4 |
| 14. | Имеется команда для коммерциализации научной разработки | 1 | 1 |
| 15. | Проработан механизм реализации научного проекта | 4 | 4 |
| | ИТОГО БАЛЛОВ | 45 | 41 |

Можно сделать вывод, что перспектива у нашего объекта исследования – средняя.

4.2.Инициализация проекта

Потенциальными потребителями моего исследования могут являться как физические, юридические лица, так и коммерческие организации различных размеров, ориентирующиеся на широкий спектр промышленности и науки приведено в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Заинтересованные стороны проекта

| | |
|---|---|
| Заинтересованные стороны проекта | Ожидания заинтересованных сторон |
| Организации, занимающиеся автоматизацией | Улучшения качества управления технологическим процессом |
| Сторонние компании, использующие в технологическом процессе пид-регулятор | Улучшения качества управления технологическим процессом |

Далее представлены цели проекта и критерии достижения целей таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Цели и результаты проекта

| | |
|-------------------------------------|--|
| Цели проекта | Добиться быстрого качества регулирования уровня воды |
| Ожидаемые результаты проекта: | Время регулирования составляет менее 35% и перерегулирование 30% |
| Критерии приемки результата проекта | Время регулирования составляет менее 30% и перерегулирование 25% |

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- 1) определение структуры работ в рамках научного исследования;
- 2) определение участников каждой работы;
- 3) установление продолжительности работ;
- 4) построение графика проведения научных исследований.

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

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

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № раб | Содержание работ | Должность исполнителя |
|---|--------------|--|--------------------------------|
| Постановка целей и задач, получение исходных данных | 1 | Составление и утверждение технического задания | Научный руководитель |
| Выбор направления исследований | 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Научный руководитель, инженер |
| | 3 | Проведение патентных исследований | Научный руководитель, инженер |
| | 4 | Разработка календарного плана | Научный руководитель , инженер |

Продолжение таблицы 4.8

| | | | |
|---|----|---|-------------------------------|
| Проектирование, конструирование и настройка контура регулирования | 5 | Проектирование объекта управления | Научный руководитель, инженер |
| | 6 | Строительно-монтажные работы | Инженер |
| | 7 | Тестирование системы на предмет общей работоспособности | Научный руководитель, инженер |
| | 8 | Идентификация объекта | Научный руководитель, инженер |
| | 9 | Исследование литературы по настройке регуляторов | Инженер |
| | 10 | Расчет параметров регулятора | Инженер |
| | 11 | Применение настроек | Инженер |
| | 12 | Дополнительная подстройка регулятора | Научный руководитель, инженер |
| | 13 | Оценка качества переходных процессов и качества регулирования | Научный руководитель, инженер |
| <i>Проведение ОКР</i> | | | |
| Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР) | 14 | Оформление расчетно-пояснительной записки | Инженер |

Таблица 4.9 - График проведения научного исследования

| Этап | Исполнители | Продолжительность работ, дни | | | Длительность работ, чел/дн | | | |
|--|-------------|------------------------------|-----------|----------|----------------------------|------|-------|------|
| | | | | | T_{Pi} | | T_K | |
| | | t_{min} | t_{max} | $t_{ож}$ | НР | И | НР | И |
| Составление и утверждение технического задания | НР | 3 | 5 | 3,8 | 3,8 | — | 4,61 | — |
| Подбор и изучение материалов по теме | НР, И | 10 | 12 | 11,3 | 5,6 | 5,6 | 6,79 | 6,79 |
| Проведение патентных исследований | НР, И | 4 | 6 | 4,8 | 2,4 | 2,4 | 2,91 | 2,91 |
| Разработка календарного плана | НР, И | 2 | 4 | 2,8 | 1,4 | 1,4 | 1,7 | 1,7 |
| Проектирование объекта управления | НР, И | 15 | 18 | 16,2 | 8,1 | 8,1 | 9,83 | 9,83 |
| Строительно-монтажные работы | И | 20 | 24 | 21,6 | — | 21,6 | — | 26,2 |

Продолжение таблицы 4.9

| | | | | | | | | |
|---|-------|---|---|-----|-----|-----|------|------|
| Тестирование системы на предмет общей работоспособности | НР, И | 5 | 7 | 5,8 | 2,9 | 2,9 | 3,52 | 3,52 |
| Идентификация объекта | НР, И | 3 | 5 | 3,8 | 1,9 | 1,9 | 2,3 | 2,3 |
| Исследование литературы по настройке регуляторов | И | 4 | 6 | 4,8 | — | 4,8 | — | 5,82 |
| Расчет параметров регулятора | И | 2 | 3 | 2,4 | — | 2,4 | — | 2,91 |
| Применение настроек | И | 1 | 3 | 1,8 | — | 1,8 | — | 2,18 |
| Дополнительная подстройка регулятора | НР, И | 4 | 6 | 4,8 | 2,4 | 2,4 | 2,91 | 2,91 |
| Оценка качества переходных процессов и качества регулирования | НР, И | 2 | 4 | 2,8 | 1,4 | 1,4 | 1,7 | 1,7 |
| Оформление расчетно-пояснительной записки | И | 3 | 6 | 4,2 | | 4,2 | | 5,09 |

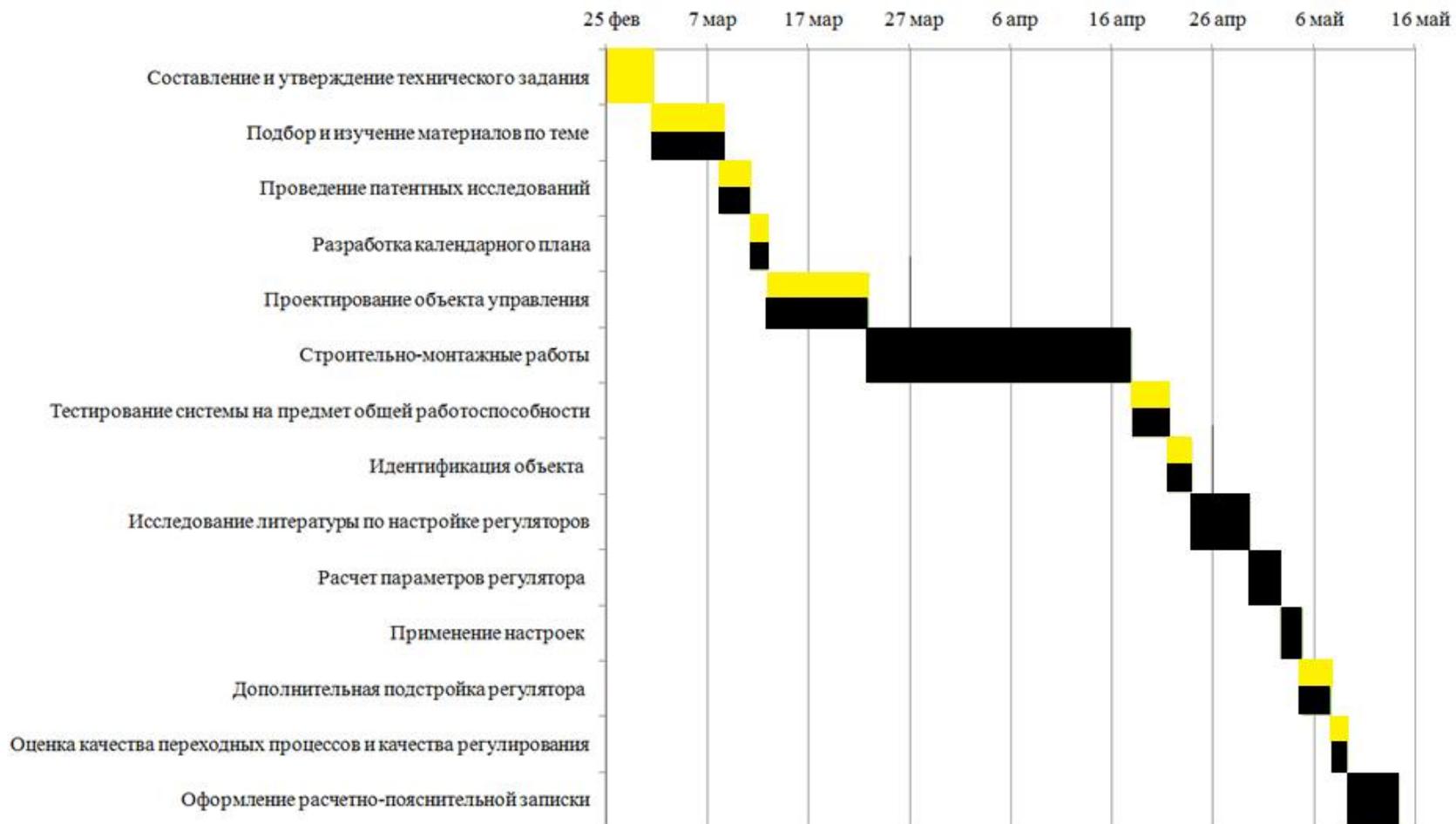


Рисунок 4.2 – Календарный план график проведения НИОКР



4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат приведено в таблице 4.10.

Таблица 4.10– Материальные затраты

| Наименование материалов | Цена за ед., руб. | Количество | Сумма, руб. |
|--------------------------------|-------------------|------------|-------------|
| Блокнот | 40 | 2 шт. | 80 |
| Бумага для принтера формата А4 | 150 | 2 уп. | 300 |
| Ручка шариковая | 10 | 4 шт. | 40 |
| Карандаш | 10 | 2 шт. | 20 |
| Стирательная резинка | 5 | 2 шт. | 10 |
| Итого: | | | 450 |

Расходы на материалы составили:

$$Z_M = 450 \text{ рублей}$$

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в табл.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблицу 4.11

Таблица 4.11– Материальные затраты на приобретение спецоборудования для научных работ

| Наименование материалов | Цена за ед., руб. | Количество | Сумма, руб. |
|--|--------------------------|-------------------|--------------------|
| Контроллер ОВЕН ПЛК 150-220.У – М | 17 489 | 1 | 17 489 |
| Контроллер ОВЕН ПЛК 110-220-32-Р4-М | 20532 | 1 | 20532 |
| Стенд | 5100 | 1 | 5100 |
| Итого: | | | 43121 |

Расходы на приобретение спецоборудования для научных работ:

$$Z_{CO}=43121 \text{рублей}$$

$$\sum \text{ам.сост} = 718,69 \text{рублей}$$

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$\text{Дневная з/п} = \frac{\text{Месячный оклад}}{25,17 \text{ дней}} \quad (4.1)$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 4.12. При расчете учитывалось, что в году 302 рабочих дня и, следовательно, в месяце 25,17 рабочих дня.. Также был принят во внимание коэффициент, учитывающий коэффициент по премиям $K_{ПР} = 0,302$ и районный коэффициент $K_{РК} = 1,3$ ($K = 1.3 * 0.302 = 0.392$).

Таблица 4.12– Затраты на основную заработную плату

| Исполнитель | Оклад, руб./мес. | Среднедневная ставка, руб./день | Затраты времени, дни | Коэффициент | Фонд з/платы, руб. |
|---------------|------------------|---------------------------------|----------------------|-------------|--------------------|
| НР | 33664 | 1346.56 | 36 | 0.392 | 60429,33 |
| И | 2337,85 | 93 | 73 | 0.392 | 8925,7 |
| Итого: | | | | | 69355,04 |

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили:

$$З_{\text{осн}} = 69355,04 \text{ руб.}$$

4.3.4 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:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (4.2)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом 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 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 4.13 – Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель | Основная заработная плата, руб. | Дополнительная заработная плата, руб. |
|--|---------------------------------|---------------------------------------|
| НР | 60429,33 | – |
| И | 8925,7 | – |
| Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды | $k_{\text{внеб}} = 30,2\%$ | |
| Итого: | 29945,22 | |

$$З_{\text{внеб}} = 30,2\% \cdot 69355,04 = 29945,22 \text{ рублей}$$

4.3.5 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:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}} \quad (4.3)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = (450 + 718,69 + 69355,04 + 29935,22) \cdot 0,16 = 16075,08$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл..

Таблица 4.13 – Расчёт бюджета затрат НИИ

| Наименование статьи | Сумма, руб. |
|--------------------------|-------------|
| Материальные затраты НИИ | 450 |

Продолжение таблицы 4.13

| | |
|---|-----------|
| Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ | 718,69 |
| Затраты по основной заработной плате исполнителей темы | 69355,04 |
| Отчисления во внебюджетные фонды | 29945,22 |
| Накладные расходы | 16075,08 |
| Бюджет затрат НТИ | 116544,03 |

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

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

В процессе работы произведен синтез робастного регулятора, который удовлетворяет определенной интервальной системе. Данный регулятор позволит настроить его единожды и не перенастраивать в процессе работы, что уменьшает нагрузку на эксплуатационный персонал.

