

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Псевдолинейный регулятор систем автоматического управления

УДК 004.896:681.515

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM01	Ван Лянь		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин М.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Т.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Антоневич О.А.	к.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суходоев М.С.	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	способность организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	способность анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	способность определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	готовность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ОПК(У)-3	способность разрабатывать (на основе действующих стандартов) методические и нормативные документы, техническую документацию в области автоматизации технологических процессов и производств, в том числе жизненному циклу продукции и ее качеству, руководить их созданием
ОПК(У)-4	способность руководить подготовкой заявок на изобретения и промышленные образцы в области автоматизированных технологий и производств, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	способность разрабатывать технические задания на модернизацию и автоматизацию действующих производственных и технологических процессов и производств, технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний, новые виды продукции, автоматизированные и автоматические технологии ее производства, средства и системы автоматизации, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-2	способность проводить патентные исследования с целью обеспечения патентной чистоты и патентоспособности новых проектных решений и определения показателей технического уровня проектируемой продукции, автоматизированных и автоматических технологических процессов и производств, средств их технического и аппаратно-программного обеспечения
ПК(У)-3	способность составлять описание принципов действия и конструкции устройств, проектируемых технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний технологических процессов и производств общепромышленного и специального назначения для различных отраслей национального хозяйства, проектировать их архитектурно-программные комплексы
ПК(У)-4	способность разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты

Код компетенции	Наименование компетенции
	автоматизированных и автоматических производств различного технологического и отраслевого назначения, технических средств и систем автоматизации управления, контроля, диагностики и испытаний, систем управления жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизации проектирования, отечественного и зарубежного опыта разработки конкурентоспособной продукции, проводить технические расчеты по проектам, технико-экономический и функционально-стоимостной анализ эффективности проектов, оценивать их инновационный потенциал и риски
ПК(У)-5	способность разрабатывать функциональную, логическую и техническую организацию автоматизированных и автоматических производств, их элементов, технического, алгоритмического и программного обеспечения на базе современных методов, средств и технологий проектирования
ПК(У)-15	способность разрабатывать теоретические модели, позволяющие исследовать качество выпускаемой продукции, производственных и технологических процессов, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления, проводить анализ, синтез и оптимизацию процессов автоматизации, управления производством, жизненным циклом продукции и ее качеством на основе проблемно-ориентированных методов
ПК(У)-16	способность проводить математическое моделирование процессов, оборудования, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления с использованием современных технологий научных исследований, разрабатывать алгоритмическое и программное обеспечение средств и систем автоматизации и управления
ПК(У)-17	способность разрабатывать методики, рабочие планы и программы проведения научных исследований и перспективных технических разработок, подготавливать отдельные задания для исполнителей, научно-технические отчеты, обзоры и публикации по результатам выполненных исследований
ПК(У)-18	способность осуществлять управление результатами научно-исследовательской деятельности и коммерциализацией прав на объекты интеллектуальной собственности, осуществлять ее фиксацию и защиту

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) _____
(Дата) Суходоев М.С.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ01	Ван Лянь

Тема работы:

Псевдолинейный регулятор систем автоматического управления	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№47-10/с от 16.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	- Объект управления второго порядка. - ПИД - регулятор. - Псевдолинейный корректор с фазовым опережением. - Программные среды: MATLAB, MathCad, STEP 7
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	- Исследование свойств псевдолинейных корректирующих устройств с амплитудным подавлением и устройств с фазовым опережением в Mathcad; - Разработка в среде MATLAB псевдолинейного регулятора систем автоматического управления с амплитудным подавлением с адаптивной структурой; - Реализация разработанного регулятора на контроллере Simatic S7-400.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация в формате *.pptx на 22 слайдах
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Основная часть	Доцент ОАР ИШИТР, к.т.н. Скороспешкин Максим Владимирович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н. Былкова Татьяна Васильевна
Социальная ответственность	Доцент ООД ШБИП, к.б.н. Антонец Ольга Алексеевна
Английский язык	Доцент ОИЯ ШБИП, к.п.н. Сидоренко Татьяна Валерьевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Описание ПИД-регулятора	
Описание S-функции в Simulink	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.02.2022
--	-------------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин М.В.	к.т.н		16.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM01	Ван Лянь		16.02.2022

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Уровень образования – Магистратура
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения – Весенний семестр 2021 /2022 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:	06.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.05.2022 г.	Основная часть ВКР	60
30.05.2022 г.	Раздел «Социальная ответственность»	20
30.05.2022 г.	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин М. В.	К.Т.Н.		16.02.2022

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суходоев М.С.	К.Т.Н.		16.02.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
8TM01		Ван Лянь	
Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР:

Псевдолинейный регулятор систем автоматического управления

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации	<i>Объект исследования:</i> Псевдолинейный регулятор систем автоматического управления. <i>Область применения:</i> лаборатории, Промышленный контроль процессов. <i>Рабочая зона:</i> лаборатория. <i>Размеры помещения климатическая зона:</i> 5*9 м. <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> компьютер, ПЛК-контроллер <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне :</i> Разработана программа.
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Федеральный закон от 30 декабря 2001 г. №197-ФЗ. Трудовой кодекс Российской Федерации; ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность при разработке проектного решения – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов	<i>Опасные факторы:</i> – <i>Вредные факторы:</i> 1. электромагнитное излучение; 2. Превышение уровня шума; 3. Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (монотонность труда, перенапряжение анализаторов); 4. Недостаточная освещенность рабочей зоны; <i>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</i> беруши, наушники и комплекс упражнений на глаз. <i>Расчет:</i> расчет системы искусственного освещения
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения	<i>Воздействие на селитебную зону:</i> Загрязнение тяжелыми металлами.

	<i>Воздействие на литосферу:</i> Загрязнение тяжелыми металлами. <i>Воздействие на гидросферу:</i> Загрязнение тяжелыми металлами. <i>Воздействие на атмосферу:</i> Канцерогены от сжигания старых компьютеров загрязняют воздух.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения	<i>Возможные ЧС:</i> 1. природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); <i>Наиболее типичная ЧС:</i> 1. Пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	31.01.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Антоневич О.А.	к. б. н		31.01.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ01	Ван Лянь		31.01.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ01	Ван Лянь

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	—
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Действующие ставки единого социального налога и НДС (Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30%)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Оценка готовности полученного результата к выводу на целевые рынки, краткая характеристика этих рынков
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет величины НДС и цены результата ВКР
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Качественная и количественная характеристика экономического и др. видов эффекта от внедрения результата, определение эффективности внедрения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- «Портрет» потребителя результатов НТИ
- Сегментирование рынка
- Оценка конкурентоспособности технических решений
- Матрица SWOT
- График проведения и бюджет НТИ
- Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
- Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	31.01.2022
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Т.В.	к.э.н.		31.01.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ01	Ван Лянь		31.01.2022

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 102 с, 54 рисунков, 23 таблицы, 22 источников, 4 приложений, 22 слайдов мультимедийной презентации.

Ключевые слова: псевдолинейное корректирующее устройство, объект управления второго порядка, качество регулирования, s-функции в MATLAB, программный пакет STEP 7.

Цель работы – повышение качества систем автоматического управления нестационарными объектами различного порядка.

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы рассмотрены псевдолинейные корректирующие устройства. Произведен выбор псевдолинейного корректирующего устройства с амплитудным подавлением, проведено исследование его работы в составе системы автоматического регулирования (САР). Разработан, исследован и программно реализован псевдолинейный регулятор для объектов управления. Исследование свойств корректирующих устройств и САР осуществлялось с применением программных пакетов Matlab и MathCad.

Программная реализация псевдолинейного регулятора для систем автоматического регулирования объектами выполнена в программном пакете STEP 7 на языке FBD.

Результаты исследования показали эффективность разработанного псевдолинейного регулятора для систем автоматического регулирования объектами.

Практическая значимость результатов ВКР заключается в том, что разработанная модель будет использоваться для повышения качества управления классическим ПИД-регулятором, который лучше справляется с непредсказуемыми изменениями объекта управления.

Сокращения

КУ – корректирующее устройство;

ПКУ – псевдолинейное корректирующее устройство;

ЛАЧХ – логарифмическая амплитудная частотная характеристика;

ФЧХ – фазовая частотная характеристика;

САР – система автоматического регулирования;

ОУ – объект управления;

ПИД-регулятор – пропорционально-интегро-дифференциальный регулятор;

Оглавление

Введение	14
1 Псевдолинейные корректирующие устройства	15
1.1 Корректирующие устройства с амплитудным подавлением	15
1.2 Корректирующие устройства с фазовым опережением	17
2 Описание ПИД-регулятора	21
2.1 Регулятор	21
2.2 Методы оценки качества регулирования в САР	22
3 Описание S-функции в Simulink	24
4 Разработка в среде MATLAB систем управления с псевдолинейным регулятором с адаптивной структурой	26
5 Программная реализация адаптивного корректирующего устройства на контроллере Simatic S7-400	43
5.1 Программ САР с КУ на языке FBD	43
6 Социальная ответственность	49
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	49
6.1.1 Анализ условий труда на рабочем месте	50
6.2 Производственная безопасность	51
6.2.1 электромагнитное излучение	52
6.2.2 Превышение уровня шума	52
6.2.3 Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (монотонность труда, перенапряжение анализаторов)	53
6.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны	54
6.3 Экологическая безопасность	57
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	58
6.4.1 Природная чрезвычайная ситуация	58
6.4.2 Анализ пожарной безопасности	58
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	62
7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения	

научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	63
7.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	63
7.1.2 Анализ конкурентных технических решений	64
7.1.3 SWOT-анализ	65
7.2 Инициация проекта	67
7.2.1 Цели и результат проекта	67
7.2.2 Организационная структура проекта	68
7.3 Планирование управления научно-техническим проектом	68
7.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	69
7.3.2 Определение трудоемкости выполнения работы	69
7.3.3 Разработка графика проведения научного исследования	73
7.4 Бюджет затрат на проектирование	75
7.4.1 Расчет материальных затрат проекта	75
7.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	75
7.4.3 Основная заработная плата исполнителей проекта	77
7.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	78
7.4.5 Накладные расходы	79
7.4.6 Формирование затрат на проектирование	79
7.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	80
Заключение	84
Список публикаций студента	85
Список используемых источников	86
Приложение А – Листинг m-файла «step1212» блока S-Function в среде Simulink	88
Приложение Б – Листинг m-файла «err22» блока S-Function в среде Simulink ..	90
Приложение В – Листинг m-файла «errT1» блока S-Function в среде Simulink ..	91
Приложение Г – Раздел на английском языке	93

Введение

Обычно при проектировании систем автоматического управления предполагается, что характер возмущений, воздействующих на АСУ, известен и что параметры системы в рабочих условиях не изменяются или изменяются в небольшом диапазоне. Действительно, возможно, что в процессе эксплуатации системы могут произойти непредвиденные изменения характеристик объекта управления (ОУ) и параметров внешней среды, влияющих на ОУ, что приведет к отклонениям в процессе управления от ожидаемого, а также ухудшение показателей качества.

На сегодняшний день для повышения качества систем автоматического управления широко используются специальные калибровочные устройства, которые позволяют изменять характеристики АСУ в соответствии с требованиями. В ВКР решается задача повышения качества систем автоматического управления нестационарными объектами различного порядка.

Объект исследования: Псевдолинейный регулятор систем автоматического управления.

Целью данной выпускной квалификационной работы является повышение качества систем автоматического управления нестационарными объектами различного порядка. Контроллер был разработан на основе ПИД-регулятора и псевдолинейного корректора с амплитудным подавлением.

Практическая значимость результатов ВКР заключается в том, что разработанная модель будет использоваться для повышения качества управления классическим ПИД-регулятором, который лучше справляется с непредсказуемыми изменениями объекта управления.

1 Псевдолинейные корректирующие устройства

Устройства нелинейной коррекции, в которых эквивалентные амплитудно-фазовые характеристики не зависят от амплитуды входного сигнала, называются псевдолинейными. Существует 3 типа этого устройства: корректирующие устройства с амплитудным подавлением; корректирующее устройство с фазовым опережением; корректирующее устройство с отдельными каналами для амплитуды и фазы [1]. В данной работе исследуются только первые два устройства.

1.1 Корректирующие устройства с амплитудным подавлением

Нелинейный фильтр может быть разработан на основе схемы, показанной на рисунке 1.1, которая позволяет амплитуде падать при повышении частоты, но без отклонения фазы.

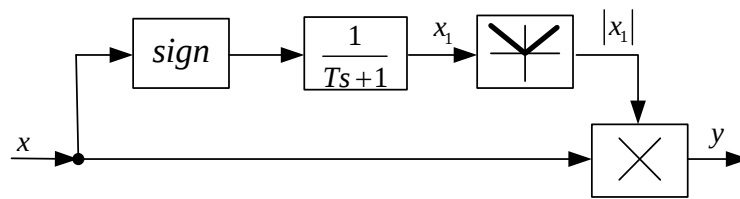


Рисунок 1.1 – схема нелинейного фильтра с амплитудным подавлением

Чтобы лучше понять, как изменяется сигнал через каждый модуль в структуре корректирующих устройств с амплитудным ослаблением, я построил модель в MATLAB SIMLINK, показанную на рисунке 1.2.

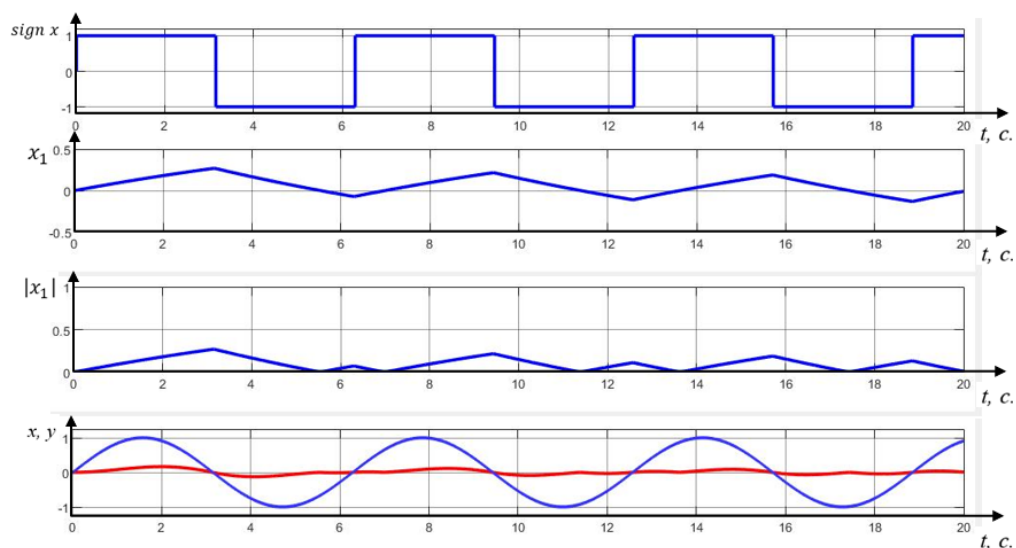


Рисунок 1.2 – Форма сигнала ПКУ с амплитудным подавлением при $T=10$ с.

Согласен с данными работ [2], в пакете MathCad для параметра

амплитудного канала $T = 0 \dots 500$ и постоянных значений коэффициента K , построены ряды ЛАЧХ и ФЧХ.

$$T = [0.001, 0.1, 0.5, 5, 10, 50, 100, 300, 500] \quad K=1$$

Коэффициенты гармонической линейаризации и графики ЛАЧХ и ФЧХ с амплитудным подавлением показаны на рисунке 1.3, 1.4.

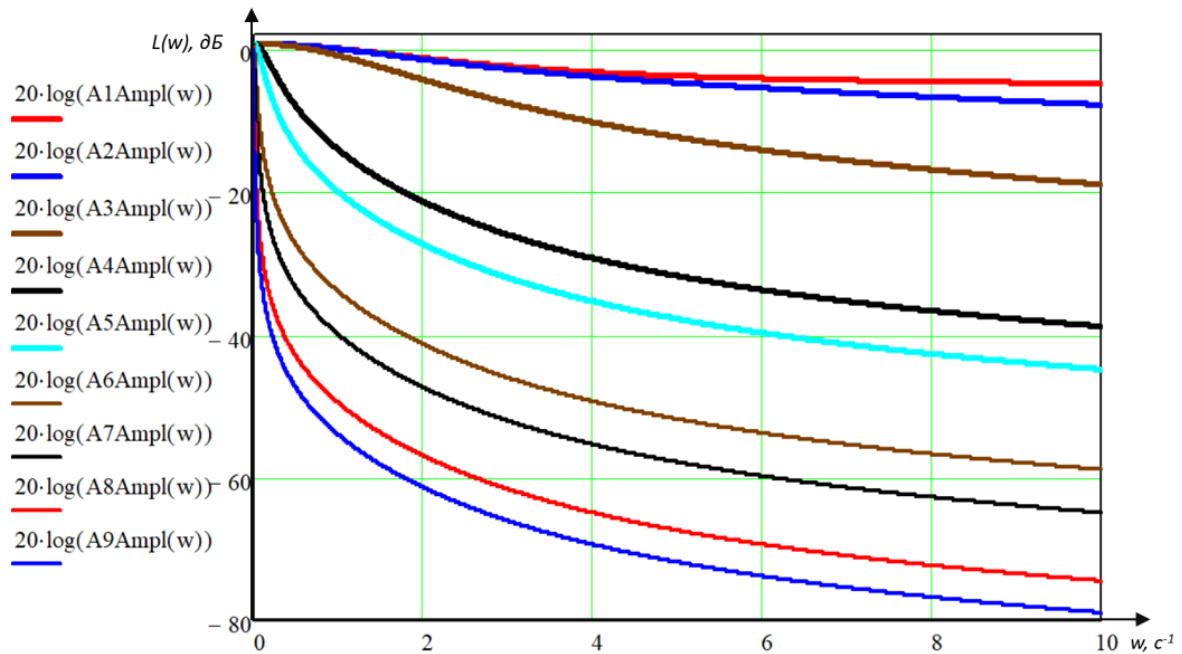


Рисунок 1.3 – ЛАЧХ КУ с амплитудным подавлением при разных значениях параметра T



Рисунок 1.4 – ФЧХ КУ с амплитудным подавлением при разных значениях параметра T

Исследования показали, что чем больше значение параметра T ПКУ с амплитудным подавлением, тем сильнее подавляется амплитуда входного сигнала. При этом фаза переходного процесса увеличивается на $19,6^\circ$. Это приводит к увеличению времени переходного процесса и времени нарастания.

1.2 Корректирующие устройства с фазовым опережением

Структурная схема корректирующего устройства с фазовым опережением приведена на рисунке 1.5.

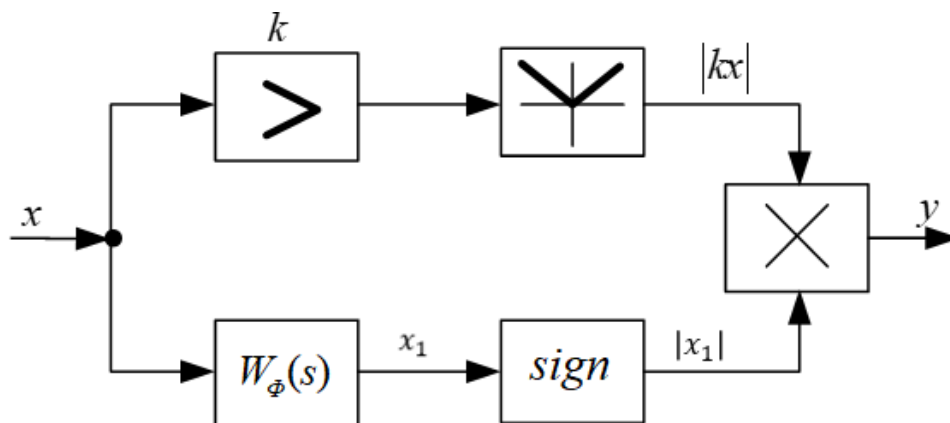


Рисунок 1.5 – схема нелинейного фильтра с фазовым опережением

Чтобы лучше понять, как изменяется сигнал через каждый модуль в структуре корректирующих устройств с фазовым опережением, я построил модель в MATLAB SIMLINK, показанную на рисунке 1.6.

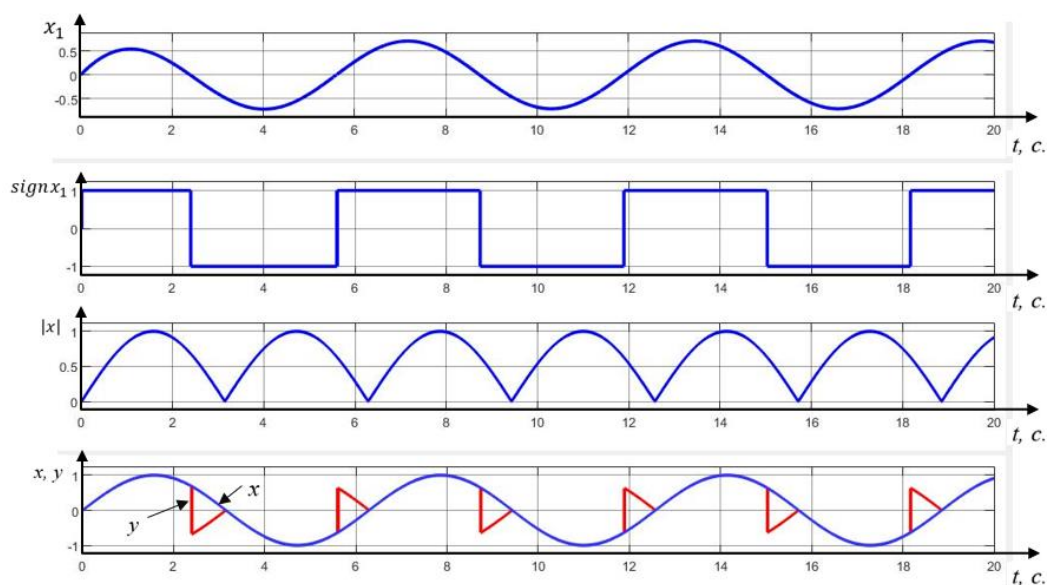


Рисунок 1.6 – Форма сигнала ПКУ с фазовым опережением при $T=10$ с, $T_1=1$ с

Согласен с данными работ [2], в пакете MathCad для параметра амплитудного канала $T= 0.001 \dots 100$ или $T_1= 0.001 \dots 100$ и постоянных

значений коэффициента K , построены ряды ЛАЧХ и ФЧХ.

$$K=1, T=1, T_1 = [0.001, 0.1, 5, 7, 10, 30, 100].$$

Коэффициенты гармонической линейаризации и графики АЧХ и ФЧХ с амплитудным подавлением показаны на рисунке 1.7, 1.8.