Результатом выполнения работы является подход к настройке регулятора в динамике изменения переходного процесса.

Значимость данной работы состоит в том, что на ее примере можно синтезировать регулятор и применить его на объекте без особых экономических затрат.

Представленный метод может быть реализованы в широком круге производств.

Экономический эффект работы не представляется возможным охарактеризовать, потому что для этого необходимо проводить полноценное исследование.

4.4.1 Оценка научно-технического уровня НИР

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

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (4.4)$$

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

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

Таблица 4.14 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

| Признак научно-технического эффекта НИР | Характеристика признака НИОКР | R_i | Баллы |
|--|--|-------------------------|--------------|
| Уровень новизны | Систематизируются и обобщаются сведения, определяются пути дальнейших исследований | 0,4 | 6 |

Продолжение таблицы 4.14

| | | | |
|------------------------|---|-----|----|
| Теоретический уровень | Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.) | 0,1 | 6 |
| Возможность реализации | Время реализации в течение первых лет | 0,5 | 10 |

Таблица 4.15 – Баллы значимости теоретических уровней

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

Таблица 4.16 – Возможность реализации научных, теоретических результатов по времени и масштабам

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

Таким образом, исходя из полученной оценки признаков НИОКР, проект имеет высокий уровень научно-технического эффекта и быстроты реализации благодаря новому подходу к управлению технологическим процессом.

5 Социальная ответственность

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с разработкой модели в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды

В работе разработан подход к настройке параметров регулятора и значения регулятора апробированы на имитационном стенде. Имитационный стенд моделирует процесс бурения буровой установки БУ 3900.

В данной главе рассмотрено рабочее место, на котором проводились научно-исследовательские работы по теме магистерской диссертации. Работа в основном проводилась с использованием персонального компьютера и прилагающимися периферийными устройствами.

5.1 Анализ вредных и опасных факторов

Таблица 5.1-Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке подхода настройки регулятора

| Источник фактора, наименование видов работ | Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74) | | Нормативные документы |
|--|--------------------------------|---------|-----------------------|
| | Вредные | Опасные | |

Продолжение таблицы 5.1

| | | | |
|--|--|---------------------------|--|
| 1.Работа с компьютером | 1.Превышение уровня шума; | Электрический ток. | 1.Шум ГОСТ 12.1.003–83 |
| 2.Включение отключение электрических приборов. | 2.Электромагнитное излучение; | Короткое замыкание | ССБТ. |
| | 3.Отклонение показателей микроклимата. | Статическое электричество | 2.Микроклимат СанПиН 2.2.4.548–96. |
| | 4. Недостаточная освещенность | | 3.Освещение СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 |
| | 5. Психофизиологические факторы | | 4.Электробезопасность ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. |

5.2 Анализ вредных факторов

5.2.1 Отклонения показателей микроклимата

По степени физической тяжести работа инженера-программиста относится к категории лёгких работ. В соответствии со временем года и категорией тяжести работ определены параметры микроклимата и приведены в Таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные параметры микроклимата рабочего места по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

| Период года | Категория работ | Температура воздуха, °С | Относительная влажность воздуха, % | Температура окружающих поверхностей, °С | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|-----------------|-------------------------|------------------------------------|---|--------------------------------|
|-------------|-----------------|-------------------------|------------------------------------|---|--------------------------------|

Продолжение таблицы 5.2

| | | | | | |
|----------|-----------------|-------|-------|-------|-----|
| Холодный | Категория 1a | 23-25 | 40-60 | 21-25 | 0,1 |
| Теплый | Категория 1a | 20-22 | 40-60 | 22-26 | 0,1 |

В зимнее время в помещении предусмотрена система отопления. Она обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В соответствии с характеристикой помещения определен расход свежего воздуха и приведен в Таблице 5.3[24].

Таблица 5.3 – Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры по СНиП 2.04.05-91

| Характеристика помещения | Объемный расход подаваемого в помещение |
|--|---|
| Объем до 20 м ³ на человека | Не менее 30 |
| 20...40 м ³ на человека | Не менее 20 |

В данном случае температура воздуха и температура поверхностей составляют 22⁰С и 21⁰С при относительной влажности 45% в холодный период года; 24⁰С и 23⁰С при относительной влажности воздуха 50% в теплый период года, что соответствует нормам.

5.2.2. Повышенный уровень шума

Шум возникает во время работы оборудования. Источниками постоянного шума в помещении являются: люминесцентные лампы, печатающее устройство, электрический двигатель, шум различных узлов компьютера: дисководов, винчестеров, вентилятора. Шум воздействует на органы слуха и на весь организм человека через центральную нервную систему, ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе.

По нормам СН 2.2.2/2.1.8.562-96 [25] (таблица 5.4) при выполнении основной работы на ПЭВМ уровень звука на рабочем месте не превышает 50дБ.

Таблица 5.4 – Допустимый уровень шумов по СН 2.2.2/2.1.8.562-96

| 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 | |
| Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах | 86 | 71 | 61 | 54 | 49 | 45 | 42 | 40 | 38 | 50 |

Наиболее действенным способом облегчения работ, является кратковременные отдыхи в течение рабочего дня при выключенных источниках шума.[25]

5.2.3. Повышенный уровень электромагнитных излучений

Каждое устройство, которое производит или потребляет электроэнергию, создает электромагнитное излучение. Воздействие электромагнитных полей на человека зависит от напряжения электрического и магнитного полей, потока энергии, частоты колебаний, размера облучаемого тела. Нарушение в организме человека при воздействии электромагнитных полей незначительных напряжений носят обратимых характер.[26]

Источником электромагнитных излучений в нашем случае является дисплей компьютера. Спектр излучения компьютерного монитора включает в себя рентгеновскую, ультрафиолетовую и инфракрасную области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Малые дозы облучения могут привести к раковым заболеваниям, нарушениям нервной, эндокринной и сердечно-сосудистых систем, которые являются обратимыми, если прекратить воздействия. Обратимость функциональных сдвигов не является беспредельной и определяется интенсивностью, длительностью излучения и индивидуальными особенностями организма.

Таблица 5.5 – Допустимые уровни напряженности электромагнитных полей при работе с видеодисплейными терминалами и персональными электронно-вычислительными машинами (СанПиН 2.2.2.542-96)[26].

| Параметры воздействия, частота излучения | Допустимые значения |
|---|---------------------|
| Статическое поле | 20 000 В/м |
| На расстоянии 50 см вокруг - диапазон частот 5Гц – 2кГц - диапазон частот 2 – 400 кГц | 25 В/м 2,5 В/м |

Продолжение таблицы 5.5

| | | |
|--|---|-------------------|
| | Переменное поле на расстоянии 50 см вокруг | 0,25 А/м |
| | Магнитная индукция не более - диапазон частот 5 Гц – 2кГц - диапазон частот 2 – 400 кГц | 250 нТл 25 нТл |
| | Поверхностный электростатический потенциал не более | 500 В |

При защите от внешнего облучения, возникающего при работе с дисплеем, проводятся следующие мероприятия:

для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранении здоровья на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированные перерывы – при 8-часовом рабочем дне продолжительностью 15 минут через каждый час работы;

дисплей устанавливается таким образом, чтобы от экрана до оператора было не менее 60-70 см;

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

5.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

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. Освещаемая площадь помещения составляет 8м², количество ламп – 2. Нормы освещенности аудитории приведены в таблице 4 [27].

Таблица 5.6 – Нормы освещенности аудитории по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03

| Освещенность, лк | | При общем освещении | Коэффициент пульсации освещенности, Кп, %, не более |
|-------------------------------|-----------|---------------------|---|
| При комбинированном освещении | От общего | | |
| Всего | | | |
| 500 | 300 | 400 | 10 |

Фактическая освещенность аудитории, в которой разрабатывается устройство, составляет 500 лк, что удовлетворяет нормам освещенности по таблице 5.4.

5.2.5 Психофизиологические факторы

Умственная деятельность – это деятельность, прежде всего, центральной нервной системы, ее высшего отдела – коры человеческого мозга.

При умственной работе, как и при физической, изменяются обменные процессы, но повышение общего обмена незначительно, происходит сужение сосудов конечностей и расширение сосудов внутренних о

изменяется незначительно, потребление кислорода мозгом увеличивается в 15-20 раз при умственной работе по сравнению с физической.

Длительная работа, требующая эмоционально-нервного напряжения, может привести к сердечно-сосудистым и другим заболеваниям. Хорошо известно, что кардиосклероз и атеросклероз чаще встречаются у работников умственного труда.

Для обеспечения безопасности труда необходимо организовать производственный процесс так, чтобы он исключал стрессы. Вместе с тем, необходимо, чтобы в аварийных условиях стресс не явился причиной неправильных действий и не ухудшил производственную обстановку. Поэтому очень важно в процессе профессионального обучения подготовить рабочего к работе в экстремальных и аварийных условиях так, чтобы стрессы не помешали ему в этих сложных условиях выполнить свои профессиональные обязанности.

Эффективным средством профилактики стрессов при экстремальных условиях является профессиональная подготовка на тренажерах, имитирующих аварии.

Гиподинамия – это нарушение функций организма (опорно-двигательного аппарата, кровообращения, дыхания, пищеварения) при ограничении двигательной активности, снижении сил сопротивления мышц.

Профилактика гиподинамии предусматривает производственную гимнастику, изменение рабочей позы в процессе работы, общие меры по снижению утомляемости и монотонности труда.

Подводя итог можно исключить воздействие психофизиологических факторов на сотрудников, так как есть методы по их устранению, а также место работы способствует устранению данных проблем.

5.3 Анализ опасных факторов

5.3.1 Электробезопасность

ПЭВМ и периферийные устройства являются потенциальными источниками опасности поражения человека электрическим током. При работе с компьютером возможен удар током при соприкосновении с токоведущими частями оборудования.

Согласно с ГОСТ 12.1.038-82 [28] рабочие места с ПЭВМ должны быть оборудованы защитным занулением; подача электрического тока в помещение должна осуществляться от отдельного независимого источника питания; необходима изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль; должны быть предусмотрены защитное отключение, предупредительная сигнализация и блокировка.

Помещение, в котором расположено рабочее место, относится к категории без повышенной опасности, и соответствует установленным условиям [28]:

- напряжение питающей сети 220 В, 50 Гц;
- относительная влажность воздуха 50%;

- средняя температура около 24°C;
- наличие непроводящего полового покрытия.

Перед началом работы следует убедиться в отсутствии свешивающихся со стола или висящих под столом проводов электропитания, в целостности вилки и провода электропитания, в отсутствии видимых повреждений аппаратуры и рабочей мебели, в отсутствии повреждений и наличии заземления приэкранного фильтра.

Токи статического электричества, наведенные в процессе работы компьютера на корпусах монитора, системного блока и клавиатуры, могут приводить к разрядам при прикосновении к этим элементам. Такие разряды опасности для человека не представляют, но могут привести к выходу из строя компьютера. Для снижения величин токов статического электричества используются нейтрализаторы, местное и общее увлажнение воздуха, использование покрытия полов с антистатической пропиткой.

Последствия короткого замыкания приводит к весьма серьезным последствиям. Во-первых, достаточно часто оно сопровождается выходом из строя электроустановок и возникновением в них пожаров. Во-вторых, из-за резкого увеличения силы тока в цепи отдельные части кабеля могут быть подвергнуты механическому воздействию, в результате чего появятся механические и термические повреждения. В-третьих, достаточно часто короткое замыкание сопровождается значительным падением напряжения в цепи или на отдельных ее участках. Это, в свою очередь, ведет к ухудшению работы электрооборудования. В-четвертых, это явление оказывает крайне негативное влияние на находящиеся поблизости приборы, провода и другое электрическое оборудование. Защита от короткого замыкания включает в себя целый комплекс мер, исходным пунктом в которых является профилактика повреждений линий электропередач и оборудования. Кроме того, чтобы предотвратить возникновение пожара, используют специальные приборы – плавкиеставки, которые при замыкании сгорают и размыкают электрическую цепь.

5.3.2 Экологическая безопасность

В результате анализа реализации предлагаемых в данной работе конструкторских и технологических инноваций, источник загрязнения окружающей среды это люминесцентные лампы, находящиеся в помещении. Сам объект не содержит элементов содержащих токсические вещества, не производит выбросов в атмосферу, а составные части системы не требуют специальной утилизации или обработки по истечению срока службы.

На сегодняшний день одним из самых распространенных источников ртутного загрязнения являются вышедшие из эксплуатации люминесцентные лампы. Каждая такая лампа, кроме стекла и алюминия, содержит около 60 мг ртути. Поэтому отслужившие свой срок люминесцентные лампы, а также другие приборы, содержащие ртуть, представляют собой опасный источник токсичных веществ.