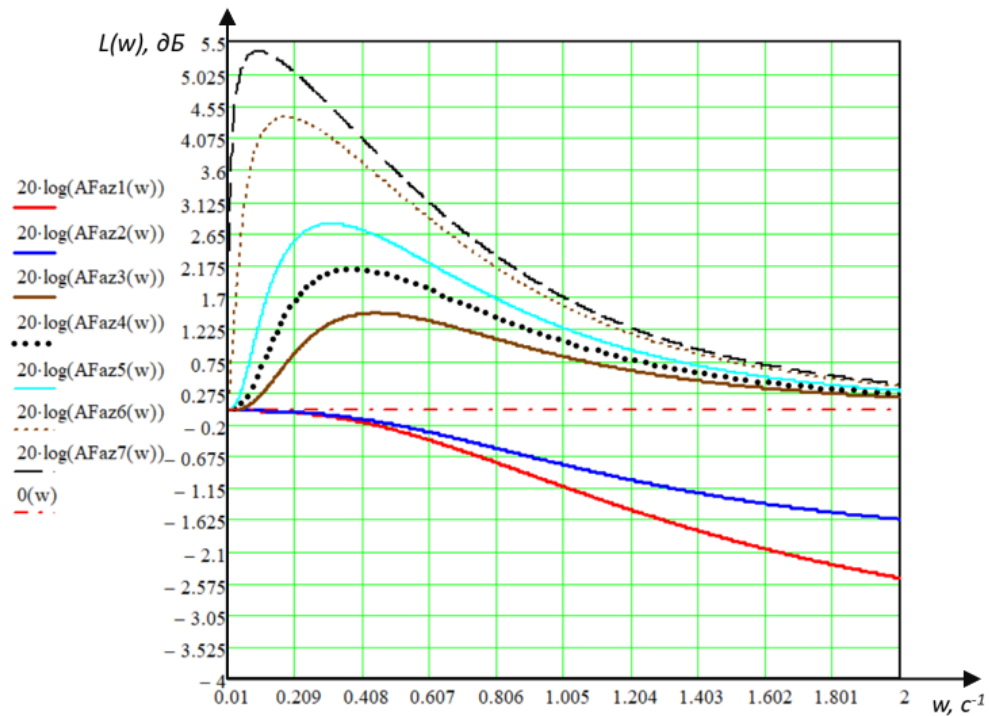


Рисунок 1.7 – ЛАЧХ КУ с фазовым опережением при разных значениях параметра T_1

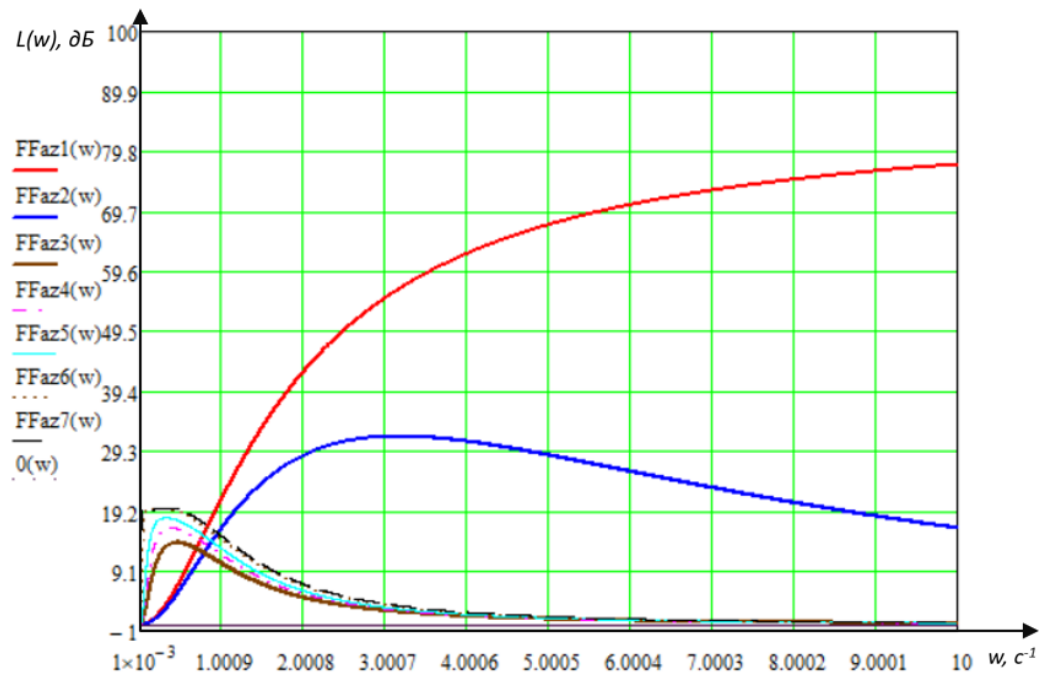


Рисунок 1.8 – ФЧХ КУ с фазовым опережением при разных значениях параметра T_1 .

$$K=1, T_1=1, T = [0.001, 0.1, 5, 7, 10, 30, 100].$$

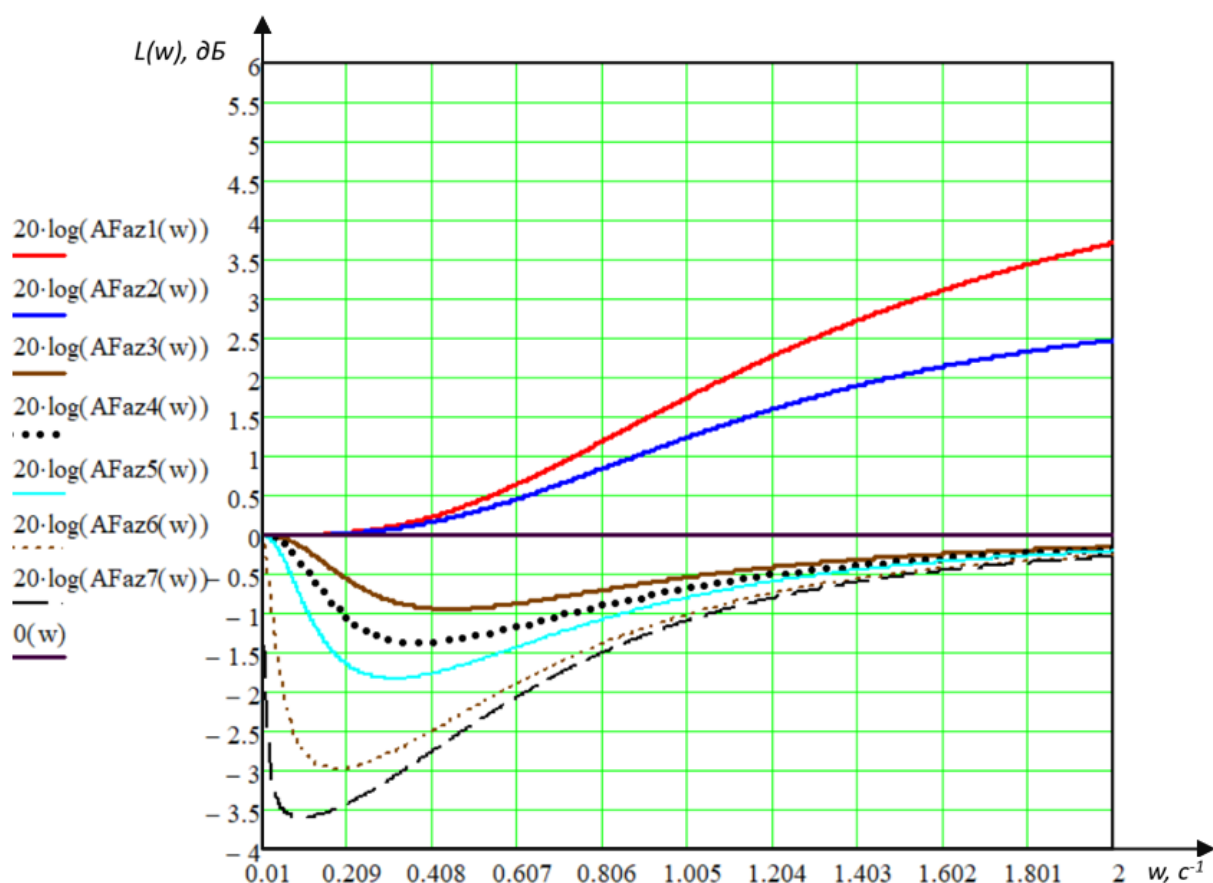


Рисунок 1.9 – ЛАЧХ КУ с фазовым опережением при разных значениях параметра T

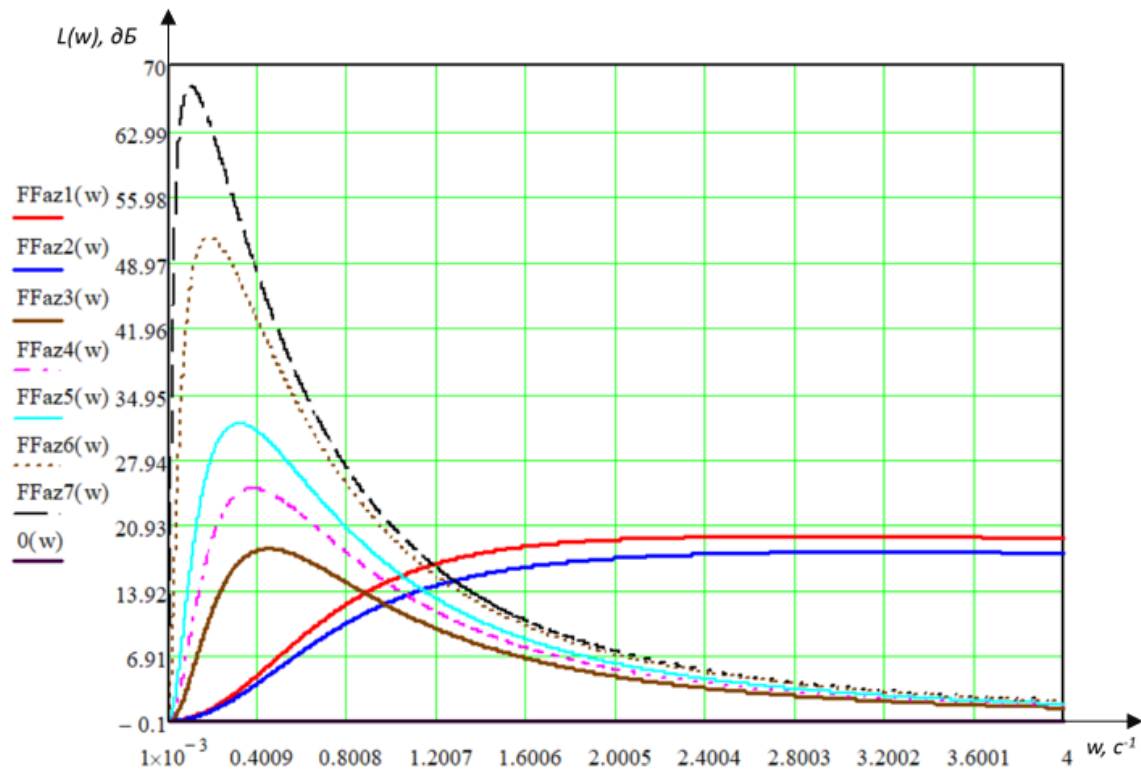


Рисунок 1.10 – ФЧХ КУ с фазовым опережением при разных значениях параметра T

$K=1, (T, T_1) = [(5, 0.5), (10, 1), (30, 3)]$.

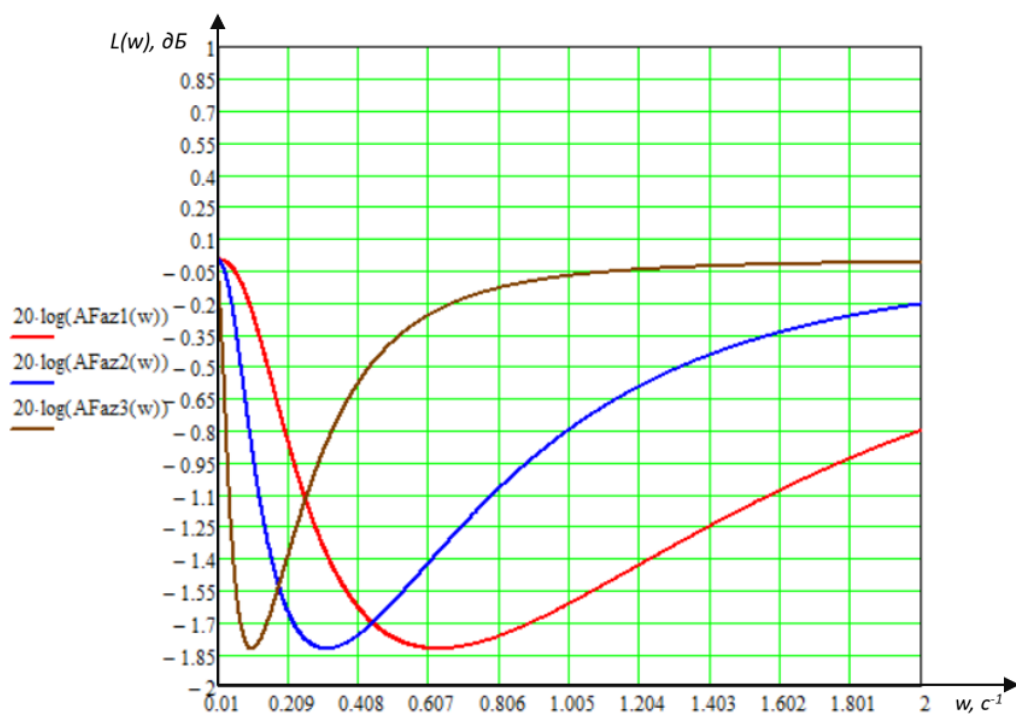


Рисунок 1.11 – ЛАЧХ КУ с фазовым опережением при разных значениях параметра T и T_1

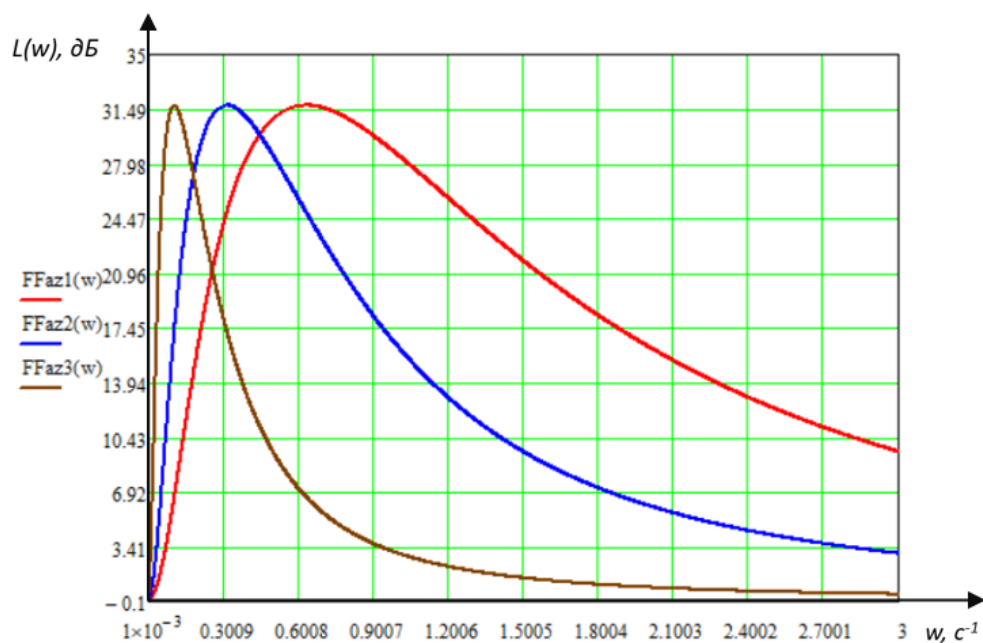


Рисунок 1.12 – ФЧХ КУ с фазовым опережением при разных значениях параметра T и T_1

Исследования показывают, что, когда значение параметра T больше, чем значение параметра T_1 , это может лучше улучшить качество системы автоматического управления. При $T_1/T=0,1$, чем больше T , тем меньше время требуется для подстройки, а фаза подстройки остается неизменной и составляет $31,5^\circ$.

2 Описание ПИД-регулятора

ПИД-регулирование является важным законом управления в классической теории управления, имеет долгую историю и до сих пор является одним из наиболее часто используемых методов управления в практическом управлении. Когда речь заходит об алгоритмах ПИД-регулирования, о них знает практически каждый в области автоматического управления. Хотя в мире управления существует множество алгоритмов, они в основном остаются на бумаге, с хорошей теорией и небольшим практическим применением, ПИД-алгоритмы и улучшенные ПИД-алгоритмы являются самыми простыми, эффективными и широко используемыми. По данным журнала за 90 лет, проведенного на 106 предприятиях опроса, на метод управления с использованием ПИД-закона управления приходится 84,5%.

2.1 Регулятор

Идеальный вариант ПИД-регулятора задается формулой

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (2.1)$$

где u - сигнал управления, а e – ошибка управления ($e = r - y$). Опорное значение r также называется уставкой. Таким образом, управляющий сигнал представляет собой сумму трех членов: пропорционального члена, который пропорционален ошибке, интегрального члена, который пропорционален интегралу ошибки, и производного члена, который пропорционален производной ошибки. Параметрами регулятора являются пропорциональный коэффициент усиления k_p , интегральный коэффициент усиления k_i и коэффициент усиления производной k_d . Контроллер также может быть параметризован как

$$u(t) = k_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right), \quad (2.2)$$

где T_i – интегральная постоянная времени, а T_d – производная постоянная времени. Пропорциональная часть действует на текущее значение ошибки, интеграл представляет собой среднее значение прошлых ошибок, а производная может быть интерпретирована как прогноз будущих ошибок на

основе линейной экстраполяции, как показано на рисунке 2.1. Обратите внимание, что управляющий сигнал формируется полностью из ошибки e , в нем отсутствует член обратной связи.



Рисунок 2.1 – ПИД-регулятор принимает меры по управлению на основе прошлого, настоящего и прогноза будущих ошибок управления.

2.2 Методы оценки качества регулирования в САР

Оценка качества системы – это, по сути, оценка соответствия системы предъявляемым к ней требованиям. Стабильность системы автоматического управления является необходимым, но не достаточным условием практической пригодности системы. Поэтому при изучении систем автоматического управления необходимо рассмотреть вопрос о показателях качества, необходимых для обеспечения переходных процессов: скорость, колебания, проскакивание, которые характеризуют точность и плавность процесса [3].

Для оценки качества регулирования я в основном использую следующие методы [3].

1. Прямые методы оценки качества.
2. Косвенные методы оценки качества:
 - интегральная оценка.

Прямые методы оценки качества

Показатели качества процесса регулирования, определяемые непосредственно по переходной характеристике $h(t)$, называются прямыми.

К прямым показателям качества относятся [4]:

- время переходного процесса $t_{\text{пн}}$;
- перерегулирование σ ;

- время достижения первого максимума t_M ;
- время нарастания переходного процесса t_H ;

Время переходного процесса $t_{\text{пп}}$ – это минимальное время, в течение которого управляемая переменная остается близкой к своему устойчивому значению для заданной точности. Это значение определяет время отклика [5].

Превышение σ – это максимальное отклонение от установившегося значения, выраженное в относительных единицах или в процентах.

$$\sigma = \frac{A_{\text{max}} - A_{\text{уст}}}{A_{\text{уст}}} * 100\% \quad (2.3)$$

Время нарастания переходного процесса t_H – это время от начала переходного процесса до момента первого пересечения графиком линии установившегося значения.

Интегральная оценка

Целью использования критериев интегрирования является возможность получения общей оценки скорости и отклонения управляемой переменной от установившегося значения [5].

Квадратичная интегральная оценка:

$$J_2 = \int_0^{\infty} e(t)^2 dt \quad (2.4)$$

Чем меньше значение J_2 , тем быстрее происходит затухание переходного процесса и тем меньше отклонение. Однако квадратичная оценка также не всегда успешна, поскольку сильно осциллирующий процесс с большим проскакиванием может быть лучше, чем монотонный процесс при такой оценке массы, когда переходный спад очень медленный [6].

Этот метод оценки качества управления системой автоматического управления в основном используется в данной работе. Для этого необходимо было предварительно собрать необходимые данные. Поэтому сначала я записал значение квадратичной ошибки интегрирования в классическом ПИД-регуляторе при изменении параметра T от 1 до 20. Затем я изменил соответствующий параметр T_1 , и записал значение параметра T_1 , что позволило бы улучшить качество регулирования.

3 Описание S-функции в Simulink

S-функции (системные функции) обеспечивают мощный механизм для расширения возможностей среды Simulink. s-функции – это описания модулей Simulink на компьютерном языке, написанные на MATLAB, C, C++ или Fortran. s-функции – это динамически связанные подпрограммы, которые автоматически загружаются и выполняются средой выполнения MATLAB. s-функции используют специальный вызов синтаксис, называемый S-function API, который позволяет взаимодействовать с движком Simulink [7].

S-функции имеют общую форму и могут работать с непрерывными, дискретными и гибридными системами. Следуя набору простых правил, вы можете реализовать алгоритм в S-функции и использовать блок S-функции для добавления его в модель Simulink.

Математические блоки Simulink

Блок Simulink состоит из набора входов, набора состояний, набора параметров и набора выходов, где выходы являются функцией времени моделирования, входов, параметров и состояний [7].

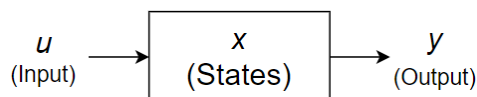


Рисунок 3.1 – Математические блоки Simulink

Следующие уравнения выражают математические отношения между входами, выходами, параметрами, состояниями и временем моделирования.

$$y = f_o(t, x, u) \quad (Outputs) \quad (3.1)$$

$$dx = f_d(t, x, u) \quad (Derivatives) \quad (3.2)$$

$$x_{d_{k+1}} = f_u(t, x_c, x_{d_k}, u) \quad (Update) \quad (3.3)$$

где $x = [x_c; x_d]$.

Этапы моделирования

Выполнение модели Simulink делится на два этапа. Первый этап — инициализация. Механизм Simulink оценивает параметры блока, определяет порядок выполнения блока и выделяет память. Второй этап — цикл моделирования. Каждый проход цикла называется шагом моделирования. На

каждом шаге симуляции механизм выполняет каждый слепок модели в порядке, указанном во время инициализации. Затем весь цикл моделирования продолжается до завершения моделирования [7].

SFUNTMPL Общий шаблон S-функции MATLAB

С помощью S-функций MATLAB вы можете определить собственные обыкновенные дифференциальные уравнения (ODE), уравнения дискретных систем и/или практически любой тип алгоритма для использования в блок-схеме Simulink.

Общая форма синтаксиса S-функции MATLAB такова:

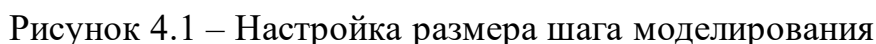
$[SYS, X0, STR, TS, SIMSTATECOMPLIANCE] = SFUNC(T, X, U, FLAG, P1, ..., Pn)$

То, что возвращает SFUNC в данный момент времени T, зависит от значения FLAG (Таблица 3.1), текущего вектора состояния X и текущего вектора входа U.

Таблица 3.1 – Описание ФЛАГ

ФЛАГ	РЕЗУЛЬТАТ	ОПИСАНИЕ
0	[SIZES, X0, STR, TS]	Инициализация, возвращает размеры системы в SYS, начальное состояние в X0, строки упорядочивания состояний в STR, и время выборки в TS.
1	DX	Возврат непрерывных производных состояния в SYS.
2	DS	Обновлять дискретные состояния $SYS = X(n+1)$
3	Y	Возврат выходов в SYS.
4	TNEXT	Возврат следующего удара времени для переменного шага времени выборки в SYS.
9	[]	Завершение, выполните любую очистку $SYS = []$.

Для того, чтобы последующие данные не изменились из-за разных размеров шага моделирования, что приведет к ошибкам в разработанной программе. Я установил размер шага моделирования, пусть у него всегда будет фиксированный размер шага моделирования 0,01, как показано на рисунке 4.1.



26

Модель подсистемы управления PID, представлена на рисунке 4.3.

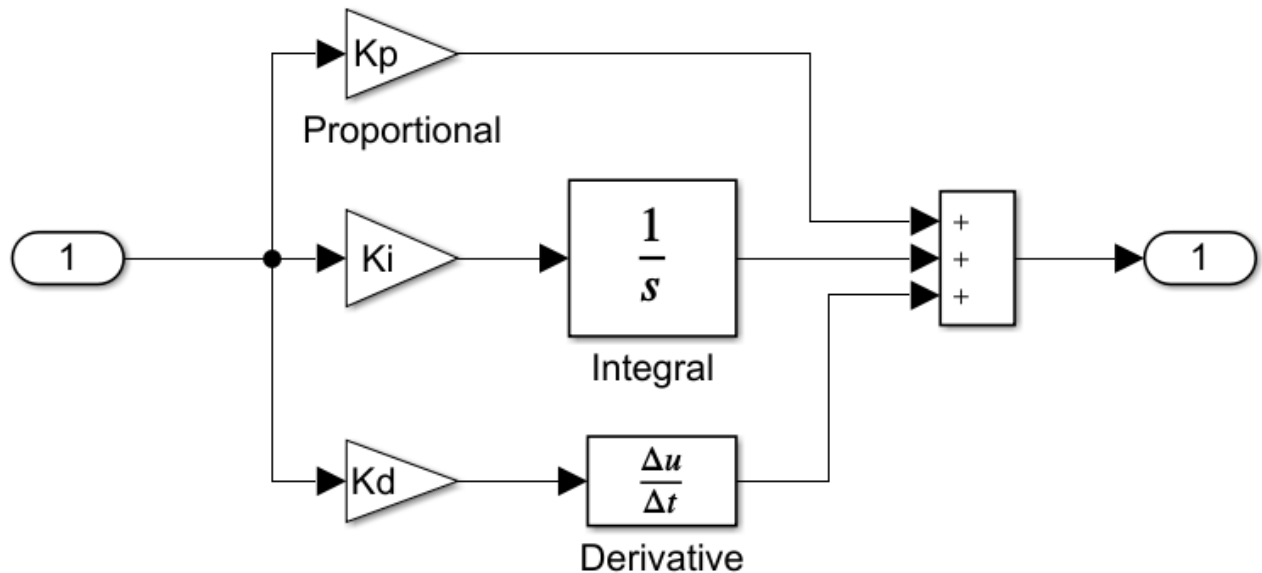


Рисунок 4.3 – Модель подсистемы управления (PID)

Объект управления в системах с классическим ПИД-регулятором и адаптивным нечетким ПИД-регулятором является одинаковым и задается передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{1}{Ts^2 + s + 1} \quad (5)$$

При первоначальном включении системы в работу параметр T объекта управления в обеих системах равен 1. Параметры классического ПИД-регулятора имеют следующие значения: $K_p=3$, $K_i=0.7$, $K_d=5$ и остаются неизменными.

Блок *step1212* является блоком S-функции m-файла. Его функция заключается в управлении тестовым сигналом и инициализации параметров T объекта управления и T_1 ПКУ с амплитудным подавлением. Листинг m-файла «*step1212*» блока S-Function приведен в приложении А.

В центре чертежа модели находится корректирующее устройство с подавлением амплитуды, которое подключено к структуре системы управления через многопортовый коммутатор (Multiport Switch). Значение переключателя определяется значением константы от 1 до 2 в зависимости от значения квадратичной интегральной ошибки, которая вычисляется в m-файле блока S-функции (err22) и блока интегратора.

Блок *err22* является блоком S-функции m-файла. Его функция обеспечивает значение квадратичной ошибки. Значение вторичной ошибки суммируется интегратором для получения значения вторичной ошибки интегрирования, которое затем передается в блок *errT1*. Листинг m-файла «err22» блока S-Function приведен в приложении Б.

блок *errT1* является блоком S-функции m-файла. Его функция заключается в изменении соответствующего параметра T_1 ПКУ с амплитудным подавлением путем определения, в каком интервале находится значение квадратичной ошибки интегрирования. Для этого необходимо было предварительно собрать необходимые данные. Поэтому сначала я записал значение квадратичной ошибки интегрирования в классическом ПИД-регуляторе при изменении параметра T от 1 до 20 (Таблица 4.1). Затем я изменил соответствующий параметр T_1 , и записал значение параметра T_1 (Таблица 4.2), что позволило бы улучшить качество регулирования. Листинг m-файла «errT1» блока S-Function приведен в приложении В.

Таблица 4.1 – значение квадратичной ошибки интегрирования в классическом ПИД-регуляторе при изменении параметра T от 1 до 20

$\int_{200}^{400} \varepsilon^2$	0,007455	0,008094	0,008797	0,009553	0,01036	0,01123	0,01216
T	1	2	3	4	5	6	7
$\int_{200}^{400} \varepsilon^2$	0,01317	0,01425	0,01542	0,0167	0,01809	0,0196	0,02127
T	8	9	10	11	12	13	14
$\int_{200}^{400} \varepsilon^2$	0,02311	0,02516	0,02743	0,02997	0,03287	0,03645	
T	15	16	17	18	19	20	

Таблица 4.2 – Значение соответствующего параметра T_1

$\int_{200}^{400} \varepsilon^2$	0,007455	0,008094	0,008797	0,009553	0,01036	0,01123	0,01216
T_1	—	—	—	100	110	120	130
$\int_{200}^{400} \varepsilon^2$	0,01317	0,01425	0,01542	0,0167	0,01809	0,0196	0,02127
T_1	140	150	160	170	180	200	230

Продолжение таблицы 4.2 – Значение соответствующего параметра T_1

$\int_{200}^{400} \varepsilon^2$	0,02311	0,02516	0,02743	0,02997	0,03287	0,03645
T_1	260	300	340	380	500	550

Чтобы сохранить качество контроля, не делая процедуру слишком многословной, я разделил данные в таблице 4.1 на 6 частей. На рисунках 4.4, 4.5 показана квадратичная интегральная ошибка при выходе параметра T объекта управления на верхнюю границу диапазона значений в каждой части.

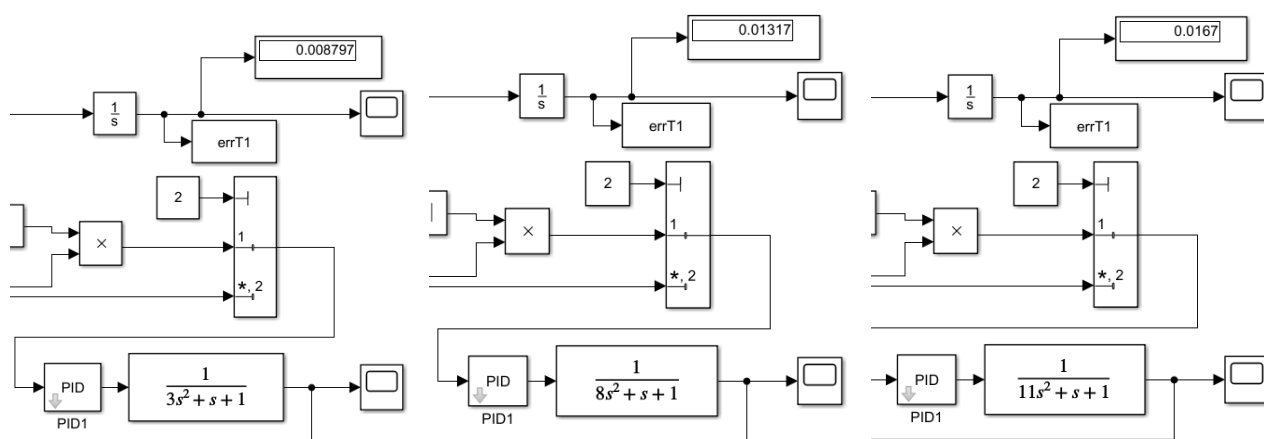


Рисунок 4.4 – Схема моделирования САР (при $T = [3, 8, 11]$)

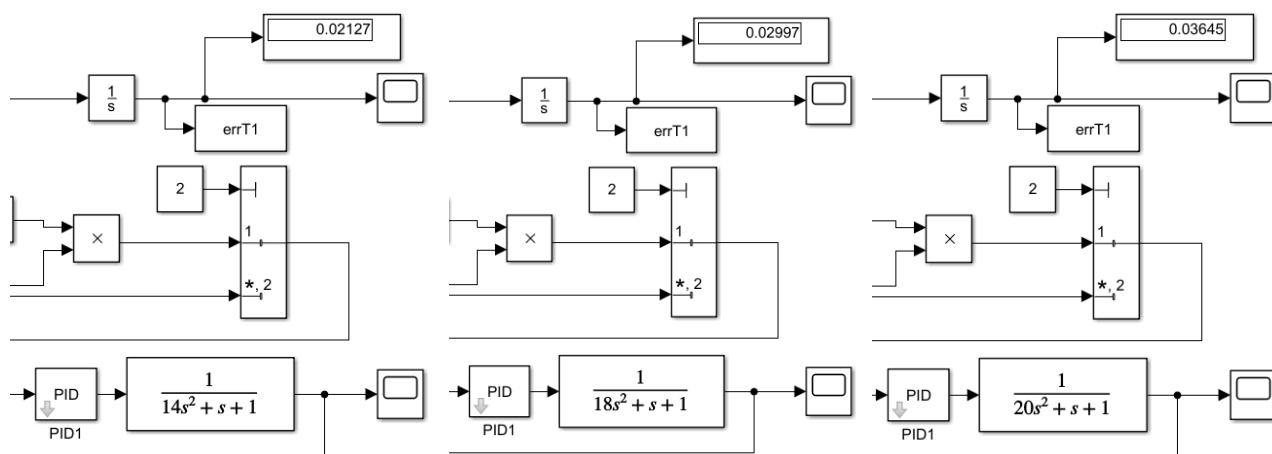


Рисунок 4.5 – Схема моделирования САР (при $T = [14, 18, 20]$)

Результаты, показанные на рисунках 4.4 и 4.5, также подтверждают правильность данных в таблице 2, что также позволяет избежать непредсказуемых ошибок в последующих разработанных программах.

Классический ПИД-регулятор уже обеспечивает хорошее управление, когда параметр T объекта управления изменяется от 0,01 до 3. Таким образом, многопортовый коммутатор всегда связан с каналом 2 вместо того, чтобы

добавлять ПКУ с амплитудным подавлением. График переходного процесса приведён на рисунке 4.6.

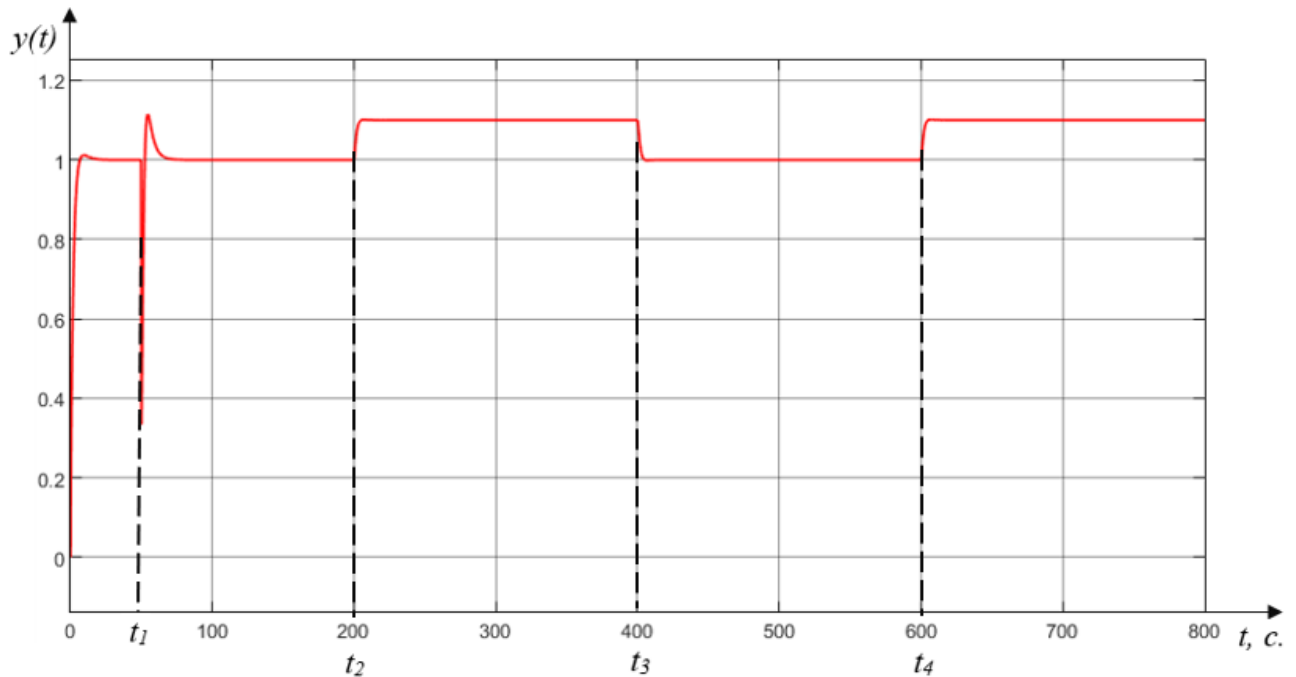


Рисунок 4.6 – Переходные процессы в САР (при $T = 3$)

Переходные процессы в САР показаны на рисунке 4.7. В момент времени t_1 постоянная времени управления T изменяется от 1 до 2,8, что вызывает колебания. В момент времени t_2 подается тестовый сигнал. В моменты времени $(t_2 \dots t_3)$, рассчитывается квадратичная ошибка интегрирования тока и перерегулирование. В момент времени t_3 тестовый сигнал снимается, а в момент времени t_4 включается соответствующая плата управления. Для наглядности результатов вводится этап тестирования. На диаграмме (Рисунок 4.8) также видно, что в момент времени t_4 многопортовый коммутатор всегда связан с каналом 2 вместо того, чтобы добавлять ПКУ с амплитудным подавлением.

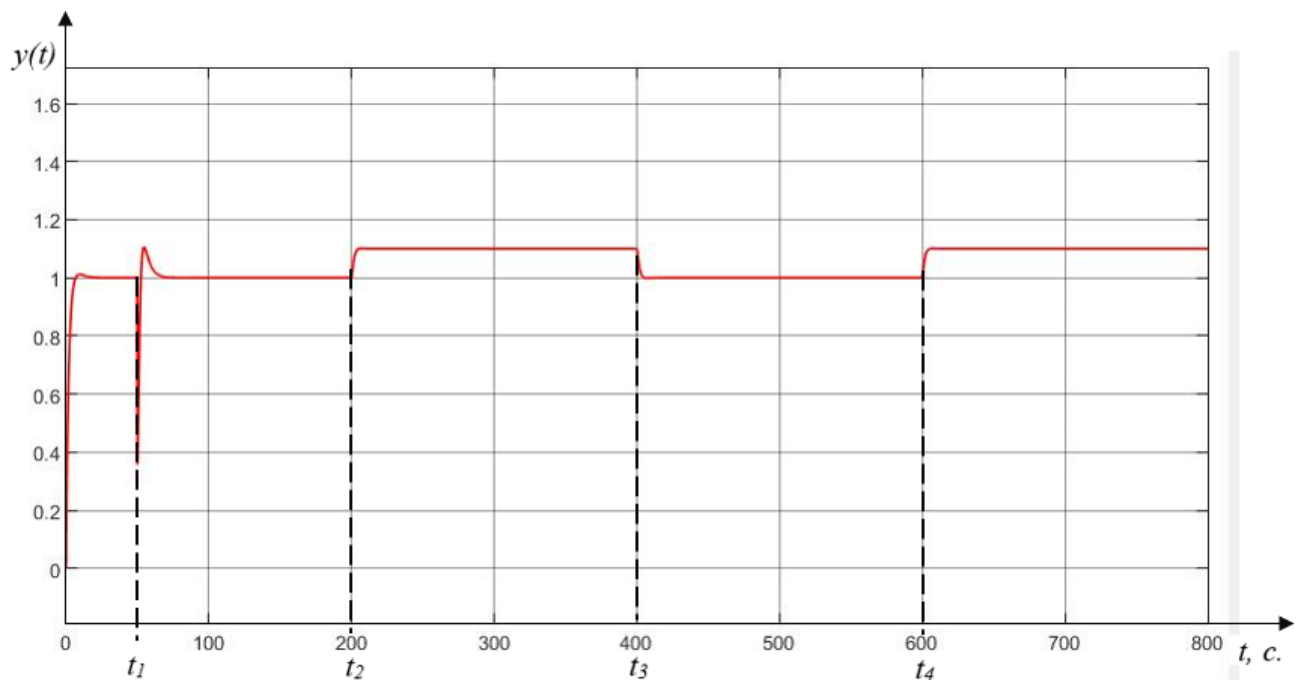


Рисунок 4.7 – Переходные процессы в САР (при $T = 2,8$)

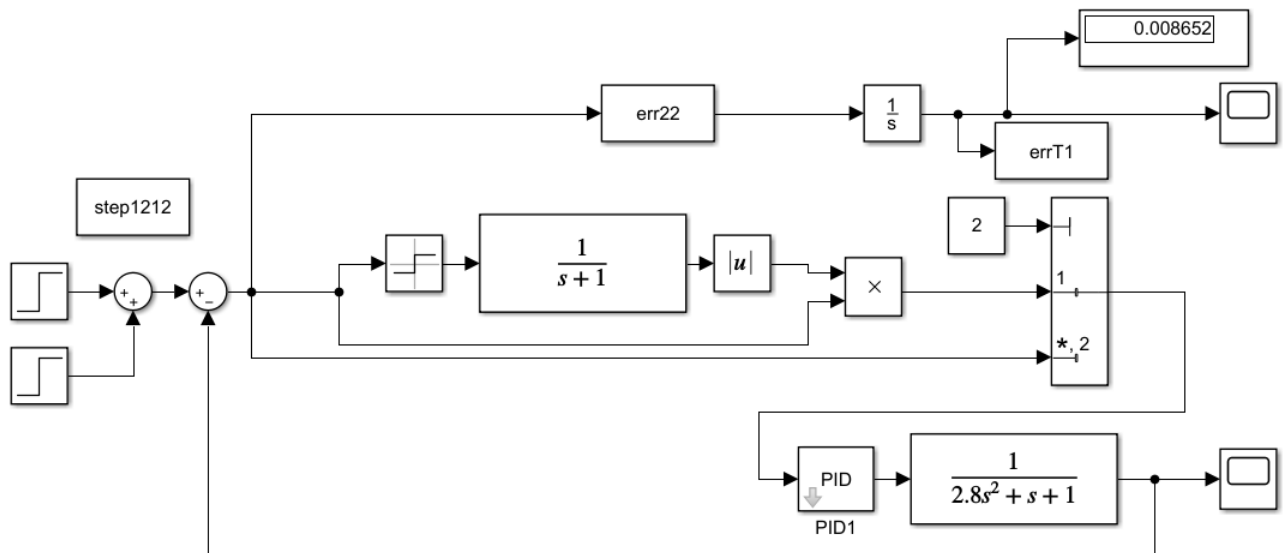


Рисунок 4.8 – Схема моделирования САР (при $T = 2,8$)

Переходные процессы в САР показаны на рисунке 4.9. В момент времени t_1 постоянная времени управления T изменяется от 1 до 7,8, что вызывает колебания. В момент времени t_2 подается тестовый сигнал. В моменты времени ($t_2 \dots t_3$), рассчитывается квадратичная ошибка интегрирования тока и перерегулирование. В момент времени t_3 тестовый сигнал снимается, а в момент времени t_4 включается соответствующая плата управления. Для наглядности результатов вводится этап тестирования. На диаграмме (Рисунок 4.10) также видно, что в момент времени t_4 к каналу 1 подключен

многопортовый коммутатор для добавления ПКУ с амплитудным подавлением.

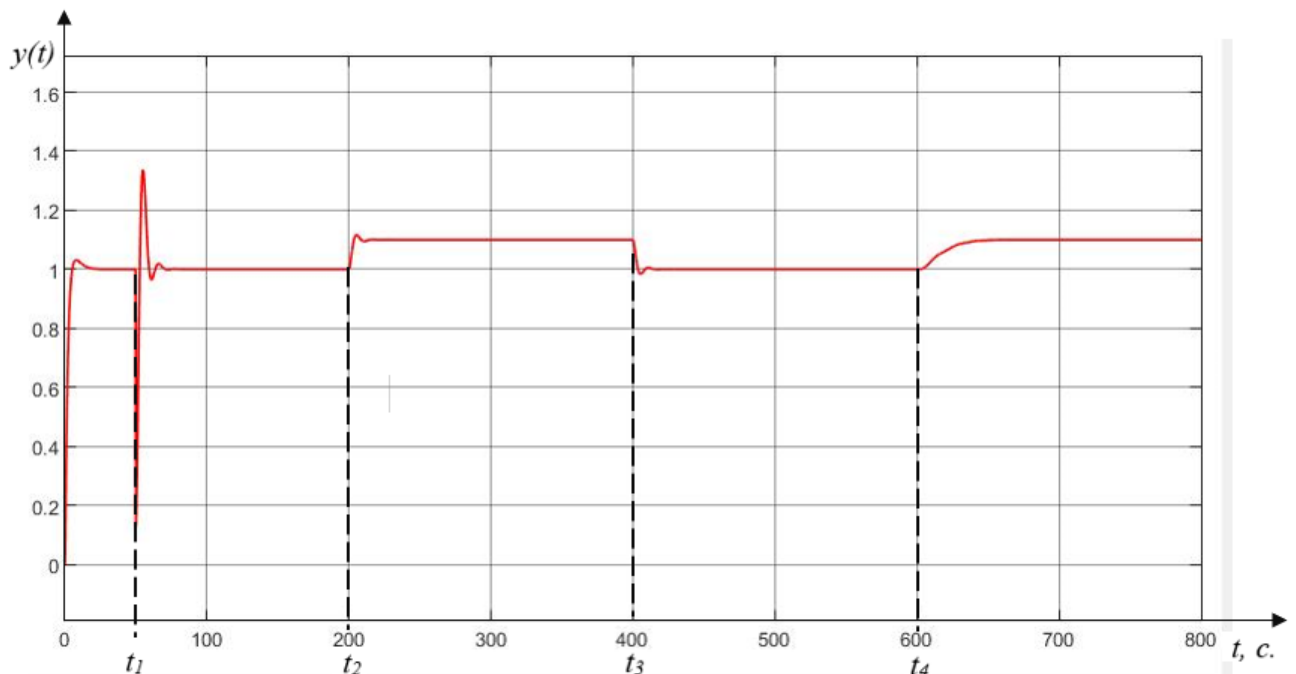


Рисунок 4.9 – Переходные процессы в САР (при $T = 7,8$)

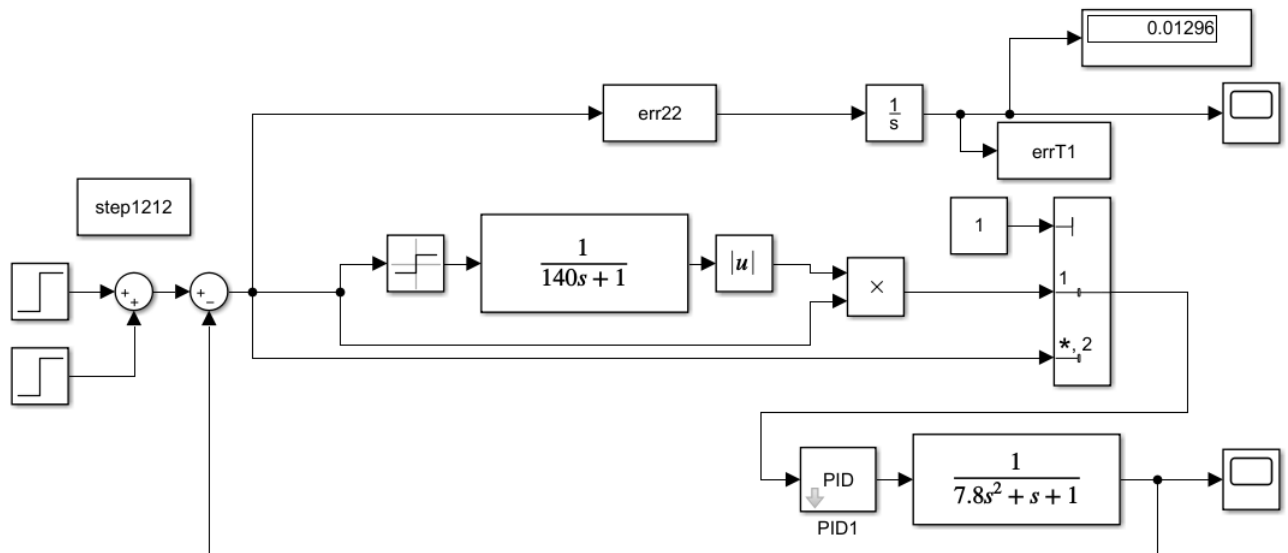


Рисунок 4.10 – Схема моделирования САР (при $T = 7,8$)

Исследования показали, что в системе возникают колебания из-за изменения параметров объекта управления, т.е. первая постоянная времени T увеличилась с 1 до 7,8. Изменение интегральной квадратичной ошибки потребовало изменения структуры САР, т.е. включения ПКУ с амплитудным отклонением. анализ показал, что эти действия увеличили время реакции системы и уменьшили перерегулирование до нуля.