Утилизация ламп предполагает передачу использованных ламп предприятиям – переработчикам, которые с помощью специального оборудования перерабатывают вредные лампы в безвредное сырье – сорбент, которое в последующем используют в качестве материала для производства, например тротуарной плитки.

Под хранением отходов понимается временное размещение их в специально отведенных для этого местах или объектах до их утилизации. Отработанные люминесцентные лампы, согласно Классификатору отходов ДК 005-96, утвержденному приказом Госстандарта № 89 от 29.02.96 г., относятся к отходам, которые сортируются и собираются отдельно, поэтому утилизация люминесцентных ламп и их хранение должны отвечать определенным требованиям.

Компьютеры состоят из разных деталей, которые могут негативно сказаться на экологии территории, поэтому бездумное выбрасывание их на свалку может привести к серьезным последствиям. Запчасти, в которых есть свинец, ртуть, олово, отравляют почву и атмосферу, что приводит к гибели живых организмов.

К тому же, в компьютерной технике содержится определенная часть драгоценных металлов (палладий, серебро, платина, золото) и веществ, которые можно вторично использовать на производстве (переработка компьютерного пластика, железа, стекла). Кроме того, незаконный выброс опасного мусора привлечет к административной ответственности и обычных граждан, и юридических лиц.

К компьютерам относятся не только персональные модели, но и КПК, рабочие станции, кластеры, суперкомпьютеры и пр. Компьютерное оборудование не принадлежит к одному классу опасности, ведь оно содержит детали, которые по-разному будут взаимодействовать с окружающей средой. В старых компьютерах могут одновременно содержаться и опасные, и безопасные элементы:

- ртутные лампы, используемые в ПК, ноутбуках, мониторах, являются чрезвычайно опасными, поэтому отнесены к I классу;

- платы и аккумуляторы, которые содержат свинец, кадмий или олово, относятся ко II классу опасности;

- трансформаторы и провода – к III классу;

- металлические детали практически безопасны, и им присвоена V степень опасности (читайте интересную статью про утилизацию и переработку металлолома).

Утилизировать компьютерную технику нужно согласно рекомендации производителя продукта. Компьютеры перерабатываются по определенной схеме: составление паспорта отхода – проведение экологического исследования – разбор техники – сортировка комплектующих – дальнейшая переработка.

Учитывая, что разбираемые запчасти имеют разную степень опасности, их сортируют по вредности, чтобы легче было перевозить, перерабатывать или складировать на полигонах. Так, детали I и II класса хранятся в специально оборудованном, изолированном помещении. При этом отходы ПК упаковываются в герметичные контейнеры и цистерны с толщиной стенок минимум в 10 мм и могут храниться не более 24 часов на одном месте. Мусор 3

категории обычно собирают в бумажные, текстильные мешки, так как такие отходы менее опасны.

В процессе работы образуется достаточно большое количество ненужной бумаги. Самый оптимальный вариант ее утилизации - это ее переработка.

Переработка макулатуры представляет собой многоэтапный процесс, цель которого заключается в восстановлении бумажного волокна и, зачастую, других компонентов бумаги (таких как минеральные наполнители) и использование их в качестве сырья для производства новой бумаги. Со временем бумага желтеет и обычно для производства новых бумажных изделий вторичное волокно смешивают с новым.

После использования бумаги ее необходимо собрать и отсортировать по различным категориям в зависимости от типа. Технология переработки макулатуры зависит от перерабатываемого материала и конечного продукта. Обычно на этапе сбора и сортировки крафт-бумага, гофрокартон и упаковочный картон отделяются от бумаги с графикой. При правильной обработке, практически все типы бумаги поддаются переработке и могут быть использованы для получения новой бумаги.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При разработке и работе с имитационным стендом возможно возникновение чрезвычайной ситуации. Одной из такой ситуации является пожар. Возникновение пожара в помещении с вычислительной техникой приводит к большим материальным потерям и возникновению чрезвычайной ситуации. Чрезвычайные ситуации приводят к полной потере информации и большим трудностям восстановления всей информации в полном объеме. Для того чтобы избежать возникновения данной чрезвычайной ситуации необходимо периодически проводить соответствующие мероприятия. Мероприятия по предупреждению (снижению) последствий, защите населения,

сельскохозяйственных животных и растений в зонах взрыво- и пожароопасных объектов:

- проведение профилактических работ по проверке состояния технологического оборудования;

- проведение тренировок персонала по предупреждению аварий и травматизма;

- подготовка формирований для проведения ремонтно-восстановительных работ, оказания медицинской помощи пострадавшим, эвакуации пострадавших;

- обеспечение пожарной безопасности объекта;

- проведение обследований (дефектоскопия) трубопроводов.

Для защиты жизни и здоровья населения в ЧС следует применять следующие основные мероприятия гражданской обороны, являющиеся составной частью мероприятий РСЧС:

- укрытие людей в приспособленных под нужды защиты населения помещениях производственных, общественных и жилых зданий, а также в специальных защитных сооружениях;

- эвакуацию населения из зон ЧС;

- использование средств индивидуальной защиты органов дыхания и кожных покровов;

- проведение мероприятий медицинской защиты;

- проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ в зонах ЧС.

Для исключения возникновения пожара необходимо:

- вовремя выявлять и устранять неисправности;

- не использовать открытые обогревательные приборы, приборы кустарного производства в помещении лаборатории;

- определить порядок и сроки прохождения противопожарного инструктажа и занятий по пожарно-техническому минимуму, а также назначить ответственного за их проведения.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, произвести эвакуацию и приступить к ликвидации пожара огнетушителями. При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

Для тушения пожаров в помещении необходимо установить углекислотный огнетушитель типа ОУ-5.

Покидать помещение согласно плану эвакуации на рисунке.

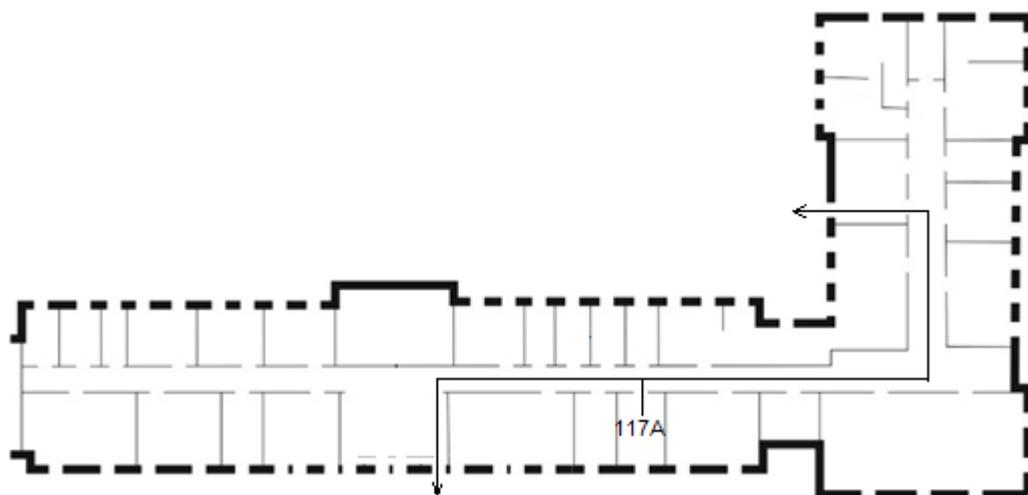


Рисунок 5.1 – план эвакуации при пожаре и других ЧС из помещений учебного корпуса №10, пр. Ленина 2, 1 этаж

5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Эргономическая безопасность персонального компьютера может быть охарактеризована следующими требованиями:

- к визуальным параметрам средств отображения информации индивидуального пользования (мониторы);
- к эмиссионным параметрам ПК – параметрам излучений дисплеев, системных блоков, источников питания и др.

Кроме того, важнейшим условием эргономической безопасности человека при работе перед экраном монитора является СанПиН 2.2.2.542-96

[25] правильный выбор визуальных параметров самого монитора и светотехнических условий рабочего места.

Работа с дисплеем при неправильном выборе яркости и освещенности экрана, контрастности знаков, цветов знака и фона, при наличии бликов на экране, дрожании и мелькании изображения приводит к зрительному утомлению, головным болям, к значительной физиологической и психической нагрузке, к ухудшению зрения и т.п.

На рисунке 5.2 показан пример размещения основных и периферийных составляющих ПК на рабочем столе программиста.

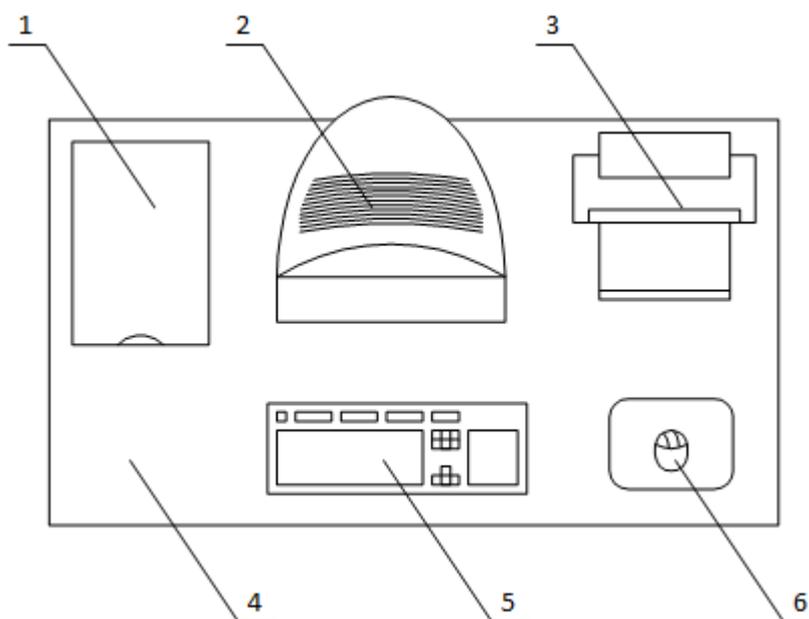


Рисунок 5.2 – Размещение основных и периферийных составляющих ПК

Из рисунка 2: 1-сканер; 2-монитор;3-принтер;4-рабочий стол;5-клавиатура; 6-компьютерная мышь.

Человек должен так организовать свое рабочее место, чтобы условия труда были комфортными и соответствовали следующим требованиям:

удобство рабочего места (ноги должны твердо опираться на пол; голова должна быть наклонена немного вниз; должна быть специальная подставка для ног);

достаточное пространство для выполнения необходимых движений и перемещений;

необходимый обзор (центр экрана монитора должен быть расположен чуть ниже уровня глаз; монитор должен отстоять от глаз человека на расстоянии 45-60 сантиметров; должна регулироваться яркость и контрастность изображения);

достаточное освещение (внешнее освещение должно быть достаточным и равномерным; должна быть настольная лампа с регулируемым плафоном для дополнительного подсвета рабочей документации).

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы разработан подход к настройке регулятора для динамически изменяющейся САУ с изменяющимися параметрами. С целью анализа динамики функционирования систем высокого порядка на основании ряда допущений обоснована актуальность эквивалентирования их системами низкого порядка и проведения для них процедуры синтеза регулятора по критерию желаемого расположения полюсов характеристического полинома замкнутой системы.

Для интервальной системы разработана методика синтеза ПИ-регулятора и получены соотношения, позволяющие определять значения настроечных параметров ПИ-регулятора на основании коэффициентов интервального характеристического полинома системы ПФ. Работоспособность разработанного подхода подтверждается математическим моделированием в пакете Matlab и апробацией синтезированного регулятора на имитационном стенде.

Практическая значимость работы заключается в применении разработанного подхода к настройке регуляторов для САУ с интервально заданными параметрами, гарантирующего заданные показатели качества.

Список использованных источников

1. Неймарк, Ю.И. Робастная устойчивость линейных систем // ДАН. 1991. Т. 319. № 3. -С.578-580.
2. Ротач В.Я. Автоматизация настройки систем управления. -М.: Энергоиздат, 1984.
3. Стефани Е.П. Основы расчета настройки регуляторов. ~М.: Энергоиздат, 1982.
4. Ротач В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования. - М.: Энергоиздат, 1984.
5. Ротач В.Я. Расчет настройки реальных ПИД регуляторов // Теплоэнергетика. 1993. №10.
6. Гайворонский, С.А. Определение настроек линейных регуляторов, обеспечивающих апериодические переходные процессы в интервальных системах / С.А. Гайворонский, М.С. Суходоев // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Том 316. – № 5. – С. 12-15. Добавишь в список литературы
7. Домбровский В.В. Синтез динамических регуляторов пониженного порядка при ограничениях // Автоматика и телемеханика., 1996. № 11. – С. 10–17.
8. Kell L.H. State-Space Design of Low-Order Stabilizers/Kell L.H., Bhattacharyya S.P. / IEEE Trans. Automat. Contr, 1990. Vlo.35, No.2. – P. 182–186.
9. Воевода А.А. Стабилизация двухмассовой системы: полиномиальный метод синтеза двухканальной системы // Сб. науч. тр. НГТУ, 2009. № 4(58). – С. 121–124.
10. Воевода А.А. Стабилизация двухмассовой системы: модальный метод синтеза в пространстве состояний / Воевода А. А., Шоба Е. В.// Сб. науч. тр. НГТУ, 2010. № 1(59). – С. 25–34.
11. Воевода А.А. Синтез регуляторов пониженного порядка / Воевода А. А., Мелешкин А. И. // Научный вестник НГТУ. – Новосибирск: Изд-во

НГТУ, 1997, № 3. – С 41–58.