Переходные процессы в САР показаны на рисунке 4.11. В момент

времени t_1 постоянная времени управления T изменяется от 1 до 10,8, что вызывает колебания. В момент времени t_2 подается тестовый сигнал. В моменты времени $(t_2 \dots t_3)$, рассчитывается квадратичная ошибка интегрирования тока и перерегулирование. В момент времени t_3 тестовый сигнал снимается, а в момент времени t_4 включается соответствующая плата управления. На диаграмме (Рисунок 4.12) также видно, что в момент времени t_4 к каналу 1 подключен многопортовый коммутатор для добавления ПКУ с амплитудным подавлением.

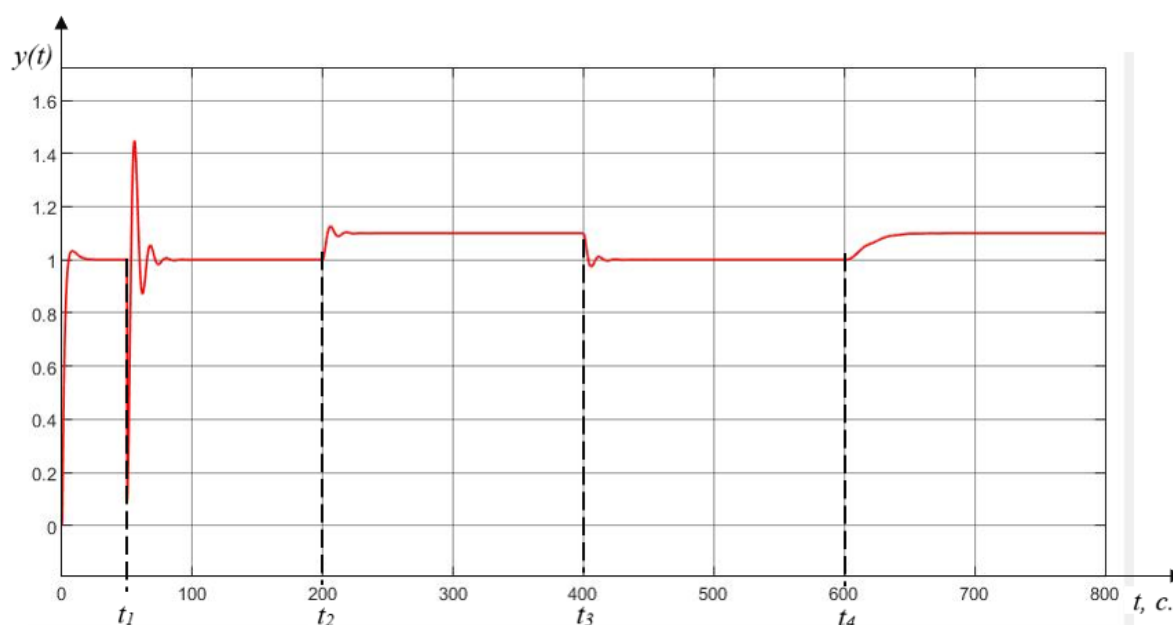


Рисунок 4.11 – Переходные процессы в САР (при $T = 10,8$)

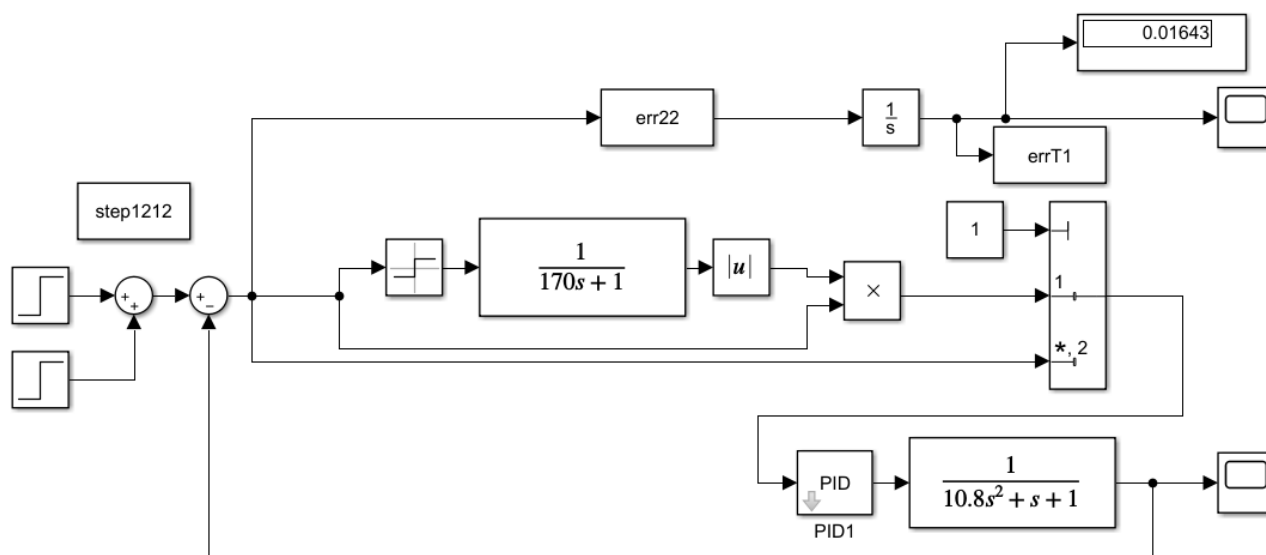


Рисунок 4.12 – Схема моделирования САР (при $T = 10,8$)

Исследования показали, что в системе возникают колебания из-за изменения параметров объекта управления, т.е. первая постоянная времени T увеличилась с 1 до 10,8. Изменение интегральной квадратичной ошибки потребовало изменения структуры САР, т.е. включения ПКУ с амплитудным отклонением. анализ показал, что эти действия увеличили время реакции системы и уменьшили перерегулирование до нуля.

Переходные процессы в САР показаны на рисунке 4.13. В момент времени t_1 постоянная времени управления T изменяется от 1 до 13,5, что вызывает колебания. В момент времени t_2 подается тестовый сигнал. В моменты времени $(t_2 \dots t_3)$, рассчитывается квадратичная ошибка интегрирования тока и перерегулирование. В момент времени t_3 тестовый сигнал снимается, а в момент времени t_4 включается соответствующая плата управления. Для наглядности результатов вводится этап тестирования. На диаграмме (Рисунок 4.14) также видно, что в момент времени t_4 к каналу 1 подключен многопортовый коммутатор для добавления ПКУ с амплитудным подавлением.

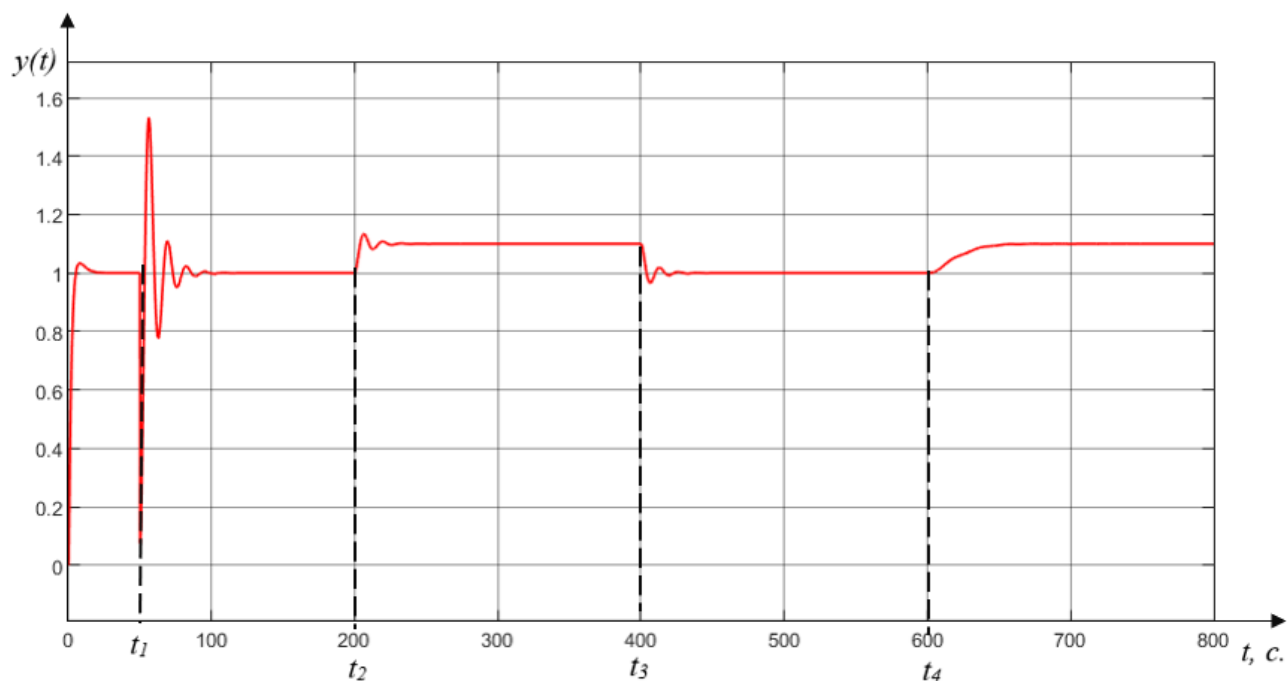


Рисунок 4.13 – Переходные процессы в САР (при $T = 13,5$)

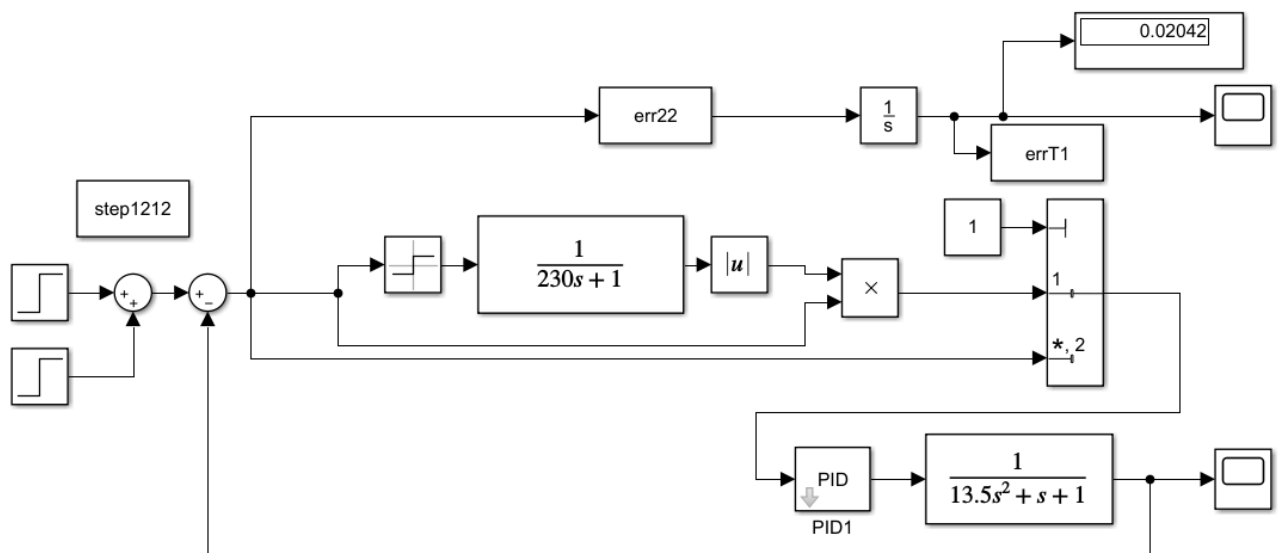


Рисунок 4.14 – Схема моделирования САР (при $T = 13,5$)

Исследования показали, что в системе возникают колебания из-за изменения параметров объекта управления, т.е. первая постоянная времени T увеличилась с 1 до 13,5. Изменение интегральной квадратичной ошибки потребовало изменения структуры САР, т.е. включения ПКУ с амплитудным отклонением. анализ показал, что эти действия увеличили время реакции системы и уменьшили перерегулирование до нуля.

Переходные процессы в САР показаны на рисунке 4.15. В момент времени t_1 постоянная времени управления T изменяется от 1 до 17,65, что вызывает колебания. В момент времени t_2 подается тестовый сигнал. В моменты времени $(t_2...t_3)$, рассчитывается квадратичная ошибка интегрирования тока и перерегулирование. В момент времени t_3 тестовый сигнал снимается, а в момент времени t_4 включается соответствующая плата управления. Для наглядности результатов вводится этап тестирования. На диаграмме (Рисунок 4.16) также видно, что в момент времени t_4 к каналу 1 подключен многопортовый коммутатор для добавления ПКУ с амплитудным подавлением.

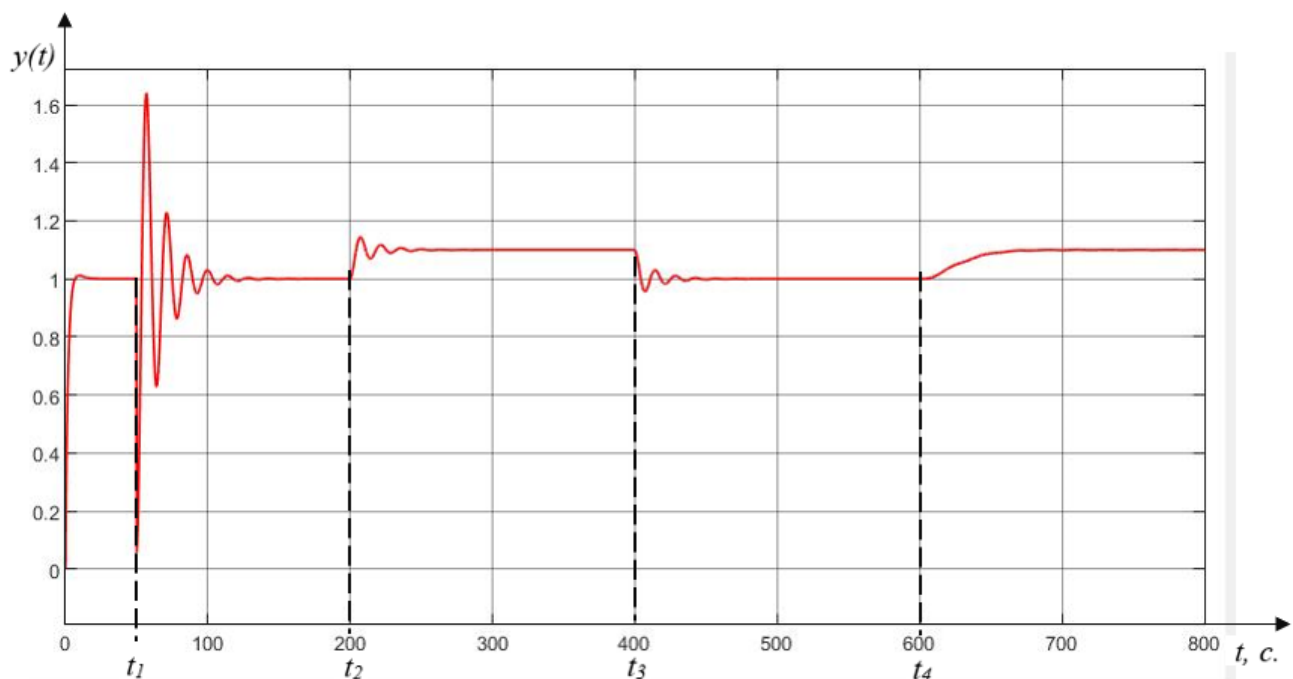


Рисунок 4.15 – Переходные процессы в САР (при $T = 17,65$)

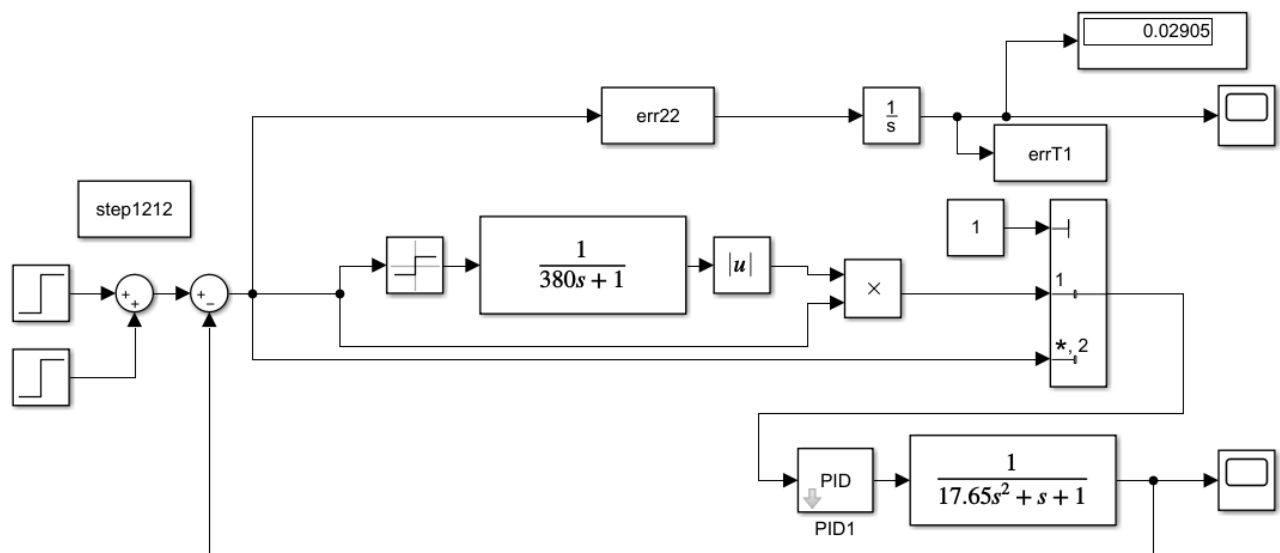


Рисунок 4.16 – Схема моделирования САР (при $T = 17,65$)

Исследования показали, что в системе возникают колебания из-за изменения параметров объекта управления, т.е. первая постоянная времени T увеличилась с 1 до 17,65. Изменение интегральной квадратичной ошибки потребовало изменения структуры САР, т.е. включения ПКУ с амплитудным отклонением. анализ показал, что эти действия увеличили время реакции системы и уменьшили перерегулирование до нуля.

Переходные процессы в САР показаны на рисунке 4.17. В момент времени t_1 постоянная времени управления T изменяется от 1 до 18,33, что

вызывает колебания. В момент времени t_2 подается тестовый сигнал. В моменты времени ($t_2...t_3$), рассчитывается квадратичная ошибка интегрирования тока и перерегулирование. В момент времени t_3 тестовый сигнал снимается, а в момент времени t_4 включается соответствующая плата управления. Для наглядности результатов вводится этап тестирования. На диаграмме (Рисунок 4.18) также видно, что в момент времени t_4 к каналу 1 подключен многопортовый коммутатор для добавления ПКУ с амплитудным подавлением.

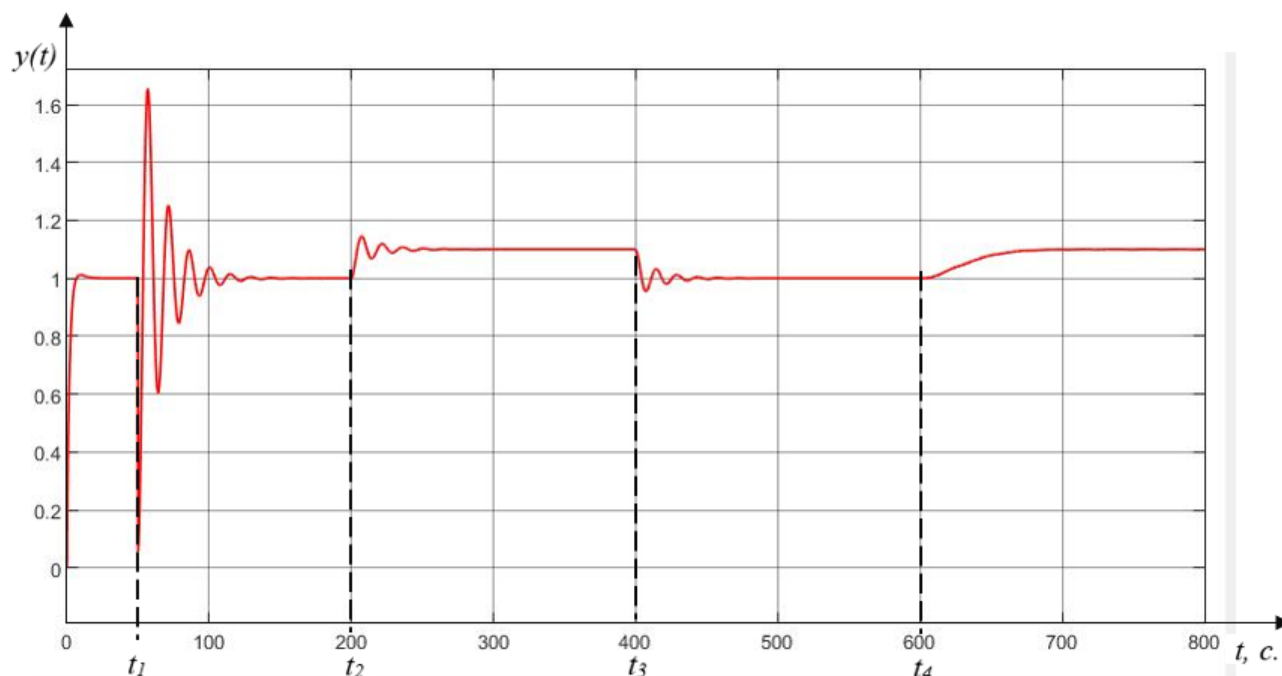


Рисунок 4.17 – Переходные процессы в САР (при $T = 18,33$)

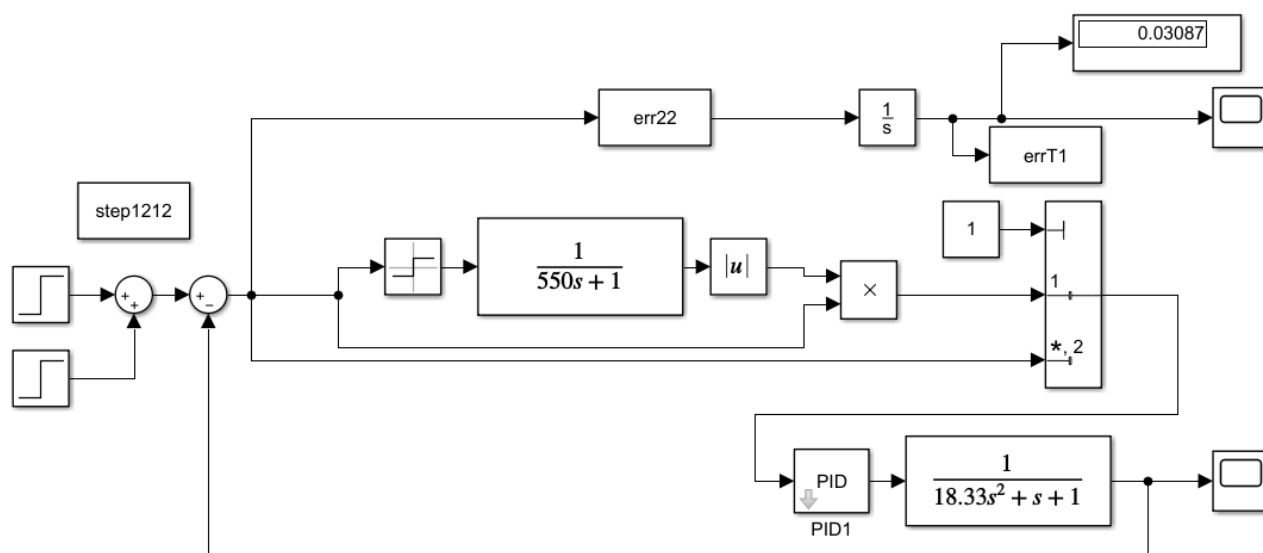


Рисунок 4.18 – Схема моделирования САР (при $T = 18,33$)

Исследования показали, что в системе возникают колебания из-за

изменения параметров объекта управления, т.е. первая постоянная времени T увеличилась с 1 до 18,33. Изменение интегральной квадратичной ошибки потребовало изменения структуры САР, т.е. включения ПКУ с амплитудным отклонением. анализ показал, что эти действия увеличили время реакции системы и уменьшили перерегулирование до нуля.

Переходные процессы в САР показаны на рисунке 4.19. В момент времени t_1 постоянная времени управления T изменяется от 1 до 20, что вызывает колебания. В момент времени t_2 подается тестовый сигнал. В моменты времени ($t_2...t_3$), рассчитывается квадратичная ошибка интегрирования тока и перерегулирование. В момент времени t_3 тестовый сигнал снимается, а в момент времени t_4 включается соответствующая плата управления. Для наглядности результатов вводится этап тестирования. На диаграмме (Рисунок 4.20) также видно, что в момент времени t_4 к каналу 1 подключен многопортовый коммутатор для добавления ПКУ с амплитудным подавлением.

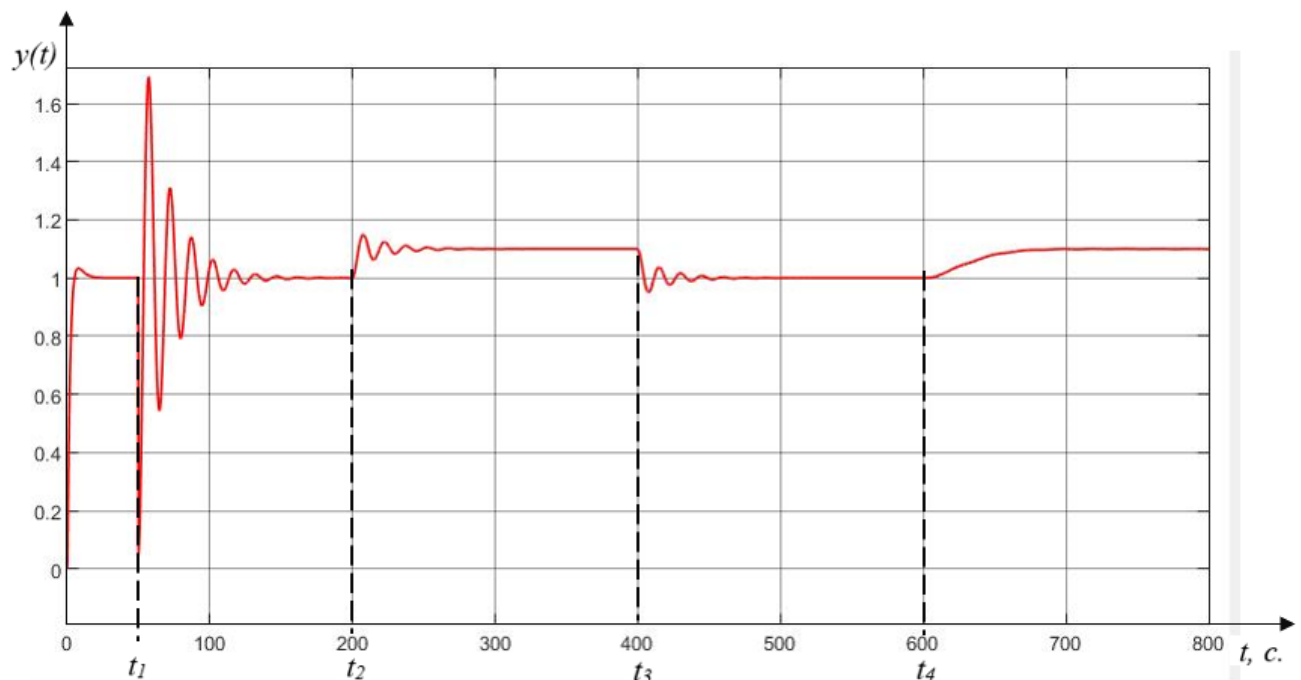


Рисунок 4.19 – Переходные процессы в САР (при $T = 20$)

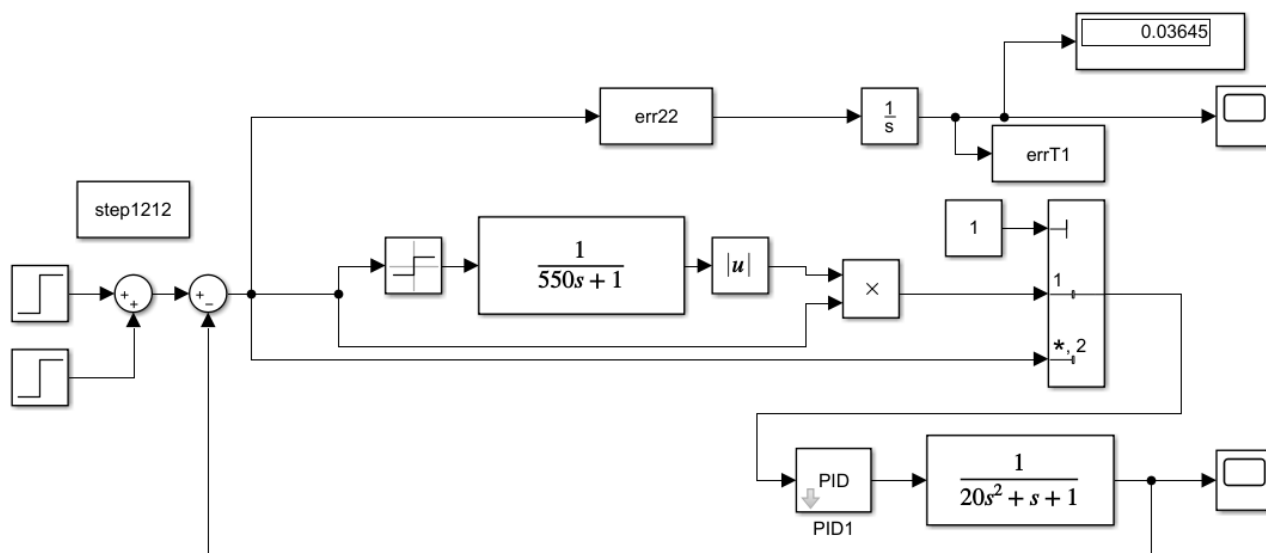


Рисунок 4.20 – Схема моделирования CAP (при $T = 20$)

Исследования показали, что в системе возникают колебания из-за изменения параметров объекта управления, т.е. первая постоянная времени T увеличилась с 1 до 20. Изменение интегральной квадратичной ошибки потребовало изменения структуры CAP, т.е. включения ПКУ с амплитудным отклонением. анализ показал, что эти действия увеличили время реакции системы и уменьшили перерегулирование до нуля.

Результаты, представленные на рисунках 4.6, 4.7, 4.9, 4.11, 4.13, 4.15, 4.17, 4.19, также подтверждают, что разработанная программа достигает желаемой функциональности и работает правильно. Исследование адаптивных систем управления с объектами управления второго порядка показывает, что использование таких корректирующих устройств улучшает качество работы системы управления при изменении параметров объектов управления.

Переходные процессы в CAP показаны на рисунке 4.21. В момент времени t_1 постоянная времени управления T изменяется от 1 до 10,8 и T_2 изменяется от 1 до 10, что вызывает колебания. В момент времени t_2 подается тестовый сигнал. В моменты времени $(t_2...t_3)$, рассчитывается квадратичная ошибка интегрирования тока и перерегулирование. В момент времени t_3 тестовый сигнал снимается, а в момент времени t_4 включается соответствующая плата управления. Для наглядности результатов вводится этап тестирования. На диаграмме (Рисунок 4.22) также видно, что в момент времени t_4 к каналу 1

подключен многопортовый коммутатор для добавления ПКУ с амплитудным подавлением.

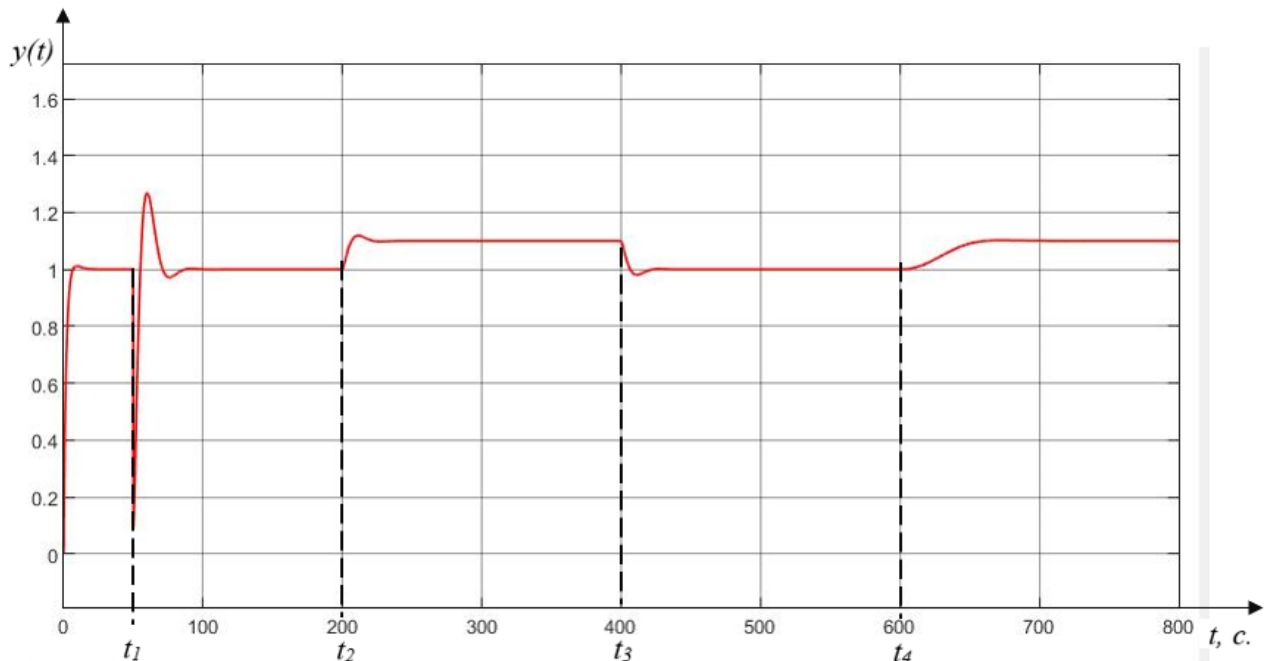


Рисунок 4.21 – Переходные процессы в САР (при $T = 10,8$, $T_2=10$)

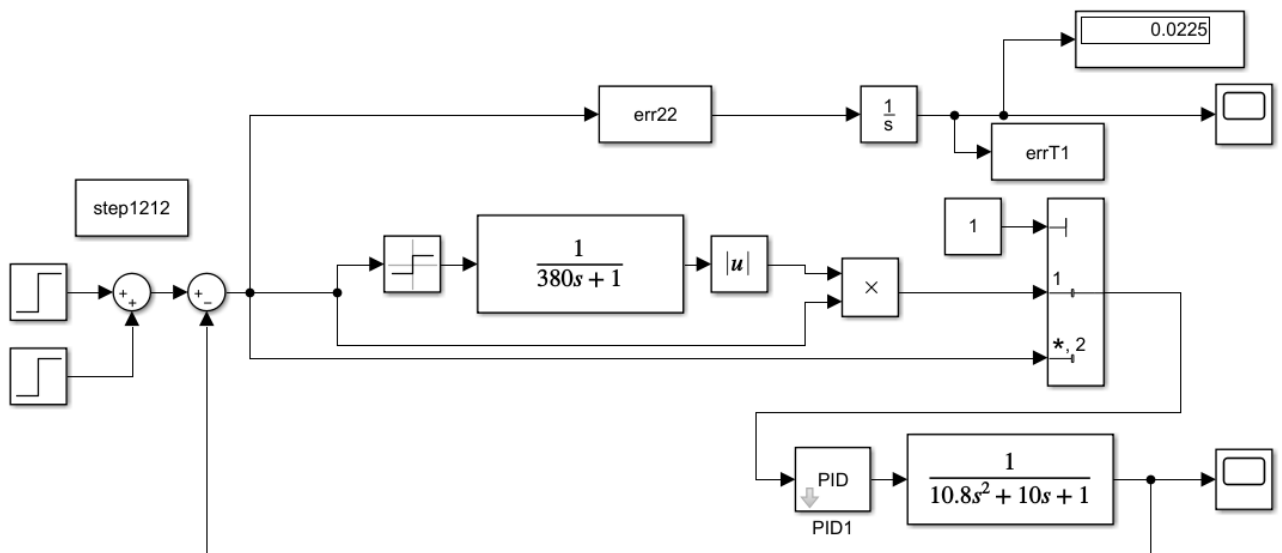


Рисунок 4.22 – Схема моделирования САР (при $T = 10,8$, $T_2=10$)

Исследования показали, что в системе возникают колебания из-за изменения параметров объекта управления, т.е. первая постоянная времени T изменяется от 1 до 10,8 и T_2 изменяется от 1 до 10. Изменение интегральной квадратичной ошибки потребовало изменения структуры САР, т.е. включения ПКУ с амплитудным отклонением. анализ показал, что эти действия увеличили время реакции системы и уменьшили перерегулирование до нуля.

Переходные процессы в САР показаны на рисунке 4.23. В момент времени t_1 постоянная времени управления T изменяется от 1 до 17,5 и T_2 изменяется от 1 до 20, что вызывает колебания. В момент времени t_2 подается тестовый сигнал. В моменты времени $(t_2...t_3)$, рассчитывается квадратичная ошибка интегрирования тока и перерегулирование. В момент времени t_3 тестовый сигнал снимается, а в момент времени t_4 включается соответствующая плата управления. Для наглядности результатов вводится этап тестирования. На диаграмме (Рисунок 4.24) также видно, что в момент времени t_4 к каналу 1 подключен многопортовый коммутатор для добавления ПКУ с амплитудным подавлением.

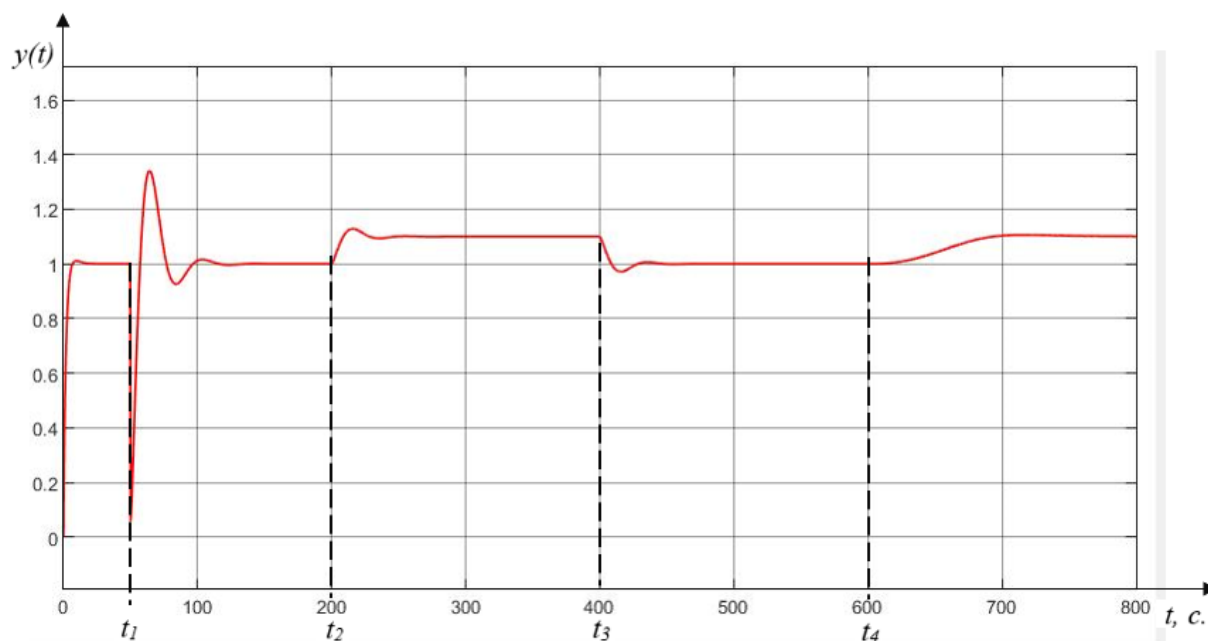


Рисунок 4.23 – Переходные процессы в САР (при $T = 17,5$, $T_2=20$)

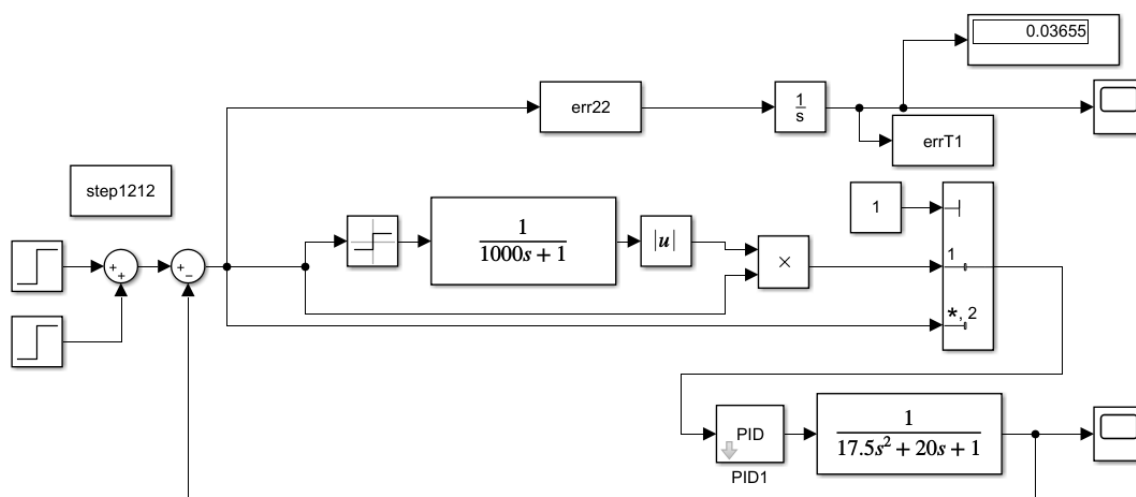


Рисунок 4.24 – Схема моделирования САР (при $T = 17,5$, $T_2=20$)

Исследования показали, что в системе возникают колебания из-за изменения параметров объекта управления, т.е. первая постоянная времени T изменяется от 1 до 17,5 и T_2 изменяется от 1 до 20. Изменение интегральной квадратичной ошибки потребовало изменения структуры САУ, т.е. включения ПКУ с амплитудным отклонением. анализ показал, что эти действия увеличили время реакции системы и уменьшили перерегулирование до нуля.

Из рисунков 4.21 и 4.23 видно, что при изменении параметра T_2 объекта управления качество управления также может быть улучшено по этой модели. В то же время установлено, что увеличение параметра T_2 объекта управления снижает колебательность переходного процесса.

5 Программная реализация адаптивного корректирующего устройства на контроллере Simatic S7-400

Контроллер Simatic S7-400 – это мощный программируемый контроллер, предназначенный для систем автоматизации зданий среднего и высокого уровня.

STEP 7 – это базовый пакет программного обеспечения, содержащий все инструменты, необходимые для программирования и эксплуатации систем автоматизации на базе программируемых логических контроллеров SIMATIC.

5.1 Программ САР с КУ на языке FBD

Передаточные функции амплитудного каналов КУ:

Передаточная функция корректирующего устройство с амплитудным подавлением $W_A(s) = \frac{k}{T_2 s + 1}$, представленная в виде последовательности элементарных математических операций

$$W_A(s) = k \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{T_2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{T_2} \cdot \frac{1}{s}} \quad (5.1)$$

Структура передаточная функция амплитудного канала в виде совокупности элементарных звеньев представлена на рисунке 5.1.

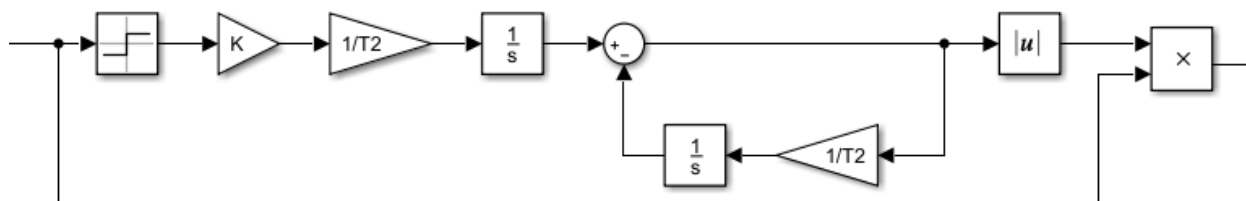


Рисунок 5.1 – Структура передаточная функция амплитудного канала в виде совокупности элементарных звеньев

Текст программы, описывающий работу КУ приведен ниже.