12. Воевода А.А. О совмещенных декартовых координатах в пространстве корней многочленов с действительными коэффициентами / Воевода А. А., Плохотников В. В., Чехонадских А. В. // Сб. науч. тр. НГТУ, 2001. № 1(23). – С. 153–156.

13. Yang X.H. Low Order Controller Design Method / Yang X.H., Packard A.A.

// Pros. Of the 34th Conference on Decision & Control. – New Orleans, 1995.– P. 3068–3073.

14. Скворцов Л.М. Синтез линейных систем методом полиномиальных уравнений // Автоматика и телемеханика, 1991. № 6. – С. 54–59.

15. Белихмайер М.Я. Синтез корректирующих устройств систем автоматического управления на основе равномерного приближения /Белихмайер М.Я., Гончаров В.И.// Автоматика и телемеханика,1997. № 5. – С. 3–11.

16. Боровиков А.Ю. Аппроксимационные алгоритмы синтеза регуляторов пониженного порядка / Боровиков А. Ю., Воевода А. А., Мелешкин А. И. // Сб. науч. тр. НГТУ,1999. № 2(15). –С. 130–134.

17. Ротач В.Я. К расчету систем автоматического регулирования со вспомогательными информационными каналами методом многомерного сканирования // Теплоэнергетика. 2001. №11 .

18. Добронез Б. С. Интервальная математика: Учеб. пособие / «СФУ», — Красноярск, 2007. —287 с.

19. Бессекерский В.А., Небылов А.В. Робастные системы автоматического управления. М.: Наука, 1983.

20. Эйлер, Л., Труды С. - Петербургской академии наук. –1765. – Том XIII.

21. Fuller, A.T. Conditionsforaperiodicityinlinearsystems // Brit. J. Appl. Phys., 1955. № 6. – P. 195-198.

22. Удерман, Э.Г. Метод корневого годографа в теории автоматических систем – М.: Наука, 1972. – С. 448 .

23. Определение желаемой области расположения доминирующих полюсов замкнутой системы с учетом её нулей / С. В. Ефимов [и др.] // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. — 2008. — Т. 312, № 5 : Управление, вычислительная техника и информатика. — [С. 57-61].
24. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы .
25. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
26. СанПиН 2.2.2.542-96 «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
27. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
28. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Control systems with interval parameters

Студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 8АМ61 | Зарипов Сергей Сергеевич | | |

Консультант школы отделения (НОЦ): Отделение автоматизации и робототехники

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|----------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОАР | Ефимов Семён Викторович | К.Т.Н. | | |

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы: Отделение иностранных языков:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель ОИЯ | Шепетовский Денис Владимирович | - | | |

Control systems with interval parameters

2. Control systems with interval parameters

The main tasks in examining and synthesizing systems with interval parameters are not only retention of stability, but also to ensure the desired quality of control for any values of the interval parameters.

ACS with interval parameters is a family of ACS with constant parameters. Thus, robust systems include such means of description: state space, description in matrix form, transfer functions and characteristic polynomials. Obviously, the coefficients of the interval system transfer function and the coefficients of its characteristic polynomial depend on the interval parameters.

2.1 Intervals and interval arithmetic

An interval is the range of values of a system parameters limited from two sides. In writing, interval is usually denoted by the letter of the Latin alphabet, enclosed in square brackets; the higher and lower boundaries of the interval are denoted by the same letter with bar tab above or below:

$$[x] = [\underline{x}; \bar{x}] \quad (2.1)$$

Interval analysis is a set of operations conducted over intervals. Interval analysis is the development of set theory and allows performing basic arithmetic operations on intervals, operations on interval matrices; allows calculating the value of transcendental functions from intervals and etc.

The addition of intervals $[x]$ and $[y]$ is performed according to the following rule:

$$[x] + [y] = [\underline{x} + \underline{y}; \bar{x} + \bar{y}] \quad (2.2)$$

The lower bound of the two intervals sum is equal to the sum of the lower bounds of the summands; the higher bound of the two intervals sum is equal to the higher bounds sum of the summands.

Subtraction of intervals $[x]$, $[y]$ are performed according to the following rule:

$$[x] - [y] = [\underline{x} - \bar{y}; \bar{x} - \underline{y}] \quad (2.3)$$

The lower bound of the two intervals difference is equal to the difference between the lower bound of the reduced and higher bound of the subtrahend. The higher bound of the two intervals difference is equal to the difference between the higher bound of the reduced and the lower bound of the subtrahend.

Multiplication of intervals $[x]$, $[y]$ are performed according to the following rule:

$$[x] \cdot [y] = [\min\{\underline{x}\underline{y}, \underline{x}\bar{y}, \bar{x}\underline{y}, \bar{x}\bar{y}\}; \max\{\underline{x}\underline{y}, \underline{x}\bar{y}, \bar{x}\underline{y}, \bar{x}\bar{y}\}] \quad (2.4)$$

The lower bound of the two intervals product is equal to the minimal product of the factors boundaries. The higher bound of the two intervals product is equal to the maximum of products of the factors boundaries.

The division of the intervals $[x]$, $[y]$ are performed as the multiplication of the divisible by the interval, the inverse of the divisor. The calculation of the inverse interval is performed according to the following rule:

$$\frac{1}{[y]} = \begin{cases} 0, [y] = [0, 0] \\ \left[\frac{1}{\bar{y}}, \frac{1}{\underline{y}} \right], 0 \notin [y] \\ \left[\frac{1}{\bar{y}}, \infty \right], \underline{y} = 0, \bar{y} > 0 \\ \left[-\infty, \frac{1}{\underline{y}} \right], \bar{y} = 0, \underline{y} < 0 \\ [-\infty, \infty], \underline{y} < 0, \bar{y} > 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

2.2. Interval characteristic polynomials

The interval characteristic polynomial (ICP) is the denominator of the transfer function of a robust ACS; a characteristic polynomial whose coefficients depend in any way on the interval parameters of the system.

There are several types of uncertainties depending on how the coefficients of the ICP reliant on the interval parameters: interval, affine or polynomial.

The simplest type of uncertainty is *interval uncertainty*. For example, an interval polynomial is defined as follows:

$$P(s) = \left\{ P(s) = \sum_{i=0}^n [a_i] \cdot s^i : \underline{a}_i \leq a_i \leq \overline{a}_i, a_n > 0 \right\} \quad (2.6)$$

Interval parameters are the coefficients of the polynomial. This is rather rare, the coefficients of polynomials are usually abstract and have no physical meaning.

Affine uncertainty is one of the ways to take into account the effect of several interval parameters on each of the polynomial coefficients. The affine family of polynomials are defined as follows:

$$P(s) = \{ P(s, q) = P_0 + q_1 \cdot P_1(s) + \dots + q_l \cdot P_l(s), q \in Q \} \quad (2.7)$$

There is l interval parameters q ; each of the interval parameters enters the polynomial in the first degree, so the coefficients of the polynomial for s are a linear combination of interval parameters.

Polylinear or multilinear uncertainty assumes that the coefficients of the ICP are polynomials of the first degree regarding one of the interval parameters when the other interval parameters are replaced by constants. It differs from the affine uncertainty in that the dependence of the ICP on the products of interval parameters.

The most complex for analysis, *polynomial type of uncertainty* implies a nonlinear dependence of the polynomial coefficients on the interval parameters.

Based on the definition of the main types of uncertainties, we can conclude that any uncertainty: affine, polynomial or more complex can be reduced to interval uncertainty by the rules of interval arithmetic.

This study covers the interval type of uncertainty, on the basis of the laws of interval arithmetic, any more complex type of uncertainty can be reduced to it. The transition to it is possible on the basis of the rules of interval mathematics. From this point of view, the most simple is the interval uncertainty. It is necessary to take into account that with such simplification a re-boundary area is created, and the quality indicators of the synthesized interval system may differ slightly from the actual quality indicators of the system with a more complex type of uncertainty.

Currently, much attention is paid to integrated systems of automated control. There is a problem of increasing the settings of the regulators when they are calculated for the most unfavorable operating conditions of APCS for interval uncertainty. One of the ways to solve this problem can be to ensure a guaranteed stability in the ACS, while operating in the worst mode.

2.3 The mapping of the polyhedron of the coefficients of the ICP on the root plane

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

For clarity, consider a simple example: a second-order ACS with a transfer function of the form:

$$W(s) = \frac{1}{s^2 + [a_1] \cdot s + [a_0]} \quad (2.8)$$

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

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

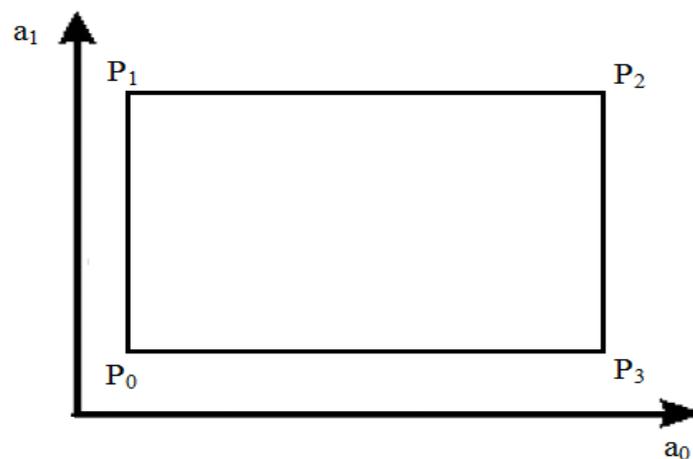


Figure 2.1 - Parametric polyhedron of a second-order hypothetical system

It is obvious that the coordinates of each vertex of parametric polyhedron represents collection of extremely value of intervals. For example, the vertex P0 has in the parameter space system coordinates, the vertex P1 – coordinates [a0;a1]. It is obvious that the edge PP 10 corresponds to the change of the parameter a0 from its lower boundary to the upper boundary. It should be noted that the number of edges of the parametric polyhedron of the system with interval uncertainty is determined by the expression:

$$N = m \cdot 2^{m-1} \quad (2.9)$$

here N is the number of edges of the parametric polyhedron, m is the number of interval parameters. Indeed, if there are two interval parameters in the system, then the parametric polyhedron of the system degenerates into a square with $N = 2 \cdot 2^{2-1} = 4$ edges; at three interval parameters – into a cube with $N = 2 \cdot 2^{3-1} = 12$ edges.

Each point inside the described parametric polyhedron determines by its coordinates the set of values of the interval coefficients of the characteristic equation of the system.

The roots of the characteristic equation in each of the possible modes, represent a portrait of the location of the fields of their localization, called a multiparameter interval root-locus plot (MIRLP).

Let the interval transfer-function coefficients (2.8) bespoke as follows: $a_0 = [2;5]; a_1 = [3;6]$ then MIRLP will have the following form (figure 2.2).

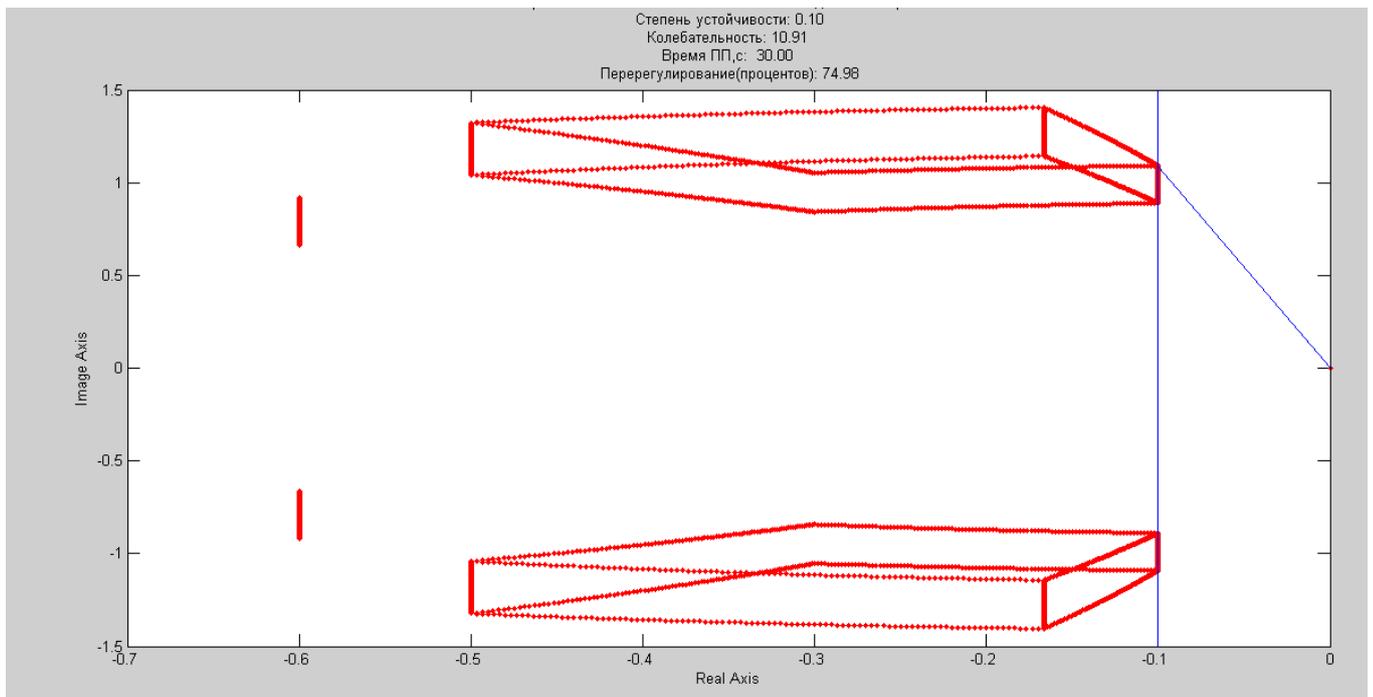


Figure 2.2 – Multiparameter interval root-locus plot of an arbitrary second-order system

This root-locus plot allow to determine the degree of robust system stability and the robust system oscillativity. The degree of robust system stability is determined by minimal distance from the imaginary axis to the nearest boundary of the localization field of the poles, in this case $\eta=0.1$. The degree of robust oscillativity is determined by the minimum angle in which all the field of localization of the poles are located, here $\mu=10.91$.

2.4 Determination of system quality indicators into the dynamics of the changing interval parameters process

Direct indicators of quality are the indicators obtained with the transient performance. From the direct quality indicators, the most frequently use the transient period and overshoot (Figure 2.3).

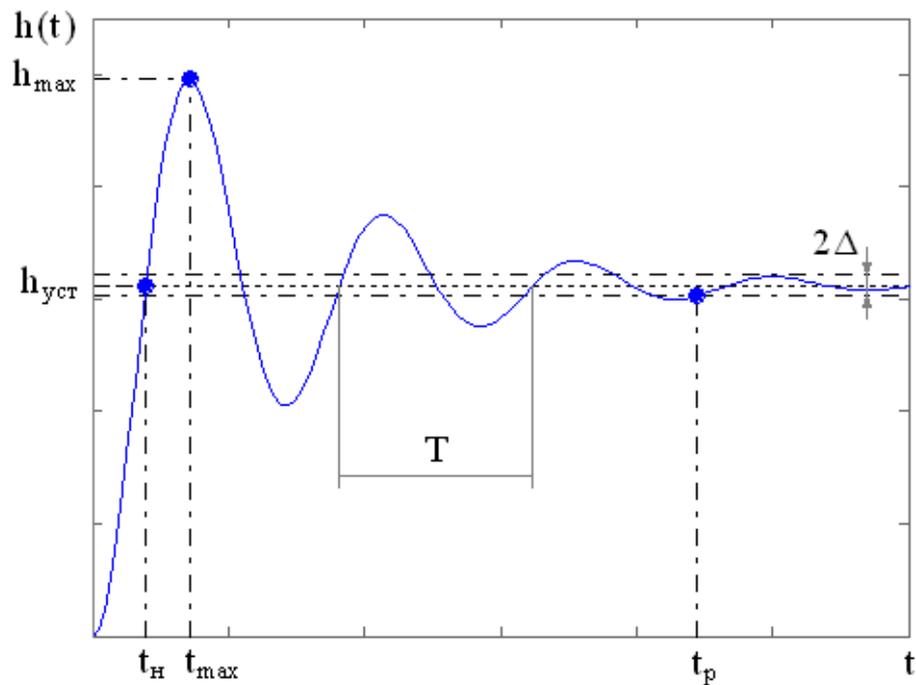


Figure 2.3- Diagram of transient process

The main direct indicators of the system quality:

- $h_{set.}$ is the steady-state value is the final value of the transient performance;
- t_r is the rise time is the time until the moment when the transient performance first reaches the value $h_{set.}$;
- overshoot $\sigma = \frac{h_{max} - h_{set.}}{h_{set.}} \cdot 100\%$;
- transient period t_r is the time when the signal reaches a predetermined value with an allowable deviation and sets (to the specified accuracy Δ) $\Delta = (0.03 \div 0.05) \cdot h_{set.}$;
- the number of oscillations n is the number of oscillations of the transient performance over time t_r . The first emission is not taken into account;
- oscillation frequency $\omega = \frac{2\pi}{T_k}$.

In point 2.3 indirect indicators of quality-robust stability of the system (η) and robust oscillation of the system (μ) are determined. Knowing η and μ one can find σ and t_p and vice versa (2.15).

$$t = \frac{3}{\eta} \tag{2.15}$$

$$\sigma = e^{-\frac{\pi}{\mu}}$$

Let the transfer function with the characteristic polynomial of the third order (2.16) be given for modeling the transient process of the system from one state to another.

$$W(s) = \frac{a_1s + a_0}{b_3s^3 + b_2s^2 + b_1s + b_0} = \frac{0.1s + [2;4]}{s^3 + 3s^2 + [3;4]s + [2;4]} \tag{2.16}$$

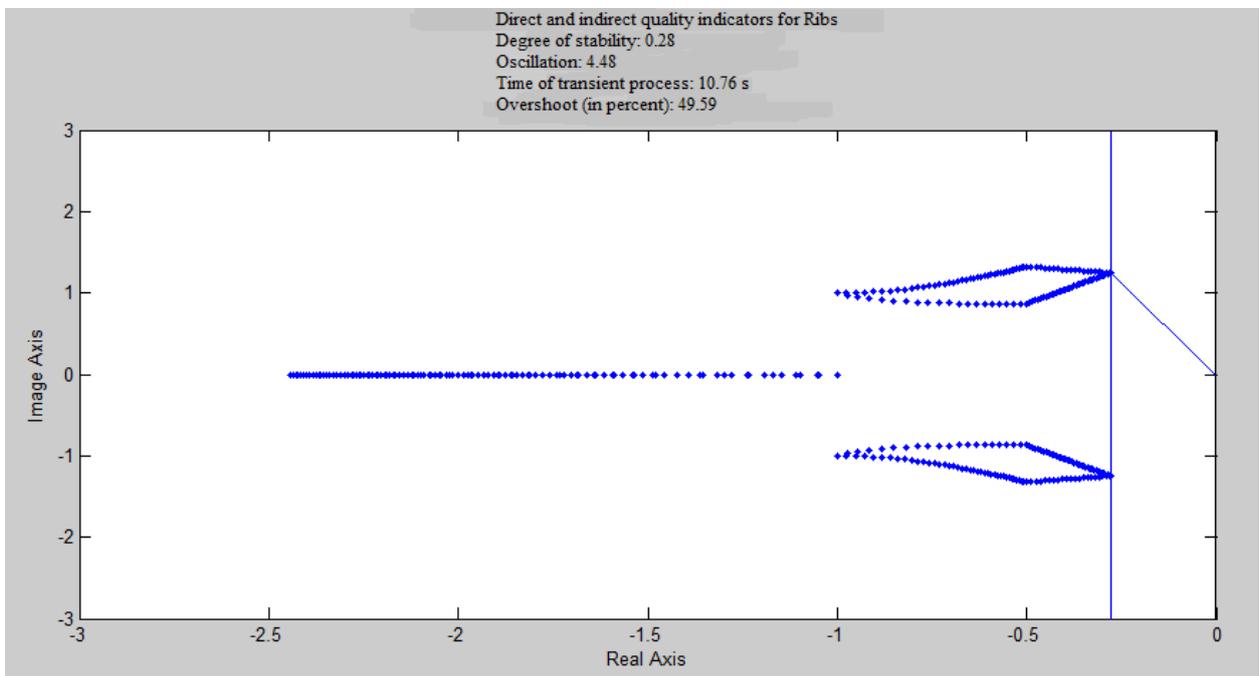


Figure 2.4 - The roots of the interval system and its quality indicators on the root plane

Based on the formula (2.16) we can find root quality indicators that lie on the edges of a parametric polyhedron. Turning from the root quality indicators to direct ones, you can find out that $\delta = 49.59\%$, $t_p = 10.76c$.

It follows that for (2.16), direct quality indices in transient processes for all possible combinations of the extreme intervals of the TF cannot exceed these parameters. This is shown in Figure 2.5.

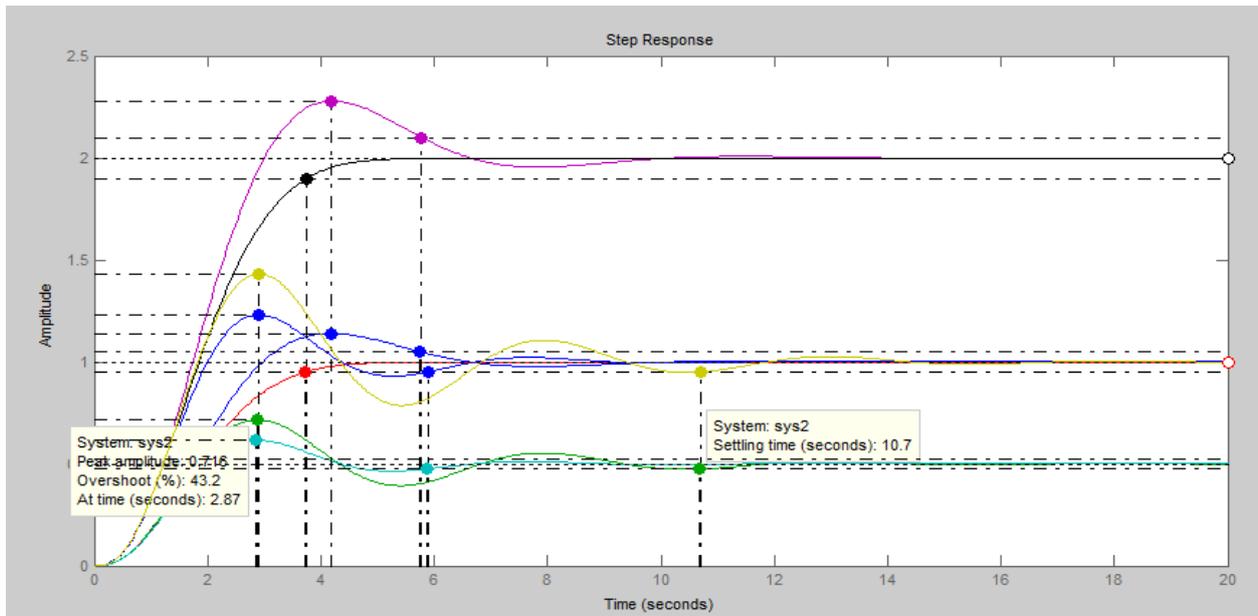


Figure 2.5- Graphs of transient processes

The case was considered when the parameter a_0 changes from 2 to 4 seconds in 0.5 increments (Figure 2.6) in order to determine the excess of direct indicators. In Figure 3.4, blue shows the transient processes for the state of the system, in which the poles of the transfer function are on the edges of the parametric polyhedron, the red ones inside it. As a result, it turned out that when the parameter a_0 of the transfer function (2.16) changed only the set point, but the direct indices did not exceed the limits.