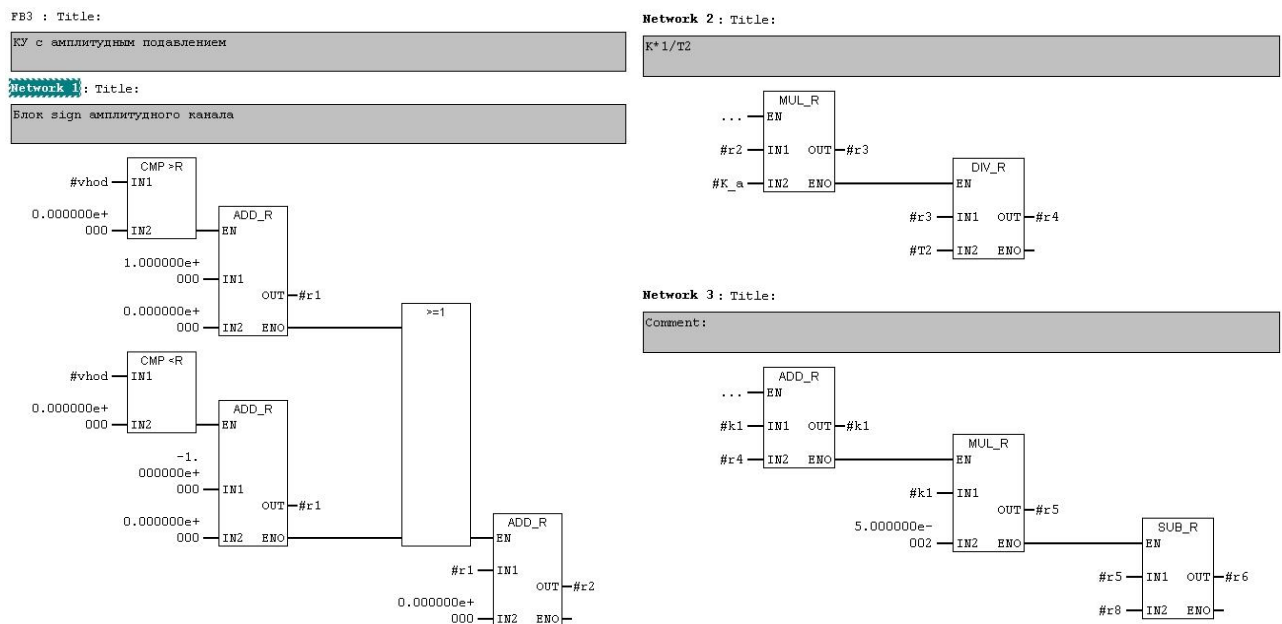


Рисунок 5.2 – Программный раздел для реализации амплитудного канала

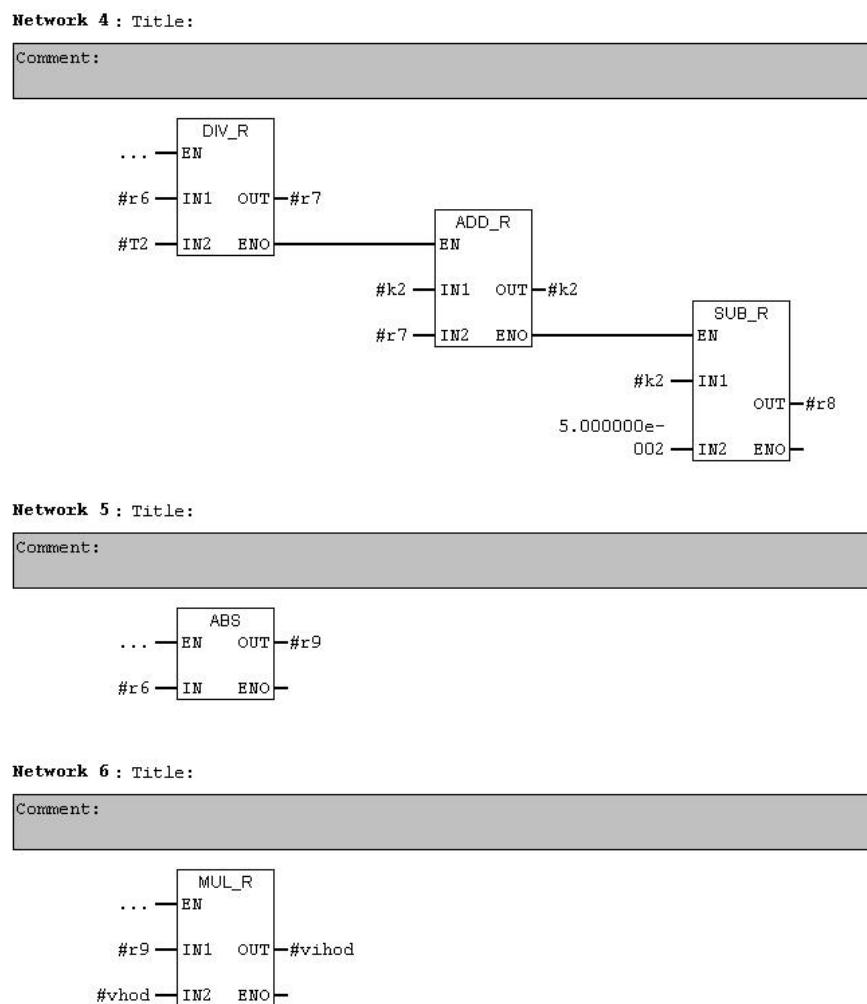


Рисунок 5.3 – Программный раздел для реализации амплитудного канала

Передаточная функция регулятора:

$$W_p(s) = k_{\Pi} + \frac{k_{\text{И}}}{s} + \frac{k_{\text{Д}} T_{\text{Д}} s}{T_{\text{Д}} s + 1} \quad (5.2)$$

Где $T_{\text{Д}} = \frac{k_{\text{Д}}}{k_{\text{П}}}$.

Дифференциальное звено регулятора в виде совокупности элементарных звеньев:

$$\frac{k_{\text{Д}}}{T_{\text{Д}} s + 1} = \frac{k_{\text{Д}}}{T_{\text{Д}}} * \frac{1}{1 + \frac{1}{T_{\text{Д}}} * \frac{1}{s}} \quad (5.3)$$

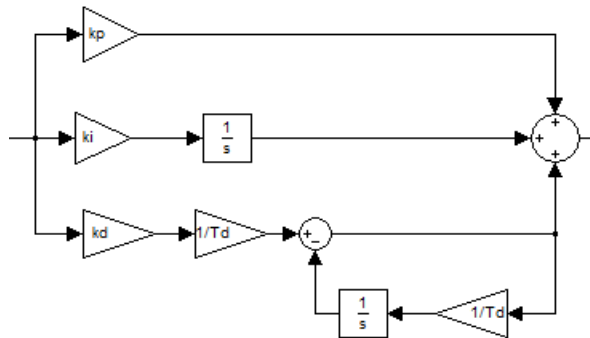
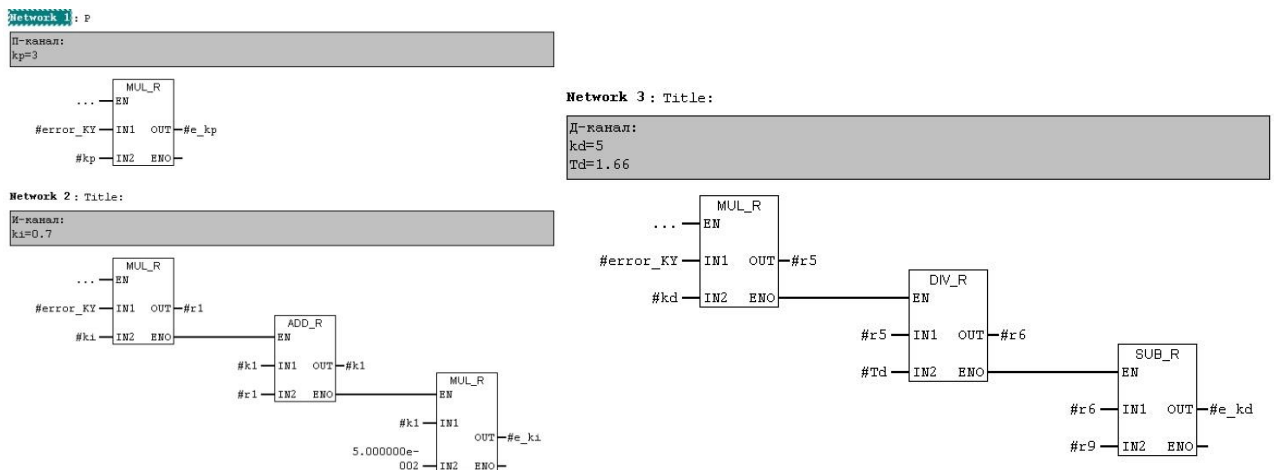


Рисунок 42 – Структура ПИД-регулятора в виде совокупности элементарных звеньев

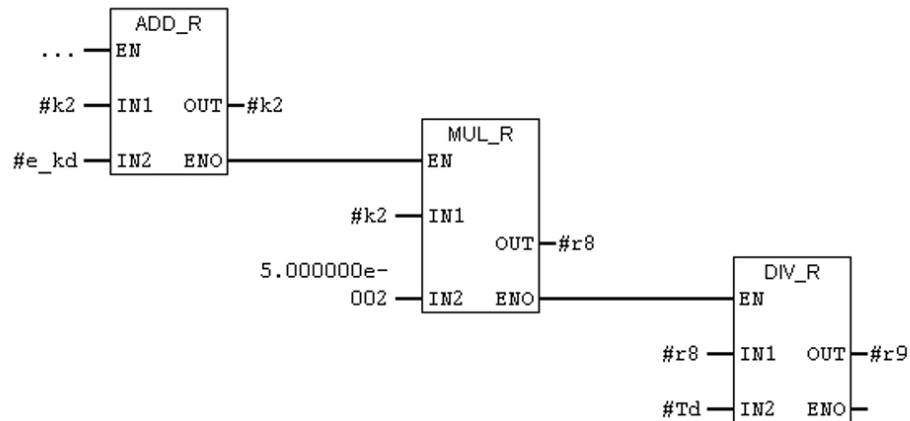
ПИД-регулятор реализует в STEP 7 представлен на рисунке 5.4, 5.5.



Рисунке 5.4 – Программный раздел для реализации ПИД-регулятора

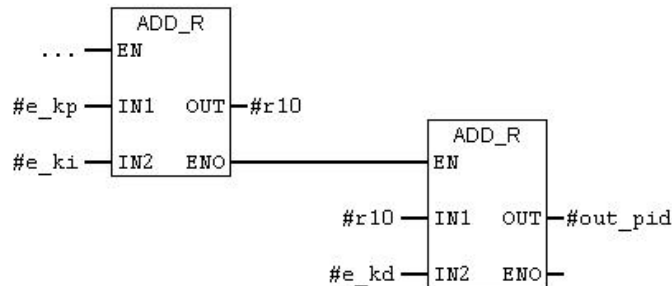
Network 4 : Title:

Д-канал:
Td=1.66



Network 5 : Title:

Comment:



Рисунке 5.5 – Программный раздел для реализации ПИД-регулятора

Передаточная функция ОУ (второго порядка):

Преобразуется в последовательность элементарных математических операций следующим образом:

$$W_{oy}(s) = \frac{k}{T_1 s^2 + T_2 s + 1} = k * \frac{1}{s^2} * \frac{1}{T_1} * \frac{1}{1 + \frac{T_2}{T_1} * \frac{1}{s} + \frac{1}{T_1} * \frac{1}{s^2}} \quad (5.4)$$

Структурная схема ОУ в виде совокупности элементарных звеньев будет выглядеть согласно рисунку 5.6:

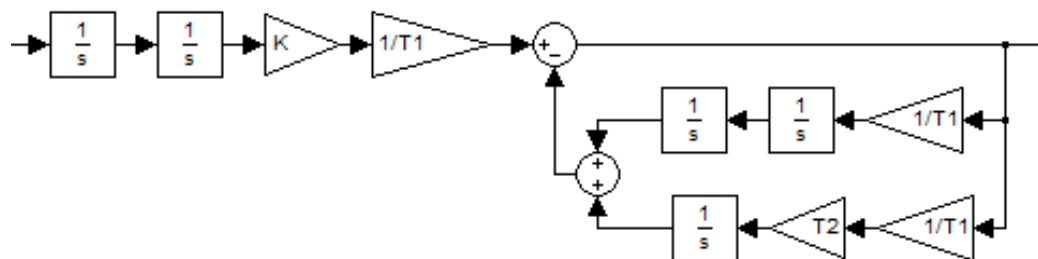


Рисунок 5.6 – Структурная схема ОУ в виде совокупности элементарных звеньев

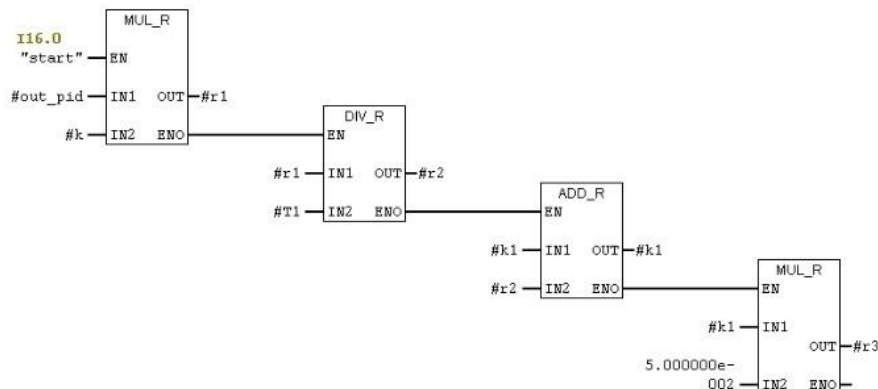
Программы реализации объект второго порядка представлено на рисунке 5.7, 5.8.

FB4 : Title:

Передаточная функция ОУ(второго порядка)

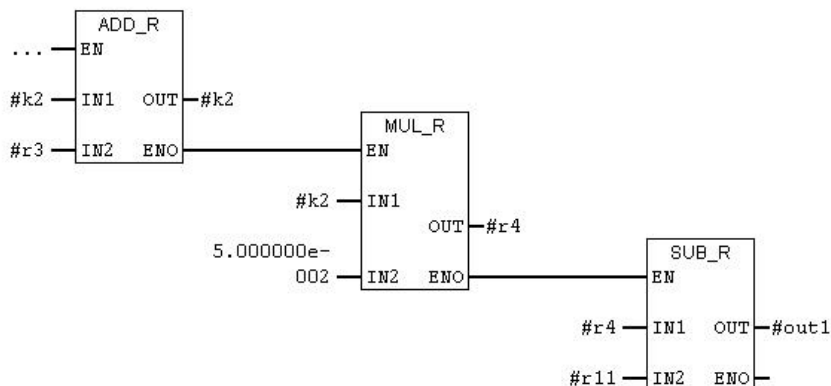
Network 1: Title:

$K \cdot 1 / T_1 \cdot 1/s$



Network 2: Title:

$1/s$ и вывод



Network 3: Title:

$T_2 / T_1 \cdot 1/s$

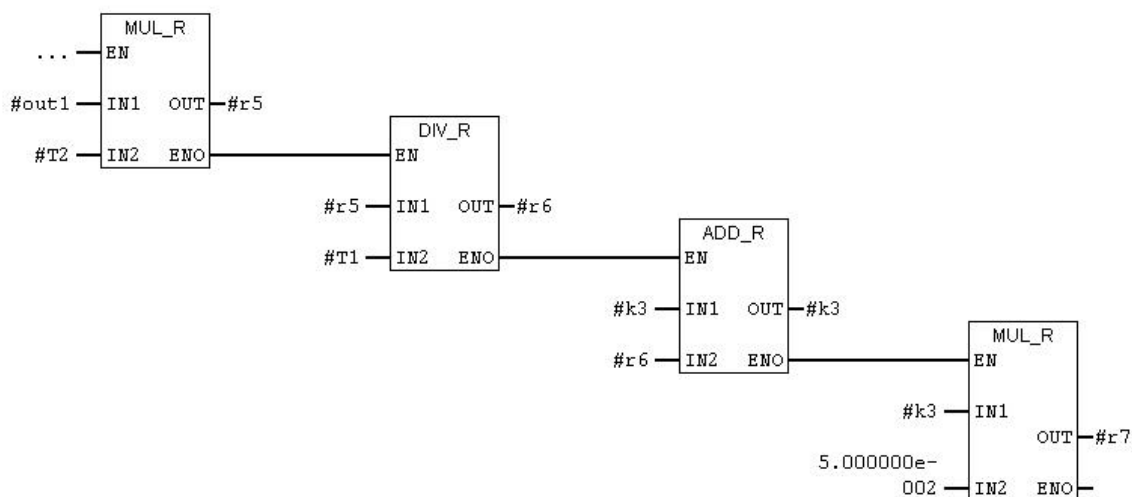
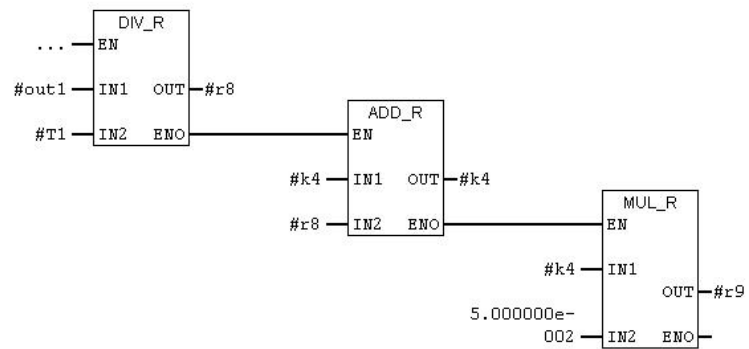


Рисунок 5.7 – Программный раздел для реализации объект второго порядка

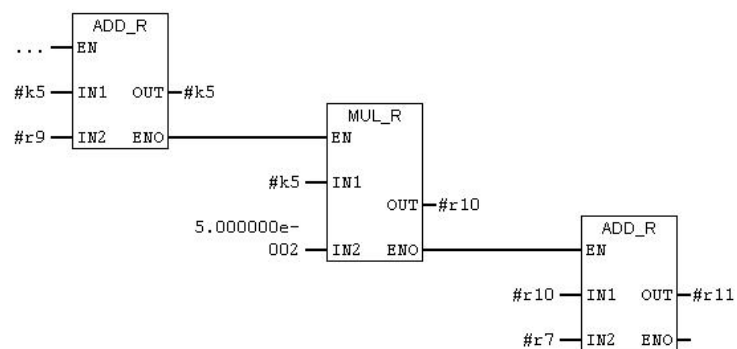
Network 4 : Title:

1/T1*1/s



Network 5 : Title:

1/s



Network 6 : Title:

Вывод

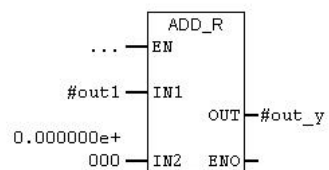


Рисунок 5.8 – Программный раздел для реализации объект второго порядка

6 Социальная ответственность

Социальная ответственность – ответственность отдельного ученого и научного сообщества перед обществом. Первостепенное значение при этом имеет безопасность применения технологий, которые создаются на основе достижений науки, предотвращение или минимизация возможных негативных последствий их применения, обеспечение безопасного как для испытуемых, как и для окружающей среды проведения исследований.

В ходе данной работы была разработана система автоматического управления псевдолинейным регулятором. Работа выполнялась в общежитии. Все работы выполнялись с использования компьютера. Раздел также включает в себя оценку условий труда на рабочем месте, анализ вредных и опасных факторов труда, разработку мер защиты от них.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно ФЗ – 197 [8] каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.
- повышенные или дополнительные гарантии и компенсации за работу на работах с вредными и (или) опасными условиями труда могут устанавливаться коллективным договором, локальным нормативным актом с учетом финансово-экономического положения работодателя.

6.1.1 Анализ условий труда на рабочем месте

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса. Рабочее место является основной подсистемой производственного процесса.

В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ [9], сделаны следующие выводы:

Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800 и 1000 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм. Рабочий стол должен иметь пространство для ног

высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400-550 мм и углам наклона вперед до 15 град, и назад до 5 град.;
- высоту опорной поверхности спинки 300 ± 20 мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах ± 30 градусов;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260-400 мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 ± 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350-500 мм.

6.2 Производственная безопасность

Мое рабочее место – спальня и лаборатория. На рабочем месте есть холодильник. Окно выходит на дорогу. Перечень всех опасных и вредных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований, приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) [10]	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра- ботка	Изгото- вление	Эксплу- атация	
1. электромагнитное излучение	+	+	+	РД 153-34.0-03.298-2001. Типовая инструкция по охране труда для пользователей ПЭВМ в электроэнергетике [11].
2. Превышение уровня шума		+	+	ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности [12] ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация [13].

Продолжение таблицы 6.1 – Вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) [10]	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра- ботка	Изгото- вление	Эксплу- атация	
3. Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (монотонность труда, перенапряжение анализаторов);	+	+	+	МР 2.2.9.2311 – 07. «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [14].
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение [15]

6.2.1 электромагнитное излучение

Для того чтобы избежать негативного воздействия от электромагнитного излучения необходимо следовать основным нормам, описанным в РД 153-34.0-03.298-2001 [11]. Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ указаны в таблице 6.2.

Таблица 6.2 — Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного поля	В диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		25 кВ/м

6.2.2 Превышение уровня шума

Гудящий звук холодильника на работе и звук транспортных средств, едущих по дороге за окном, оказывают на меня большое влияние. В соответствии с ГОСТ 12.1.003-2014 [12], допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочем месте приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 — Допустимые уровни звукового давления

Помещения и рабочие места	Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах среднегеометрическими частотами, Гц					Уровень звука, дБА
	63	125	250	500	1000	
Помещения управления, рабочие комнаты	79	70	68	55	50	60

Для защиты от воздействия шума на организм человека возможно применение архитектурно-планировочных методов, которые включают в себя: рациональное размещение технологического оборудования, машин и механизмов, рациональное размещение рабочих мест, создание шумозащитных зон в различных местах нахождения человека согласно ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация [13].

6.2.3 Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (монотонность труда, перенапряжение анализаторов)

При разработке программы необходимо долго смотреть в компьютер и записывать данные, который вызывает зрительную и умственную нагрузку на организм человека.

При умственной нагрузке необходима длительность сосредоточенного внимания, выраженная ответственность, плотность сигналов и сообщений в единицу времени по МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [14]. Оказывает угнетающее влияние на психическую деятельность ухудшаются функции внимания (объем, концентрация, переключение), памяти (кратковременной и долговременной), восприятия (появляется большое число ошибок).

При зрительной нагрузке необходима высокая координация сенсорных и моторных элементов зрительной системы. Вызывает головную боль, ухудшение зрения, астенопию – патологического состояния, связанного с быстрым переутомлением глаз. Для устранения накопленной усталости и нагрузки на организм человека необходимо выполнять комплекс физических

упражнений на координацию движений, концентрацию внимания, комплекс упражнений на глаз, использовать методику психической саморегуляции.

6.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Согласно СНиП 23-05-95* [15] в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 300 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 9$ м, ширина $B = 6$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B, \quad (6.1)$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 9 \times 5 = 45 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения свеж побеленных стен с окнами, без штор $\rho_c=50\%$, свеж побеленного потолка $\rho_{II}=70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z=1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z=1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{ЛД} = 2600 \text{ Лм}$.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda=1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,3 \text{ м}$.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (6.2)$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 3,5 \text{ м}$.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2,0 \text{ м} \quad (6.3)$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda * h = 1,1 * 2 = 2,2 \text{ м} \quad (6.4)$$

Число рядов светильников в помещении:

$$N_b = \frac{B}{L} = \frac{5}{2,2} = 2,27 \approx 2 \quad (6.5)$$

Число светильников в ряду:

$$N_a = \frac{A}{L} = \frac{9}{2,2} = 4,09 \approx 4 \quad (6.6)$$

Общее число светильников:

$$N = N_a * N_b = 4 * 2 = 8 \quad (6.7)$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,2}{3} = 0,7 \text{ м} \quad (6.8)$$

Размещаем светильники в четыре ряда. На рисунке 6.1 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

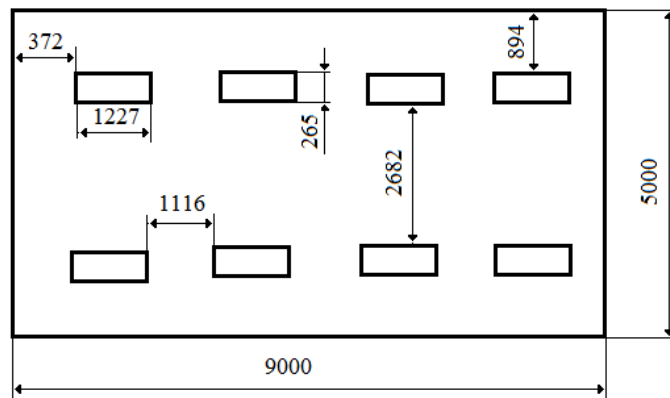


Рисунок 6.1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{9 \cdot 5}{2 \cdot (9 + 6)} = 1,6 \quad (6.9)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{л}} = 70 \%$, $\rho_{\text{с}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,6$ равен $\eta = 0,47$.

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 16$. Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{л}} = (E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z) / N \cdot \eta = (300 \cdot 45 \cdot 1,5 \cdot 1,1) / (16 \cdot 0,47) = 2962,1 \text{ лм} \quad (6.10)$$

выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛТБ 40 Вт с потоком 2850 лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} * 100\% \leq 20\% \quad (6.11)$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{2850 - 2962,1}{2850} = -3\% \quad (6.12)$$

Таким образом, мы получили, что необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона. Теперь рассчитаем мощность осветительной установки:

$$P = 16 * 40 = 640 \text{ Вт}$$

6.3 Экологическая безопасность

На данном рабочем месте выявлен предполагаемый источник загрязнения окружающей среды, а именно воздействие на литосферу в результате образования отходов при поломке предметов вычислительной техники и оргтехники.

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды. К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Вышедшее из строя ПЭВМ и сопутствующая оргтехника относится к IV классу опасности и подлежит специальной утилизации. Для оказания наименьшего влияния на окружающую среду, необходимо проводить специальную процедуру утилизации ПЭВМ и оргтехники, при которой более 90% отправится на вторичную переработку и менее 10% будут отправлены на свалки. При этом она должна соответствовать процедуре утилизации ГОСТ Р

53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов [16].

В ходе деятельности организация также создает бытовой мусор (канцелярские, пищевые отходы, искусственные источники освещения), который должен быть утилизирован в соответствии с определенным классом опасности или переработан, чтобы не оказывать негативное влияние на состояние литосферы.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.4.1 Природная чрезвычайная ситуация

Природная чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории или акватории, сложившейся в результате возникновения источника природной чрезвычайной ситуации, который может повлечь или повлек за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т.д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. На случай замерзания труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

6.4.2 Анализ пожарной безопасности

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д, а здания на категории А, Б, В, Г и Д.

Согласно СП 12.13130.2009 [17], помещение лаборатории категории помещения группы Г, возможный класс пожара Г. Характеристика веществ и материалов, находящихся в помещении: Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Для предупреждения пожара и взрыва необходимо предусмотреть:

1. специальные изолированные помещения для хранения и разлива легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), оборудованные приточно-вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении - соответствии с ГОСТ 12.4.021-75 [18];

2. специальные помещения (для хранения в таре пылеобразной канифоли), изолированные от нагревательных приборов и нагретых частей оборудования;

3. автоматические сигнализаторы для сигнализации о присутствии в воздухе помещений до взрывных концентраций горючих паров растворителей и их смесей.

Лаборатория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 6.2, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.



Рисунок 6.2 – План эвакуации

Выводы по разделу

Значение всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам, которые также были продемонстрированы в данном

разделе, за исключением фактора, обладающего свойствами психофизиологического воздействия на организм человека. Для минимизации влияния данного фактора на организм человека, достаточно соблюдать меры, приведенные в МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [14].

Категория помещения по электробезопасности, согласно ПУЭ, соответствует первому классу – «помещения без повышенной опасности» [19].

Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал должен обладать I группой допуска по электробезопасности. Присвоение группы I по электробезопасности производится путем проведения инструктажа, который должен завершаться проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током [20].

Категория тяжести труда в лаборатории по СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" относится к категории Ib (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением) [21].

Помещение лаборатории категории помещения группы Г, возможный класс пожара Г. Характеристика веществ и материалов, находящихся в помещении: Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива [17].

Рассмотренный объект, оказывающий незначительное негативное воздействие на окружающую среду, относится к объектам III категории [22].

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Контроллеры используются не только как автономные средства локального управления технологическим установками, но и в составе широкомасштабных систем автоматизированного управления целыми предприятиями.

В настоящее время на Российском рынке преобладают контроллеры иностранных фирм: Siemens, Mitsubishi, ABB, Schneider Electric, GE Fanuc, однако с течением времени увеличивается доля рынка, занятая отечественной продукцией Российских фирм (НИЛ АП, Текон, Фаствел, ДЭП, Овен, Элемер, Эмикон и др.), что соответствует общемировой тенденции, когда в большинстве стран отечественные фирмы занимают большую долю рынка, чем иностранные. Это объясняется следующими факторами:

- Российские фирмы обеспечивают более квалифицированную техническую поддержку и русскоязычную документацию;
- большую роль играет срок поставки и территориальная близость производителя к потребителю;
- соответствие отечественных разработок Российским стандартам, чего часто нельзя сказать об импортных контроллерах;
- лучшее знание Российского рынка отечественными производителями.

Широкому распространению ПЛК в большой степени способствует рост компьютерной грамотности населения, спецкурсы в ВУЗах, множество курсов повышения квалификации, проводимых ведущими системными интеграторами. В данном разделе исследуется рынок контроллеров, которые применяются в той или иной области производства. Для рассмотрения были взяты две модели контроллеров:

1. S7-1500
2. S7-400

Несмотря на огромное разнообразие контроллеров, в их развитии

заметны следующие общие тенденции: уменьшение габаритов; расширение функциональных возможностей; увеличение количества поддерживаемых интерфейсов и сетей; использование идеологии «открытых систем»; использование языков программирования стандарта МЭК 61131-3; снижение цены.

Таким образом, целью работы является проведение таких научных исследований, тема которых актуальна на сегодняшний день и отвечает современным требованиям в области ресурсосбережения и ресурсоэффективности.

Достижение цели обеспечивается решением ряда задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения
- научного исследования;
- планирование научно-исследовательской работы;
- определение возможных альтернатив проведения научного исследования, отвечающих современным требованиям в области ресурсосбережения и ресурсоэффективности.

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

7.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

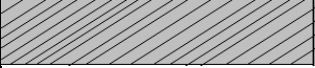
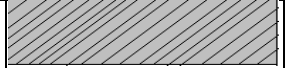
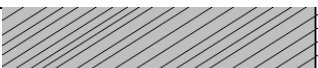
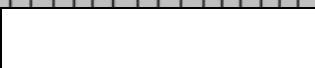
АСУТП удобно разделить на классы. Первым в процессе такого разделения является размер системы, определяемый по количеству входных и выходных сигналов. По нему системы можно разделить на три класса:

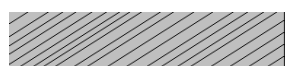
- Малые системы - число сигналов измерения/управления - до 100, и все они собраны в одном месте.
- Средние системы - число сигналов- несколько сотен, но их тоже можно собрать в одном помещении.
- Крупные однородные системы могут быть представлены набором распределенных однотипных малых или средних систем.

Потребителями будут являться: судостроительные предприятия,

машиностроительная промышленность и пищевая промышленность.

Таблица 7.1 – Карта сегментирования рынка услуг по разработке интернет-ресурсов

		Размер системы АСУТП		
		Крупные	Средние	Малые
Потребители	Судостроительные предпр.			
	Пищевые комби-наты			
	Машиностроительная промышленность			



– S7-1500



– S7-400

Из приведённой таблицы 1-карты сегментирования можно сделать следующие выводы:

- 1) основными сегментами рынка являются контроллеры Siemens S7-400;
- 2) необходимо применять контроллеры S7-400 и S7-1500 для работы со средними размерами систем в пищевой промышленности и средними размерами систем в машиностроительной промышленности.

7.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Оценочная карта конкурентных технических решений (разработок) в данной отрасли по фирмам ОВЕН и Siemens представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Оценочная карта конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда	0,09	5	4	0,45	0,36
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07	5	5	0,35	0,35
3. Помехоустойчивость	0,09	5	4	0,45	0,36
4. Энергоэкономичность	0,01	4	4	0,04	0,04
5. Надежность	0,03	5	5	0,15	0,15
6. Уровень шума	0,07	5	5	0,35	0,35
7. Безопасность	0,07	4	5	0,28	0,35
8. Потребность в ресурсах памяти	0,01	4	5	0,04	0,05
9. Функциональная мощность	0,02	4	5	0,08	0,1

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
1	2	3	4	5	6
(предоставляемые					
10. Простота эксплуатации	0,04	5	5	0,2	0,2

Продолжение таблицы 7.2 – Оценочная карта конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
1	2	3	4	5	6
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,04	4	5	0,16	0,2
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,07	5	5	0,35	0,35
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	0,5	0,5
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	5	5	0,35	0,35
3. Цена	0,07	4	4	0,28	0,28
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	4	5	0,16	0,2
5. Послепродажное обслуживание	0,025	5	5	0,125	0,125
6. Финансирование научной разработки	0,05	5	5	0,25	0,25
7. Срок выхода на рынок	0,015	5	5	0,075	0,075
8. Наличие сертификации разработки	0,02	5	5	0,1	0,1
Итого	1			4,72	4,74

В оценочной карте для сравнения конкурентных технических решений (разработок), обозначения Б_ф и К_ф это ОВЕН ПЛК100; Б_{к1} и К_{к1} это Siemens S7-1500.

Исходя из расчётов, сделанных выше, можно сделать вывод, что разработка с использованием Siemens имеет высокий уровень конкурентоспособности. Уязвимостью является предполагаемый срок эксплуатации разработки. Конкурентное преимущество устройства в функциональной мощности, сроке выхода на рынок и конкурентоспособности.

7.1.3 SWOT-анализ

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

Таблица 7.3 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Экологичность	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл.1. Дороговизна
--	--	---

	технологии С2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей). С3. Простота изготовления С4. Конкурентоспособность продукта. С5. Срок выхода на рынок. С6. Наличие бюджетного финансирования С7. Наличие специального оборудования для проведения экспериментальных исследований. С8. Наличие квалифицированных кадров у потенциальных потребителей.	используемого оборудования Сл.2. Узкий профиль разработки Сл.3. Низкий уровень прибыльность Сл.4. Несовместимость линеек между собой Сл.5 Поддержка только собственных плат.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ для быстрого внедрения ПО на рынок. В2. Использование развитой международной инфраструктуры для более быстрой доставки плат. В3. Внедрение на новые рынки или сегменты рынка В4. Быстрый рост рынка В5. Расширение спектра применения разработки В6. Хорошие связи с потребителями	Использование инновационной структуры ТПУ позволит повысить конкурентоспособность ПО и ускорить выход на рынок. В процессе продвижения разработки на рынок может появиться дополнительный спрос на разработку. Кроме того, проект может внед-ряться в новые сегменты рынка. Данная разработка, может быть, усовершенствована и дополнена новыми функциональными возможностями что в свою очередь влияет на ширину спектра применения данной разра-ботки.	Кроме того, для лучшего продвижения разработки может быть достигнута тесная связь с потребителями.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Появление продуктов-заменителей У3. Экономический спад У4. Ограничения контроллера, поддержке только собственных протоколов У5. Появление более современных и дешевых технологий.	Главной угрозой разработки является появление более конкурентоспособных технологий, отличающихся современностью и дешевизной, которые вытеснят продукт с рынка. В экономической ситуации может сложиться спад.	Кроме того, данная разра-ботка может не представлять интереса у покупателей ввиду ограничений контроллера, выраженных в поддержке только собственных протоколов, что исключает подключение какого-либо нестандартного оборудования, тем самым понижая спрос у потребителей.

Для осуществления базового варианта SWOT-анализа выбрали основные параметры, влияющие на развитие ситуации и/или успешность организации на рынке. Приоритетом служат ключевые факторы успеха. Рассмотрели также основные возможности и угрозы, которые могут повлиять на компанию или рассматриваемую ситуацию. Провели оценку возможностей и угроз по вероятности их наступления и степени влияния на рассматриваемую ситуацию.

7.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

7.2.1 Цели и результат проекта

В данном разделе необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Это могут быть заказчики, спонсоры, общественность и т.п. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представить в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Студент	Приобрести навыки работы с ПЛК
Научный руководитель	Улучшение лабораторных работ

В табл. 7.5 необходимо представить информацию о иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Цели проекта должны включать цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 7.5 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Повышение качества систем автоматического управления нестационарными объектами различного порядка.
Ожидаемые результаты проекта:	предложенный адаптивный псевдолинейный регулятор и его программная реализация для промышленных микропроцессорных контроллеров.
Критерии приемки результата проекта:	Предложенный регулятор позволяют улучшить качество регулирования по сравнению с системами, реализованными на базе ПИД-регуляторов.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Программное обеспечение Mathcad 15
	Программное обеспечение Matlab R2018b
	Промышленный микропроцессорный контроллер Siemens Simatic S7-400
	Изучение программного пакета STEP 7

7.2.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информацию представить в табличной форме (Таблица 7.6).

Таблица 7.6 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1	Скороспешкин М.В	Научный руководитель проекта (НР)	отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта.	60
2	Ван Лянь	Исполнитель по проекту (И)	специалист, выполняющий отдельные работы по проекту.	306
ИТОГО:				366

7.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных

целей.

7.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данной работе проектная организация состоит из двух человек: руководитель проекта и инженер. Планирование работ позволяет распределить обязанности между исполнителями проекта, рассчитать заработную плату сотрудников, а также гарантирует реализацию проекта в срок. Последовательность и содержание работ, а также распределение исполнителей приведены в таблице 7.7.

Таблица 7.7 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	НР
	2	Календарное планирование выполнения ВКР	НР И
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	И
	4	Выбор методов исследования	НР И
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	НР И
	6	Проведение эксперимента	И
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов НИР	НР И
	8	Оценка эффективности результатов	НР
Оформление отчета по НИР	9	Составление пояснительной записки	И
	10	Подведение итогов	НР И

Проектирование тепловых сетей реализуется в семь этапов. Основные работы выполняются инженером проектной организации.

7.3.2 Определение трудоемкости выполнения работы

Трудоёмкость выполнения исследования оценивается экспертным путём в силу вероятностного характера величины. За единицу измерения

трудоемкости принимаются человеко-дни. Ожидаемая трудоемкость рассчитывается по формуле 7.1:

$$t_{ож} = \frac{3 * t_{min} + 2 * t_{max}}{5} \quad (7.1)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения работы чел.дн;

t_{min} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы, чел.дн;

t_{max} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы, чел.дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 7.7 работ требуются специалисты:

- инженер;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле 7.2:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} * K_{Д}, \quad (7.2)$$

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

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

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

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле 7.3:

$$T_{КД} = T_{РД} * T_{К}, \quad (7.3)$$

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

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

$T_{К}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле 7.4:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (7.4)$$

где $K_{АЛ}$ – календарные дни ($K_{АЛ} = 365$);

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

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

$$T_K = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

Таблица 7.8 – График проведения научного исследования

Этапы работы	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
					Т _{рд}		Т _{кд}	
		t _{min}	t _{max}	t _{ож}	НР	И	НР	И
Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	НР	1	2	1,4	1,68	-	2,03	-
Календарное планирование выполнения ВКР	НР, И	4	5	4,4	2,112	3,168	2,546	3,82
Обзор научной литературы	И	8	10	8,8	-	10,56	-	12,73
Выбор методов исследования	НР, И	7	15	10,2	4,896	7,344	5,9	8,85
Планирование эксперимента	НР, И	8	12	9,6	4,608	6,912	5,55	8,33
Проведение эксперимента	И	35	48	40,2	-	48,24	-	58,13
Анализ полученных результатов НИР	НР, И	2	3	2,4	0,576	2,304	0,69	3,51
Оценка эффективности результатов	НР	2	3	2,4	2,88	-	3,48	-
Составление пояснительной записки	И	2	5	3,2	-	3,84	-	4,63
Подведение итогов	НР, И	7	15	10,2	1,224	11,016	1,47	13,27

7.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

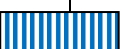
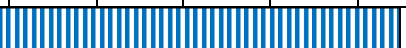
Линейный график представляется в виде таблицы (Таблица 7.9).

Таблица 7.9 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	01.02	02.02	НР – 100%
2	Календарное планирование выполнения ВКР	5	03.02	07.02	НР – 40% И – 60%
3	Обзор научной литературы	10	08.02	17.02	И – 100%
4	Выбор методов исследования	15	18.02	05.03	НР – 40% И – 60%
5	Планирование эксперимента	12	06.03	17.03	НР – 40% И – 60%
6	Проведение эксперимента	48	18.03	05.05	И – 100%
7	Анализ полученных результатов НИР	3	06.05	08.05	НР – 20% И – 80%
8	Оценка эффективности результатов	3	09.05	11.05	НР – 100%
9	Составление пояснительной записки	5	12.05	16.05	И – 100%
10	Подведение итогов	15	17.05	31.05	НР – 10% И – 90%

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта. График строится в виде табл. 7.10 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Таблица 7.10 – Календарный план-график проведения работ

№	Вид работ	Исп	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	2												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	5	 											
3	Обзор научной литературы	Исп2	10												
4	Выбор методов исследования	Исп1 Исп2	15			 									
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	12				 								
6	Проведение эксперимента	Исп2	48												
7	Анализ полученных результатов НИР	Исп1 Исп2	3									 			
8	Оценка эффективности результатов	Исп1	3												
9	Составление пояснительной записки	Исп2	5												
10	Подведение итогов	Исп1 Исп2	15											 	

Примечание:

 – Исп 1 (научный руководитель),  – Исп 2 (студент-инженер)

Таким образом, был оценен объем необходимых работ, составлен календарный план их проведения и распределены обязанности участников проекта: участниками являются 2 человека – научный руководитель и инженер. Научный руководитель участвует в работе в течении 18 дней, инженер- 91 дней.

7.4 Бюджет затрат на проектирование

При планировании бюджета проекта необходимо учесть все виды расходов, которые связаны с его выполнением. Для формирования бюджета проекта используется следующая группа затрат:

- материальные затраты проекта;
- основная заработная плата исполнителей проекта;
- дополнительная заработная плата исполнителей проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

7.4.1 Расчет материальных затрат проекта

В данном пункте рассчитывается стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Материалы необходимые для выполнения данной работы и расчет материальных затрат представлены в табл. 7.11.

Таблица 7.11 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб	количество	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	150	2 уп.	300
Ручка шариковая	20	3 шт.	60
карандаш	10	2 шт.	20
Стирательная резинка	5	2 шт.	10
итого			390

Итого сумма расходов составила 390 рублей. В результате полученной суммы можно сделать вывод, что расходы не превышают 500 рублей, что является весьма приемлемой суммой как для студента, так и для сотрудника.

7.4.2 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.

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 таблице 7.12.

Таблица 7.12 – Материальные затраты на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Контроллер Simatic S7-400	227120	1 шт.	227120
Контроллер Simatic S7-1500	75700	1 шт.	75700
Блок питания PS 407(S7-400)	23528	1 шт.	23528
Блок питания PM 1507(S7-1500)	5400	1 шт.	5400
Затраты на доставку контроллера Simatic S7-400	540	1 шт.	540
Затраты на доставку контроллера Simatic S7-1500	550	1 шт.	550
Итого для Simatic S7-400:			233188
Итого для Simatic S7-1500:			82300

Расчет амортизации проводится следующим образом:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (7.5)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot t, \quad (7.6)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; t – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1. \quad (7.7)$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A_{S7-400} = \frac{H_{AI}}{12} * m = \frac{0,1*233188}{12} * 4 = 7772.93 \text{ руб.} \quad (7.8)$$

$$A_{S7-1500} = \frac{H_{AI}}{12} * m = \frac{0,1*82300}{12} * 4 = 2743.33 \text{ руб.} \quad (7.9)$$

7.4.3 Основная заработная плата исполнителей проекта

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_p, \quad (7.10)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 8).

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (7.11)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.} \quad (7.12)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

– при отпуске в 24 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 48 раб. дней – $M = 10,4$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51285 \cdot 10,4}{246} = 2168,15 \text{ руб.} \quad (7.13)$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.(таблица 7.13); M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 11.2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (7.14)$$

Таблица 7.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 7.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{тс}$, руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2168,15	18	39026,7
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	91	158622,1
Итого:								197648,8

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = K_{доп} * Z_{осн} = 0,12 * 39026,7 = 4683,21 \text{ руб.} \quad (7.15)$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = K_{доп} * Z_{осн} = 0,12 * 158622,1 = 19034,65 \text{ руб.} \quad (7.16)$$

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

7.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{внеб} = K_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 * (39026,7 + 4683,21) = 13112,973 \text{ руб.} \quad (7.17)$$

Для инженера:

$$З_{внеб} = K_{внеб}(З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 * (158622,1 + 19034,65) = 53297,025 \text{ руб.} \quad (7.18)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

7.4.5 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.

Накладные расходы в целом:

$$З_{накл} = \left(\frac{\text{сумма статей}}{4} \right) * K_{нр}$$

$$З_{накл1} = (390 + 7772,93 + 197648,8 + 66410) * 0,16 = 43555,48 \text{ руб.} \quad (7.19)$$

$$З_{накл2} = (390 + 2743,33 + 197648,8 + 66410) * 0,16 = 42750,74 \text{ руб.} \quad (7.20)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

7.4.6 Формирование затрат на проектирование

Определение бюджета затрат на проект приведено в таблице 7.15.