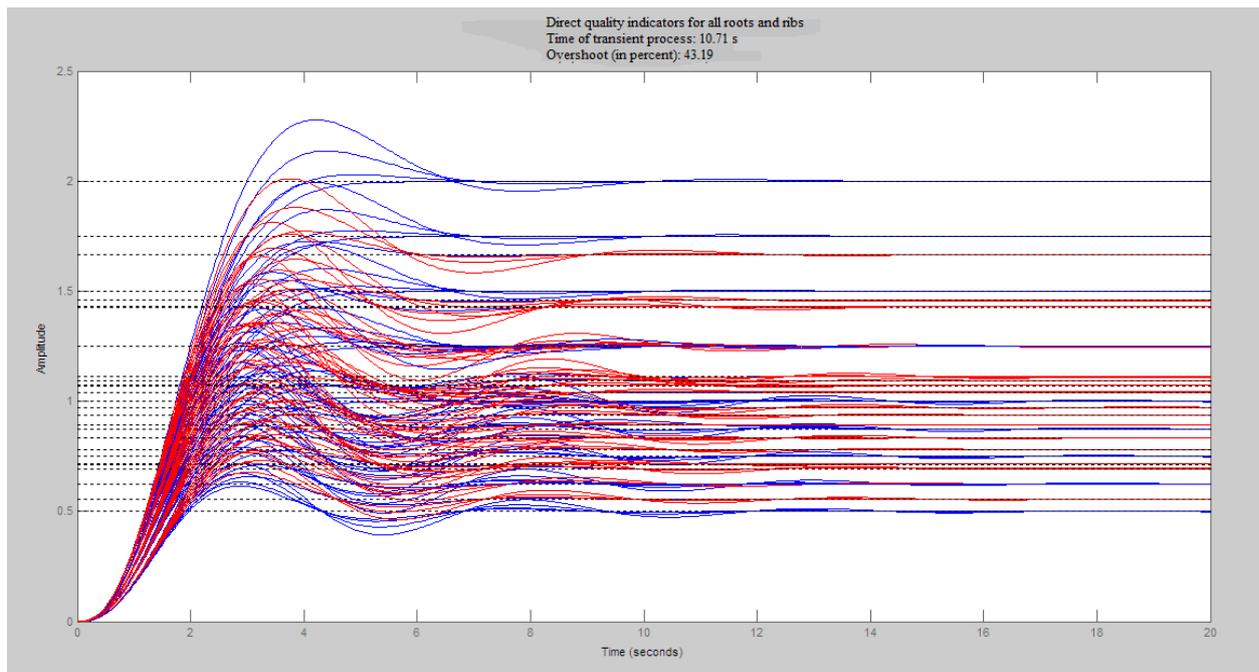


Figure 2.6 - Transient process for the transfer function

The assumption is made that the transition from one state to another does not occur immediately, but for some time. For this assumption, the circuit is assembled (Figure 2.7) and a simulation program is written (Application B)

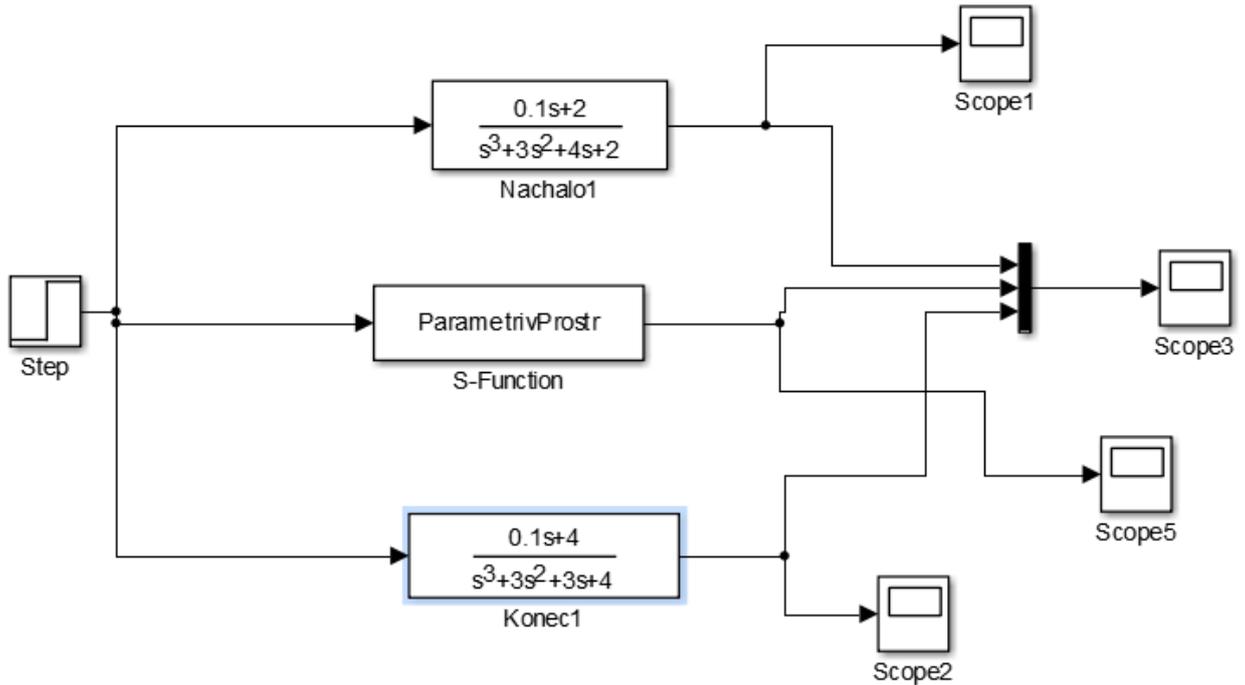


Figure 2.7-Scheme in Simulink-e

A series of experiments was performed in which various parameters (2.16) changed linearly over a period of time.

The transition is simulated (Figure 2.8) from $W(s) = \frac{0.1s + 2}{s^3 + 3s^2 + 4s + 2}$ to $W(s) = \frac{0.1s + 4}{s^3 + 3s^2 + 3s + 4}$, where the interval parameters change linearly over a time interval from 1 to 3 seconds. Here we see that $\delta = 55.22\%$, $t_r = 11.25$ s. exceed the bounds of direct indicators of quality, specified by the Kharitonov theorem.

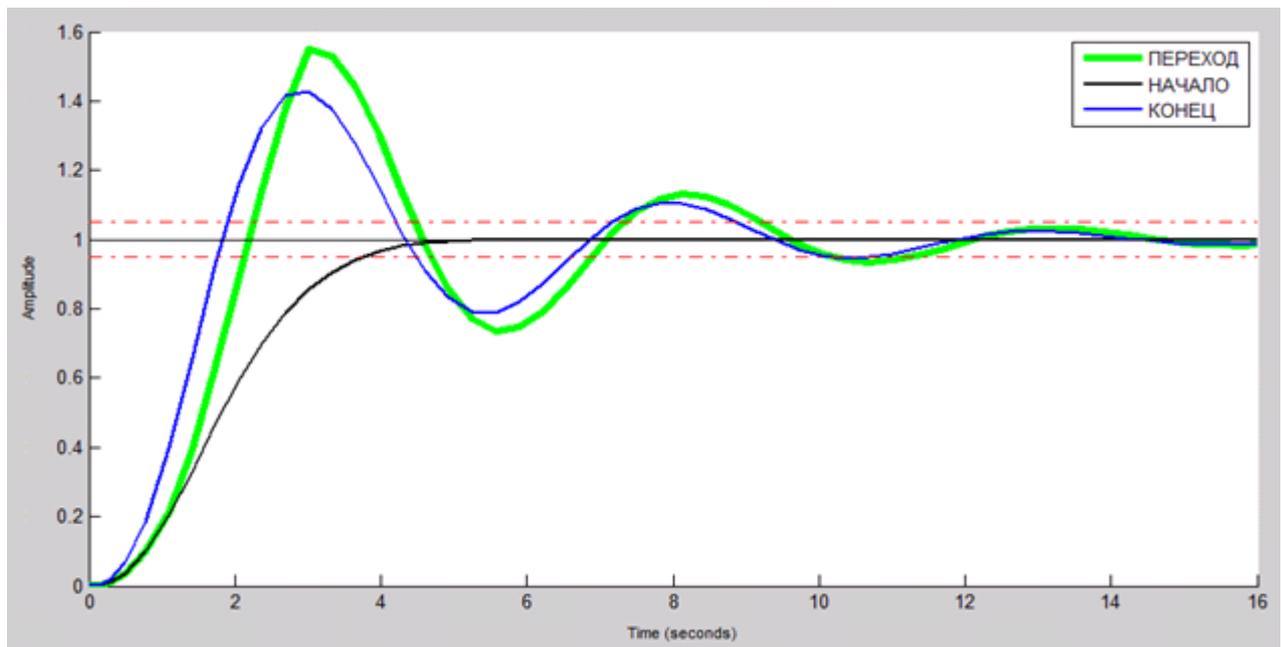


Figure 2.8- Graphs of transient processes

In a real life situation, there is a case where, in an established mode, the parameters of the transfer function change, for example, the moment of the electric motor responsible for them. For this case, an experiment was performed (Figure 3.7),

where the system transit into its original state with $W(s) = \frac{0.1s + 4}{s^3 + 3s^2 + 3s + 4}$ to

$W(s) = \frac{0.1s + 2}{s^3 + 3s^2 + 4s + 2}$ while the interval parameters change linearly over a time interval from 20 to 24 sec.

Figure 2.9 shows that $\delta = 54.88\%$ and $t_r = 14.55$ s. exceed the bounds of direct indicators of quality, specified by the Kharitonov theorem.

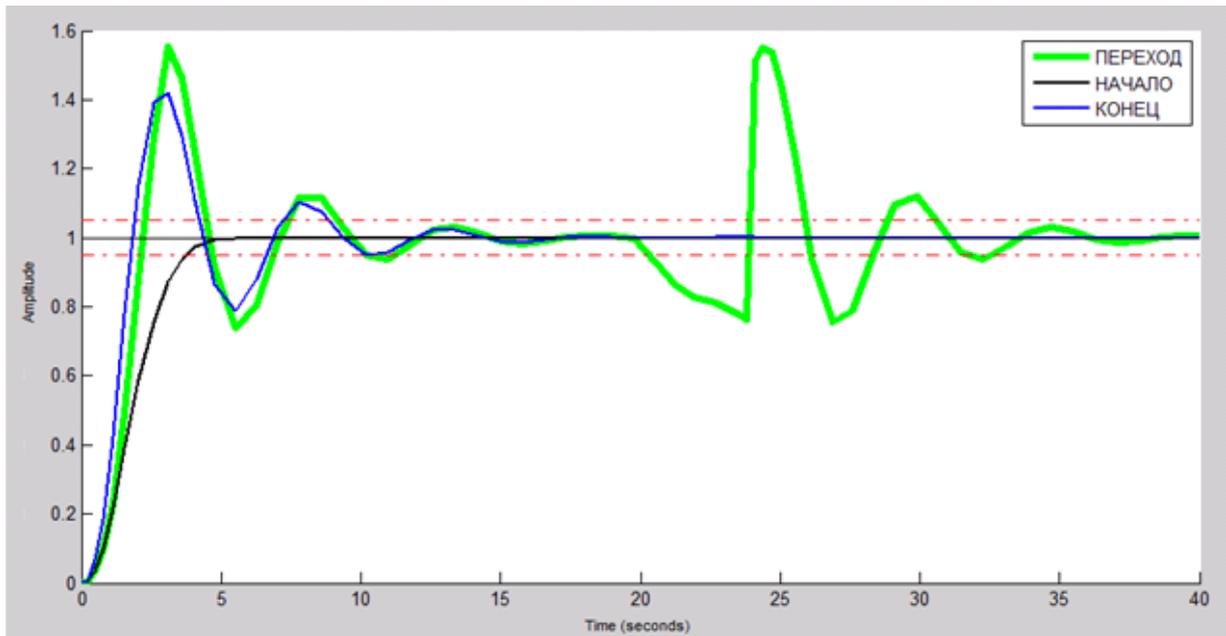


Figure 2.9 - Graphs of transient processes

On the basis of the data obtained, it can be concluded that even with the dynamic and static nature of the transient processes, direct quality indicators exceed the bounds, specified by the Kharitonov theorem.

A series of experiments was conducted to find out how the system behaves if it was wrapped in negative feedback with a tuned PI regulator (Figure 2.10), leading the system to steady state for all combinations of the extreme intervals of the transfer function (Figure 2.11).

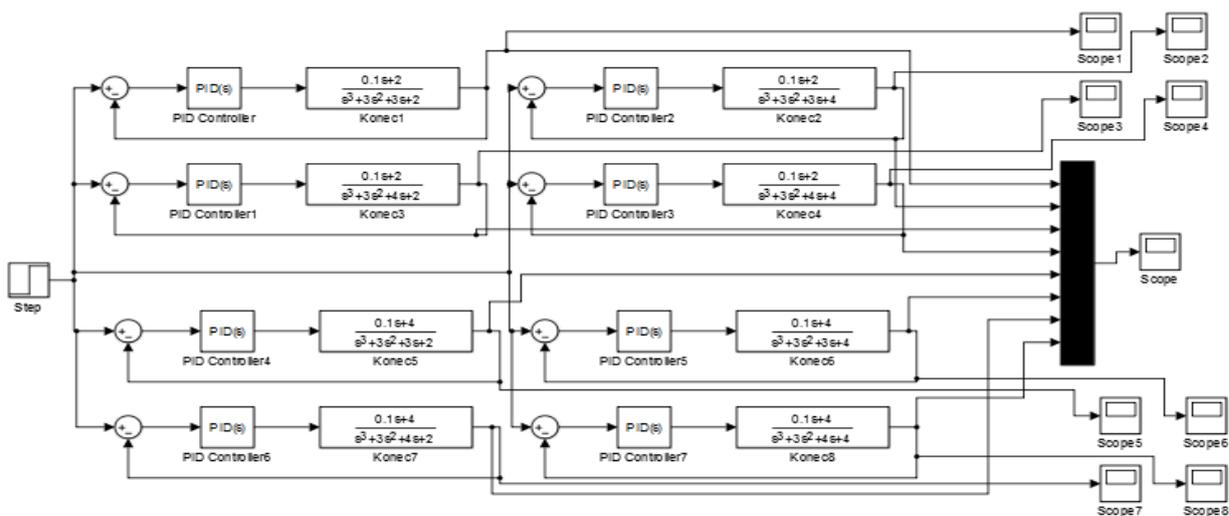


Figure 2.10-Scheme in Simulink-e

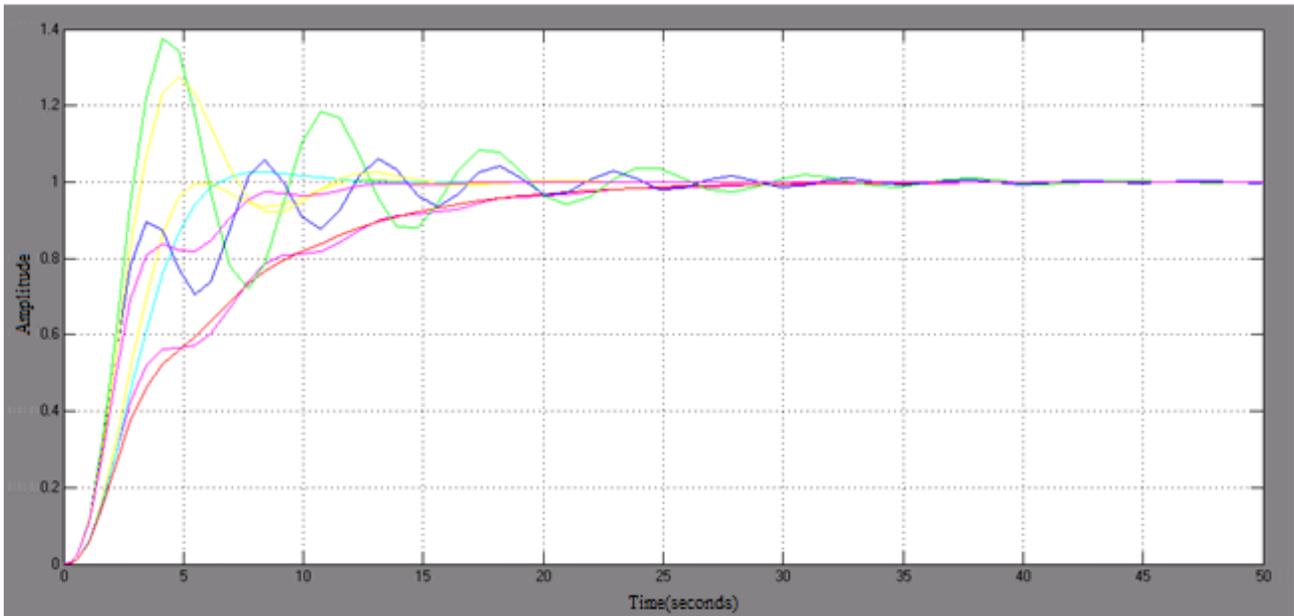


Figure 2.11 - Graphs of transient processes

According to figure 2.11, the best and worst direct indicators can be determined. The worst ones are found in (2.17), they formulated $\delta = 37.35\%$ and $t_r = 21.43\text{ s}$. The best direct indicators of quality were found in (2.18), they formulated $\delta = 0\%$ and $t_r = 17.3\text{ s}$.

$$W_1(s) = \frac{0.1s + 4}{s^3 + 3s^2 + 3s + 2} \quad (2.17)$$

$$W_2(s) = \frac{0.1s + 2}{s^3 + 3s^2 + 4s + 4} \quad (2.18)$$

Since the regulator was added and closed with negative feedback, the transfer function (2.19) has changed.

$$W = \frac{W_{regulator} \cdot W_{object}}{1 + W_{regulator} \cdot W_{object}} \quad (2.19)$$

$$W_{regulator} = \frac{k_p s + k_I}{s} \quad (2.20)$$

As a result, substituting all the numerical parameters and applying the interval arithmetic specified in point 2.1, the following interval transfer function (2.21) is obtained:

$$W_{3c} = \frac{0.0197s^2 + [0.4273; 0.8213]s + [0.67; 1.33]}{s^4 + 3s^3 + [3.02; 4.02]s^2 + [2.43; 4.82]s + [0.67; 1.33]} \quad (2.21)$$

In order to find the root quality indicators, and from them to go straight to the formula (2.21), a rib path was constructed (Figure 2.12).

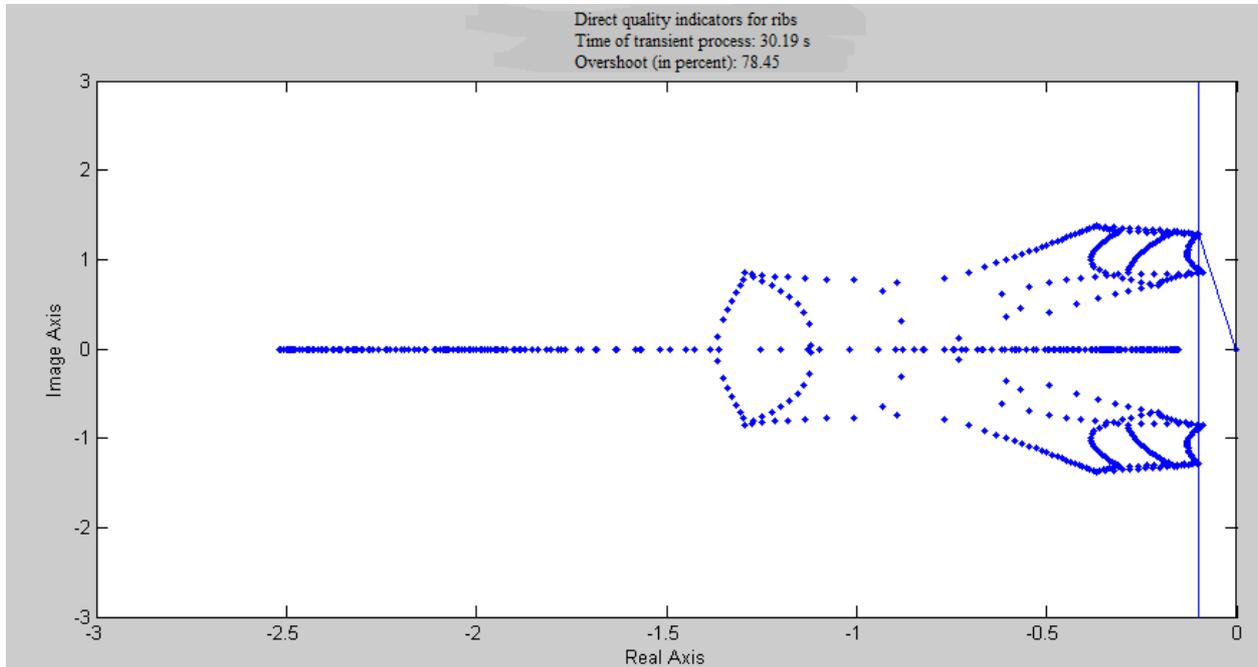


Figure 2.12- Ribbed route

Figure 2.12 shows that $\delta=78.45\%$, $t_r=17.3s$.

Further, in order to determine the behavior of a closed ACS, a series of experiments was performed, changing parameters (2.16) linearly over a certain time interval.

The transition from (2.17) to (2.18) is simulated by linearly changing the parameters of the system from 1 to 3 seconds (Figure 2.13). As seen $\delta=51.6\%$, $t_r = 22.6 s$, it exceeds the worst direct quality indicators of the system, specified by the Kharitonov theorem.

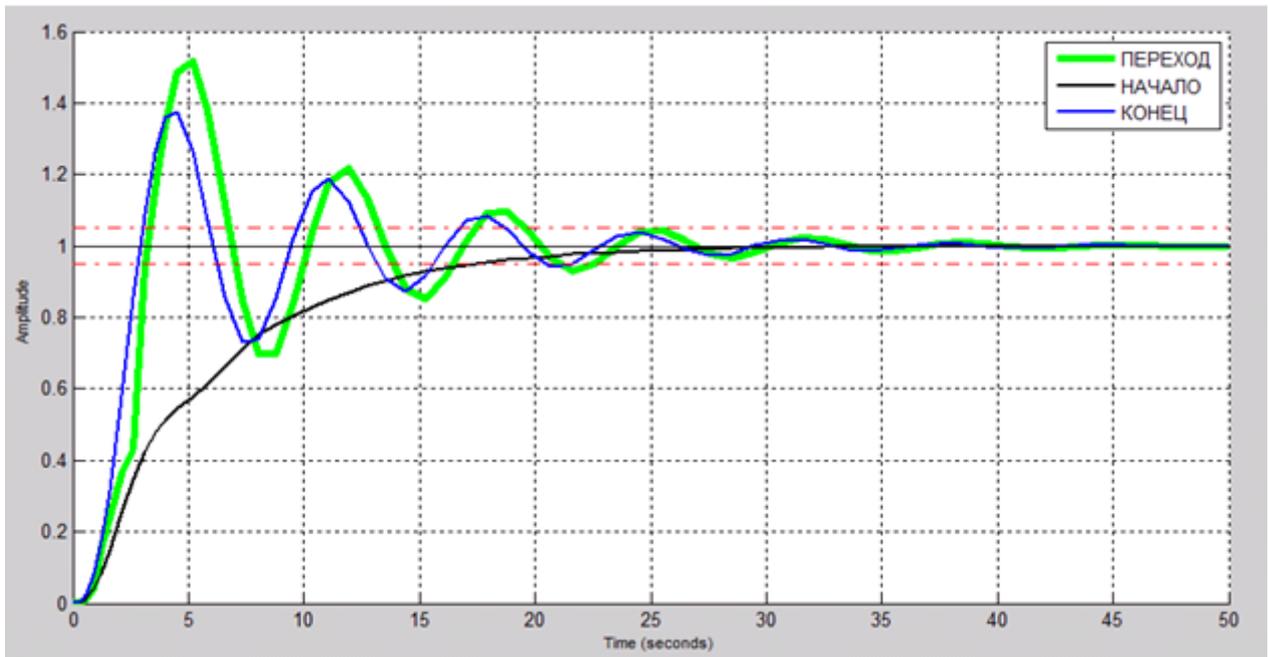


Figure 2.13 - Graphs of transient processes

The transition from (2.17) to (2.18) is simulated by linearly changing the parameters of the system from 6 to 8 seconds (Figure 2.14). As seen $\delta=103.9\%$, $t_r = 30.7 s$, which also exceeds the worst direct quality indicators of the system, specified by the Kharitonov theorem.

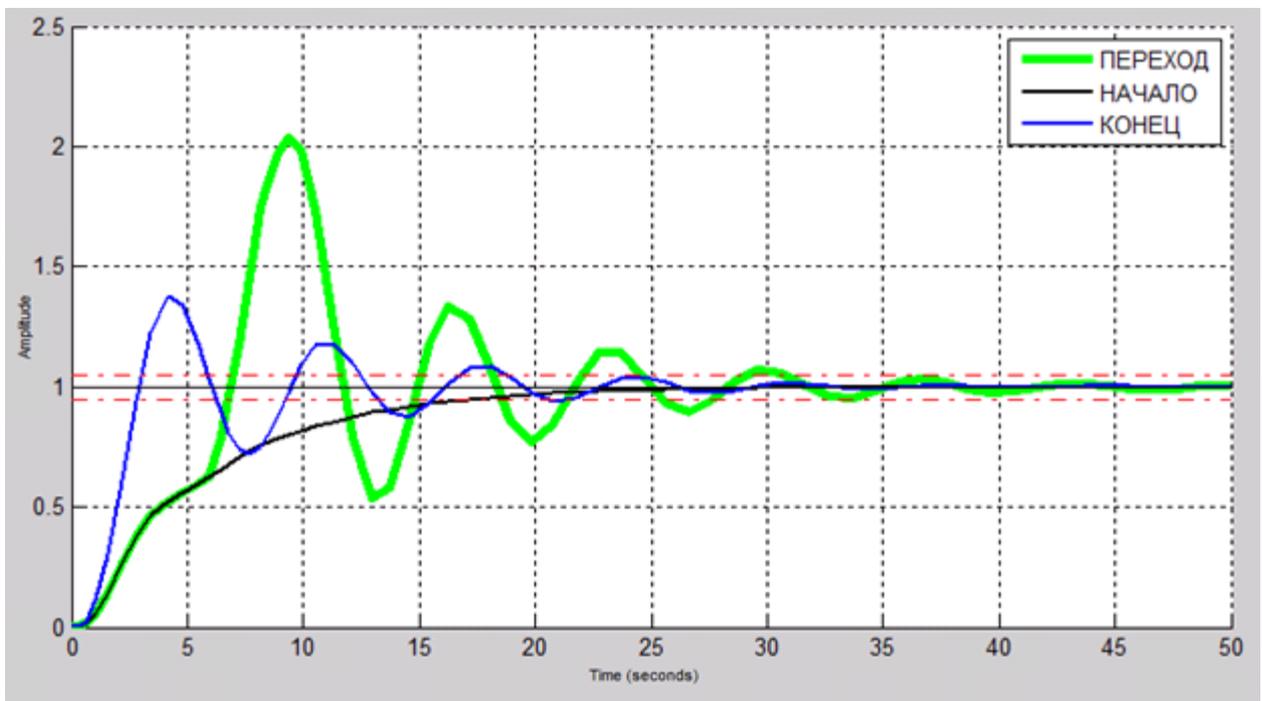


Figure 2.14 - Graphs of transient processes

The transition from (2.17) to (2.18) is simulated by linearly changing the system parameters from 16 to 18 seconds (Figure 2.15). As seen $\delta=144\%$, $t_r = 48.85$ s, it exceeds the worst direct quality indicators of the system, specified by the Kharitonov theorem.

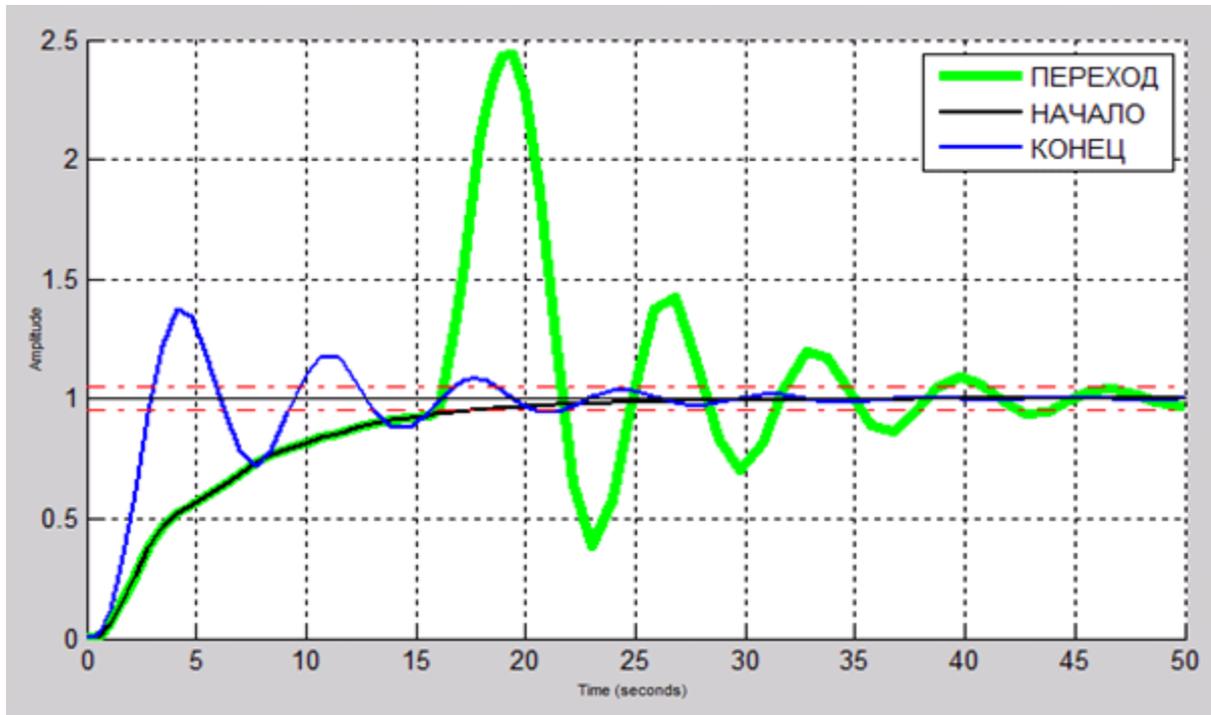


Figure 2.15 - Graphs of transient processes

A transition was made from (2.17) to (2.18) by linearly changing the parameters of the system from 46 to 48 seconds (Figure 2.16). As seen $\delta=153.8\%$, $t_r = 73.82$ s, which exceeds the worst direct quality indicators of the system, specified by the Kharitonov theorem.

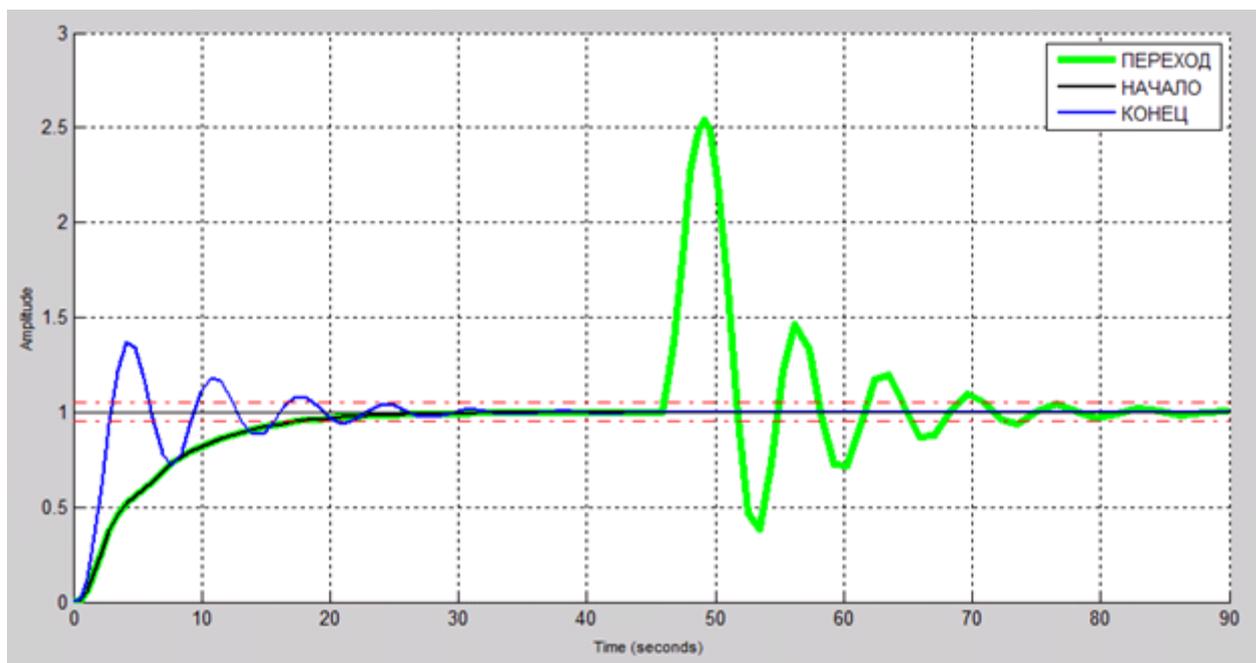


Figure 2.16 - Graphs of transient processes

A transition was made from (2.17) to (2.18) by linearly changing the parameters of the system from 146 to 148 seconds (Figure 2.17). As seen $\delta=152.4\%$, $t_r=173.66$ s., which exceeds the worst direct quality indicators of the system, specified by the Kharitonov theorem.

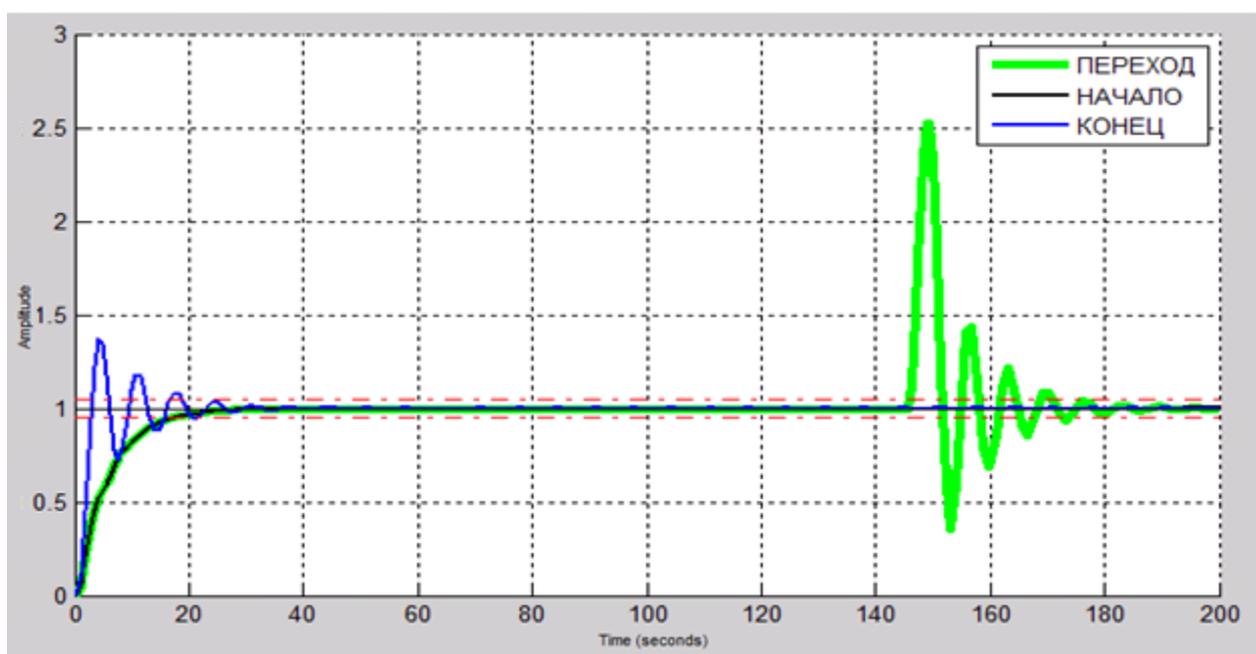


Figure 2.17 - Graphs of transient processes

In conclusion, all the results of the transient processes of a closed automatic control system are summarized in Table 2.1.

Table 2.1-Direct quality indicators

| Transition | t ₁ =1, sec t ₂ =3,sec | t ₁ =6, sec t ₂ =8, sec | t ₁ =16, sec t ₂ =18, sec | t ₁ =46, sec t ₂ =48, sec | t ₁ =146, sec t ₂ =148, sec |
|--------------|---|--|--|--|--|
| $\delta, \%$ | 51.6 | 103.9 | 144 | 153.8 | 152.4 |
| $t_r, sec.$ | 22.6 | 30.7 | 48.85 | 73.82 | 173.66 |

As seen from table 2.1, the values of the direct quality indicators exceed the values obtained on the ribs ($\delta = 78.45\%$. $t_r=30.19$ s.).

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Листинг программы

```
function [sys,x0,str,ts] = ParametrivProstr(t,x,u,flag)
```

```
if t<=16
```

```
A=[ 0 1 0;  
    0 0 1;  
   -4 -4 -3];
```

```
B=[ 0;  
    0;  
    1];
```

```
C=[ 2 0.1 0];
```

```
D=[0];
```

```
elseif (t>16 & t<=18)
```

```
A=[ 0 1 0;  
    0 0 1;  
   (1*t-20) (1/2*t-12) -3];
```

```
B=[ 0;  
    0;  
    1];
```

```
C=[ (1*t-14) 0.1 0];
```

```
D=[0];
```

```
else
```

```
A=[ 0 1 0;  
    0 0 1;  
   -2 -3 -3];
```

```
B=[ 0;  
    0;  
    1];
```

```
C=[ 4 0.1 0];
```

```
D=[0];
```

```
end;
```

```

switch flag,

case 0,
    [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes(A,B,C,D);

case 1,
    sys=mdlDerivatives(t,x,u,A,B,C,D);

case 3,
    sys=mdlOutputs(t,x,u,A,B,C,D);

case { 2, 4, 9 }
    sys=[];

otherwise
    error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);

end

function [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes(A,B,C,D)

sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 3;
sizes.NumDiscStates = 0;
sizes.NumOutputs = 1;
sizes.NumInputs = 1;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = zeros(3,1);
str = [];
ts = [0 0];

function sys=mdlDerivatives(t,x,u,A,B,C,D)

sys = A*x + B*u;

function sys=mdlOutputs(t,x,u,A,B,C,D)

sys = C*x + D*u;

```