Таблица 7.15– Расчёт бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	S7-400	S7-1500	
1. Материальные затраты НТИ	390	390	Пункт 7.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	7772,93	2743,33	Пункт 7.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	197648,8	197648,8	Пункт 7.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате	23717,86	23717,86	Пункт 7.4.3
5. Отчисления во внебюджетные фонды	66410	66410	Пункт 7.4.4
6. Накладные расходы	43555,48	42750,74	16 % от суммы ст. 1-6
7. Бюджет затрат НТИ	339495,07	333660,73	Сумма ст. 1- 7

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

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат нескольких вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 7.16). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{фин}^i = \frac{\Phi_i}{\Phi_{max}} \quad (7.21)$$

где $I_{фин}^i$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_i – стоимость i-ого варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения проекта.

$$I_{фин}^1 = \frac{339495,07}{339495,07} = 1$$

$$I_{\text{фин}}^2 = \frac{333660,73}{339495,07} \approx 0,98$$

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i * b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i * b_i^p \quad (7.22)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i-го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i-го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения. Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 7.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

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

$$I_{p-исн1} = 5 * 0,1 + 4 * 0,15 + 5 * 0,15 + 4 * 0,2 + 4 * 0,25 + 4 * 0,15 = 4,25$$

$$I_{p-исн2} = 4 * 0,1 + 3 * 0,15 + 4 * 0,15 + 4 * 0,2 + 3 * 0,25 + 4 * 0,15 = 3,6$$

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

$$I_{исни} = \frac{I_{p-исни}}{I_{\phi}^p} \quad (7.23)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,25}{1} = 4,25$$

$$I_{исп1} = \frac{3,6}{0,895} \approx 3,66$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.7.16) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (Эср):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (7.24)$$

Таблица 7.16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,98
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25	3,6
3	Интегральный показатель эффективности	4,25	3,66
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	$\frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = 1,16$	$\frac{I_{исп.2}}{I_{исп.1}} = 0,86$

Заключение по разделу

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были определены потенциальные потребители. Произведен анализ конкурентов исходя из которого можно заключить, что данное устройство является конкурентоспособным. Разработаны структура работ и график проведения научного исследования. Рассчитаны материальные затраты, а также трудозатраты на выполнение проекта, затрат на специальное оборудование, амортизационный расход, затраты по основной и дополнительной заработной плате вовлечённых в разработку сотрудников, отчисления на социальные нужды, накладные расходы. Формирован бюджет затрат научно-исследовательского проекта. Определена ресурсная финансовая, бюджетная, социальная и экономическая эффективность исследования. Произведена сравнительная эффективность разработки на основании интегрального показателя эффективности. Из таблицы 9.20 видно,

что наиболее эффективным вариантом решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи является исполнение 1.

Заключение

Исследования показали, что чем больше значение параметра T ПКУ с амплитудным подавлением, тем сильнее подавляется амплитуда входного сигнала. При этом фаза переходного процесса увеличивается на $19,6^\circ$. Это приводит к увеличению времени переходного процесса и времени нарастания.

Исследования показывают, что, когда значение параметра T больше, чем значение параметра T_1 , это может играть положительную роль в качестве управления системой автоматического управления. При $T_1/T=0,1$, чем больше T , тем меньше время требуется для подстройки, а фаза подстройки остается неизменной и составляет $31,5^\circ$.

Исследование адаптивных систем управления с объектами управления второго порядка показывает, что использование таких корректирующих устройств улучшает качество работы системы управления при изменении параметров объектов управления.

Программная реализация псевдолинейного регулятора была произведена в программном пакете STEP7 на языке FBD.

Практическая значимость результатов ВКР заключается в том, что разработанная модель будет использоваться для повышения качества управления классическим ПИД-регулятором, который лучше справляется с непредсказуемыми изменениями объекта управления.

Список публикаций студента

1. Ван Л., Дун Б.. Нечеткий адаптивный ПИД-регулятор [Электронный ресурс] / Л. Ван, Б. Дун; науч. рук. В. М. Скороспешкин // II Международная научно-практическая конференция «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов», г. Томск, 26-28 апреля 2022г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ).
2. Дун Б., Ван Л.. Развитие и перспективы Mesh-сети [Электронный ресурс] / Л. Ван, Б. Дун; науч. рук. С. М. Суходоев // II Международная научно-практическая конференция «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов», г. Томск, 26-28 апреля 2022г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ).

Список используемых источников

1. Топчиев Ю.И. Нелинейные системы автоматического управления. – М.: Машиностроение, 1971. – 470с. (дата обращения: 31.05.2022)
2. Скороспешкин М.В. Псевдолинейный регулятор // Автоматика и программная инженерия. – 2013. – №3(5). – с.27-29. (дата обращения: 31.05.2022)
3. Воронов А.А. Теория автоматического управления, Ч.І. — М.: Высшая школа, 1986. — 367 с. (дата обращения: 31.05.2022)
4. Лебедев С.К. Математические основы теории автоматического управления: курс лекций / Электронное издание. – Иваново: ИГЭУ. – 149с. (дата обращения: 31.05.2022)
5. Кущева Е.С. Разработка, исследование и программная реализации адаптивного нечеткого псевдолинейного регулятора [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/38627/1/TPU361680.pdf>, свободный. (дата обращения: 31.05.2022)
6. Пономарева В.М., Литвинова А. П. Основы автоматического регулирования и управления: учебн. пособие для неэлектротехн. специальностей вузов. – М., «Высшая школа», 1974. – 439с. (дата обращения: 31.05.2022)
7. Что такое S-функция? // сайт «MathWorks». – 2021. – Режим доступа: <https://ww2.mathworks.cn/help/simulink/sfg/what-is-an-s-function.html> (дата обращения: 31.05.2022).
8. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 10.05.2022)
9. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. (ред. от 10.05.2022)
10. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. (ред. от 10.05.2022)
11. РД 153-34.0-03.298-2001 Типовая инструкция по охране труда для пользователей ПЭВМ в электроэнергетике. (ред. от 10.05.2022)

- 12.ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. (ред. от 10.05.2022)
- 13.ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация. (ред. от 10.05.2022)
- 14.МР 2.2.9.2311-07 Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности. (ред. от 10.05.2022)
- 15.СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение (ред. от 10.05.2022)
- 16.ГОСТ Р 53692-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов». (ред. от 10.05.2022)
- 17.СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. (ред. от 10.05.2022)
- 18.ГОСТ 12.4.021-75 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Системы вентиляционные. Общие требования. (ред. от 10.05.2022)
- 19.Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Глава 1.1 Общая часть. (ред. от 10.05.2022)
- 20.903н. Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок. (ред. от 10.05.2022)
- 21.СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. (ред. от 10.05.2022)
- 22.2398. Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий. (ред. от 10.05.2022)

Приложение А

Листинг m-файла «step1212» блока S-Function в среде Simulink

```
function [sys,x0,str,ts,simStateCompliance] = step1212(t,x,u,flag)
switch flag
case 0
    [sys,x0,str,ts,simStateCompliance]=mdlInitializeSizes;
case 3
    sys=mdlOutputs(t,x,u);
case {1,2,4,9}
    sys=[];
otherwise
    DAStudio.error('Simulink:blocks:unhandledFlag', num2str(flag));
end

function [sys,x0,str,ts,simStateCompliance]=mdlInitializeSizes
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates    = 0;
sizes.NumDiscStates    = 0;
sizes.NumOutputs       = 0;
sizes.NumInputs        = 0;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = [];
str = [];
ts = [0 0];
simStateCompliance = 'UnknownSimState';

function sys=mdlOutputs(t,~,~)

if t>=0 && t<50
    set_param('w02/Step','After','1')
    set_param('w02/Step1','After','0')
    set_param('w02/Constant','Value','2')
    set_param('w02/Transfer Fcn2','Numerator','[1]')
    set_param('w02/Transfer Fcn2','Denominator','[1 1 1]')
    set_param('w02/Transfer Fcn','Numerator','[1]')
    set_param('w02/Transfer Fcn','Denominator','[1 1]')
end
if t>50 && t<200
    set_param('w02/Transfer Fcn2','Numerator','[1]')
    set_param('w02/Transfer Fcn2','Denominator','[10.8 10 1]')
end
end
```

```
if t>200 && t<400
    set_param('w02/Step1','After','0.1')
end

if t>400 && t<600
    set_param('w02/Step1','After','0')
end

if t>600 && t<800
    set_param('w02/Step1','After','0.1')
end
sys=[];
```

Приложение Б

Листинг m-файла «err22» блока S-Function в среде Simulink

```
function [sys,x0,str,ts,simStateCompliance] = err22(t,x,u,flag)
switch flag
    case 0
        [sys,x0,str,ts,simStateCompliance]=mdlInitializeSizes;
    case 3
        sys=mdlOutputs(t,x,u);
    case {1,2,4,9}
        sys=[];
    otherwise
        DAStudio.error('Simulink:blocks:unhandledFlag', num2str(flag));
end

function [sys,x0,str,ts,simStateCompliance]=mdlInitializeSizes
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 0;
sizes.NumDiscStates = 0;
sizes.NumOutputs = 1;
sizes.NumInputs = 1;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = [];
str = [];
ts = [0 0];
simStateCompliance = 'UnknownSimState';

function sys=mdlOutputs(t,x,u)
if t>=200 && t<=400
    sys=u*u;
else
    sys=[];
end
```

Приложение В

Листинг m-файла «*errT1*» блока S-Function в среде Simulink

```
function [sys,x0,str,ts,simStateCompliance] = errT1(t,x,u,flag)
switch flag
case 0
    [sys,x0,str,ts,simStateCompliance]=mdlInitializeSizes;
case 3
    sys=mdlOutputs(t,x,u);
case {1,2,4,9}
    sys=[];
otherwise
    DAStudio.error('Simulink:blocks:unhandledFlag', num2str(flag));
end

function [sys,x0,str,ts,simStateCompliance]=mdlInitializeSizes
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates    = 0;
sizes.NumDiscStates    = 0;
sizes.NumOutputs       = 0;
sizes.NumInputs        = 1;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0  = [];
str = [];
ts  = [0 0];
simStateCompliance = 'UnknownSimState';

function sys=mdlOutputs(t,x,u)
if t>600
    if u>0.008798
        set_param('w02/Constant','Value','1')
    end
    if u>0.008798 && u<=0.01317
        set_param('w02/Transfer Fcn','Numerator','[1]')
        set_param('w02/Transfer Fcn','Denominator','[140 1]')
    end
    if u>0.01317 && u<=0.0167
        set_param('w02/Transfer Fcn','Numerator','[1]')
        set_param('w02/Transfer Fcn','Denominator','[170 1]')
    end
    if u>0.0167 && u<=0.02127
        set_param('w02/Transfer Fcn','Numerator','[1]')
        set_param('w02/Transfer Fcn','Denominator','[230 1]')
```

```
end
if u>0.02127 && u<=0.02997
    set_param('w02/Transfer Fcn','Numerator',[1])
    set_param('w02/Transfer Fcn','Denominator',[380 1])
end
if u>0.02997 && u<=0.03646
    set_param('w02/Transfer Fcn','Numerator',[1])
    set_param('w02/Transfer Fcn','Denominator',[550 1])
end
if u>0.03646
    set_param('w02/Transfer Fcn','Numerator',[1])
    set_param('w02/Transfer Fcn','Denominator',[1000 1])
end
else
end
sys=[];
```

Приложение Г
(обязательное)

Раздел 2
Описание ПИД-регулятора
Раздел 3
Описание S-функции в Simulink

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ01	Ван Лянь		15.05.2022

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин М.В.	к.т.н.		15.05.2022

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Т.В.	к.п.н.		15.05.2022

2 Description of the PID controller

PID control is by far the most common way of using feedback in natural and man-made systems. Based on a survey of over eleven thousand controllers in the refining, chemicals and pulp and paper industries, 97% of regulatory controllers utilize PID feedback. In engineering applications, the controllers appear in many different forms: as a stand-alone controller, as part of hierarchical, distributed control systems, or built into embedded components.

2.1 The Controller

The ideal version of the PID controller is given by the formula

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de(t)}{dt},$$

where u is the control signal and e is the control error ($e = r - y$). The reference value, r , is also called the setpoint. The control signal is thus a sum of three terms: a proportional term that is proportional to the error, an integral term that is proportional to the integral of the error, and a derivative term that is proportional to the derivative of the error. The controller parameters are proportional gain k_p , integral gain k_i and derivative gain k_d . The controller can also be parameterized as

$$u(t) = k_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right),$$

where T_i is the integral time constant and T_d the derivative time constant. The proportional part acts on the present value of the error, the integral represents an average of past errors and the derivative can be interpreted as a prediction of future errors based on linear extrapolation, as illustrated in Figure 2.1. Note that the control signal u is formed entirely from the error e , there is no feedforward term.

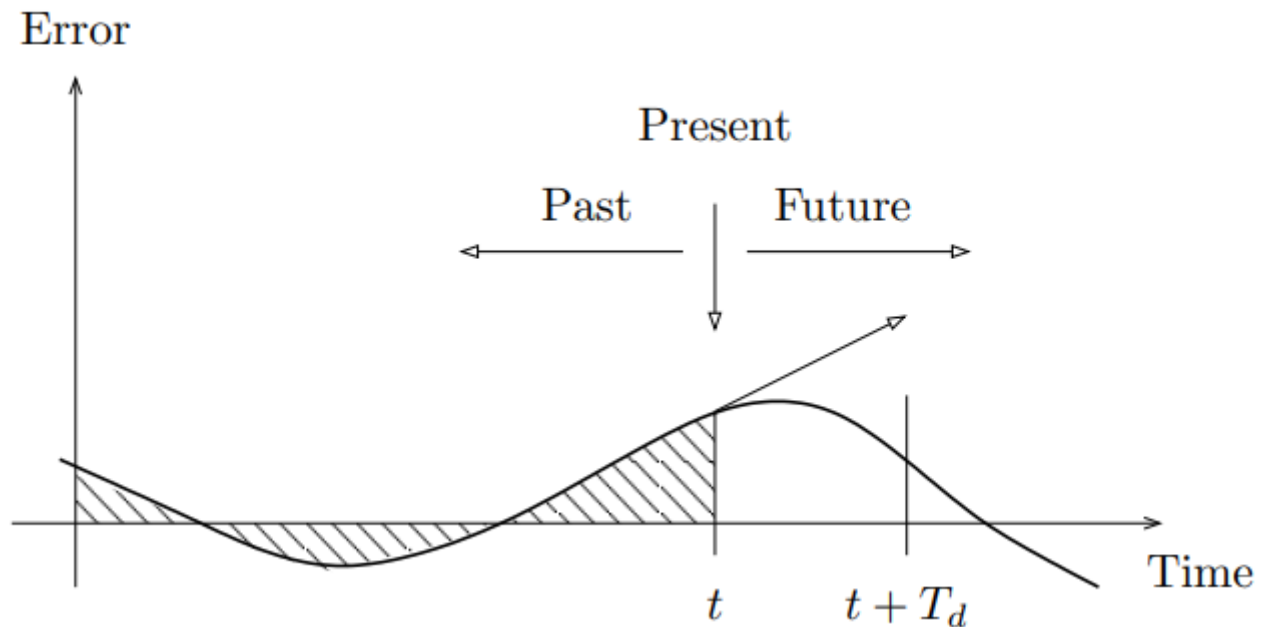


Figure 2.1 – A PID controller takes control action based on past, present and prediction of future control errors.

2.2 Methods for evaluating the quality of regulation in automatic control systems

The evaluating the quality of regulation of system is an evaluating of compliance of system to requirements imposed to her. Stability, that is the ability to attenuate transition processes, is a necessary, but not sufficient condition for practical usability of systems. Therefore, while researching automatic control systems, it is necessary to solve the problem of providing the required indicators for the quality of transition process, such as high-speed performance, variability and overshoot, which characterize the accuracy and smoothness of a process [3].

There are following methods for evaluating the quality of regulation [3]:

1. Direct methods for evaluating the quality.
2. Indirect methods for evaluating the quality.
 - a) root methods;
 - b) frequency methods;
 - c) integral criterion.

2.2.1 Direct methods for evaluating the quality

The indicators for regulation quality evaluation determined directly by the transitional characteristic of $h(t)$ are called direct indicators.

There are following direct indicators of quality [4]:

- transition process time $t_{\text{ин}}$;
- overshoot σ ;
- first maximum achievement time t_M ;
- transition process increases time t_H ;
- regulation error $e(t)$;
- extent of attenuation d ;
- system variability η .

Transition process time $t_{\text{ин}}$ is the minimum time after which the controlled value will remain close to the established value with certain accuracy. This quantity defines the operational speed of ACS [5].

The overshoot σ is the maximum deviation from the established value expressed in relative units or percent:

$$\sigma = \frac{A_{\max} - A_{\text{est}}}{A_{\text{est}}} * 100\%.$$

Overshoot value is used to estimate ACS stability margin. The overshoot of 10-20% is considered as a good indicator.

Transition process increase time t_H is the time from the beginning of transition process until the first intersection of the plot with the line of the established value.

The regulation error maximum is a criterion of accuracy

$$e_{\max} = \max|e(t)|.$$

The extent of attenuation is defined by the following formula:

$$d = 1 - \frac{A_3}{A_1},$$

where A_3 and A_1 are adjacent maximum deviations (amplitudes) of one sign. The extent of attenuation of oscillations is considered satisfactory if $d=0,75 \dots 0,95$.

The system variability η is defined by the number of transitions N of $y(t)$ value through the established value on an interval $t_{\text{ин}}$.

The variability and the extent of attenuation are stability margin indicators.

Graphic interpretation of direct indicators of quality is given in the figure 2.2.

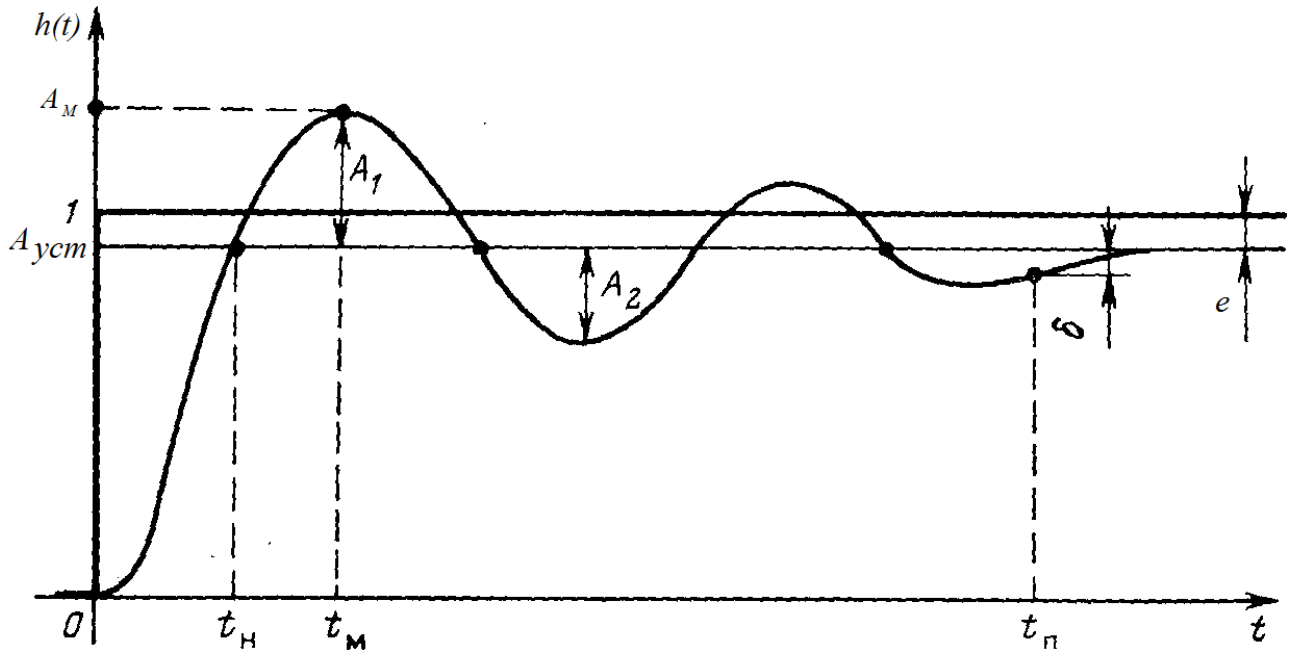


Figure 2.2 – Direct indicators of quality

2.2.2 Indirect methods for evaluating the quality

Root methods

As the roots of a transfer function unambiguously define the type of a transition process, they can be used for an assessment of a stability margin and operational speed.

The characteristic equation of a transfer function of the closed ACS is used to define the root indicators of quality. The plane of roots is characterized by several parameters:

- 3) η – a degree of stability;
- 4) m – variability.

The degree of stability η is equal to the distance from an imaginary axis to the next root or a couple of complex interfaced roots (figure 2.2):

$$\eta = \text{Re}(p_i), \text{Re}(p_i) < 0.$$

The variability m characterizes the variability of transition process and the quantity of overshoot (figure 2.3):

$$m = \operatorname{tg}(\varphi) = \frac{\operatorname{Im}(p_i)}{\operatorname{Re}(p_i)}.$$

The variability usually has a value of 1 - 2, but in some cases the value of 3 is allowed.

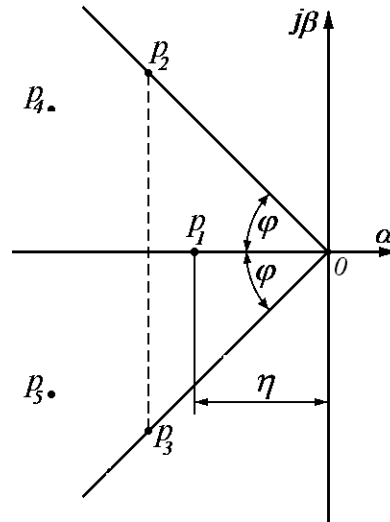


Figure 2.3 – Root indicators of quality

Frequency methods

Frequency criteria of quality are the criteria which don't consider the type of a transition process, and are based on some frequency properties of a system. Frequency criteria assess the margin of stability of a closed system.

There are following frequency indicators:

- variability M ;
- margin stability on amplitude A ;
- margin stability on phase φ .

The variability M is equal to the relation of the APF maximum $A_{\max}$ value of a closed system which takes place in case of a resonance frequency, to its starting value of $A(0)$ (a figure 2.4):

$$M = \frac{A_{\max}(\omega_p)}{A(0)}.$$

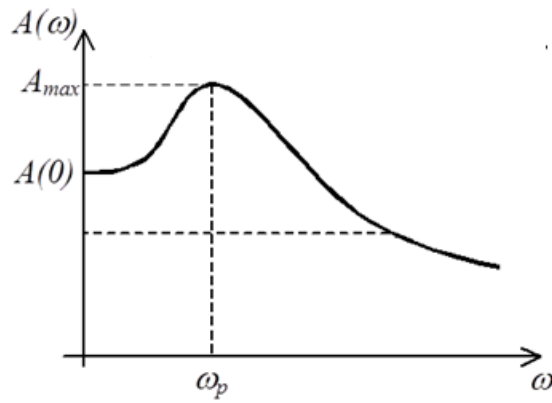


Figure 2.4 – APF of the closed system

The margin stability on amplitude and phase characterizes the proximity of a system to a limit of stability and are determined by the logarithmic frequency characteristics of an open ACS (figure 2.5). The further the system is from the limit of stability, the better it is.

In qualitative systems stability margins must be:

$$A = 6 \dots 20 \text{ dB}, \varphi = 30 \dots 60^\circ.$$

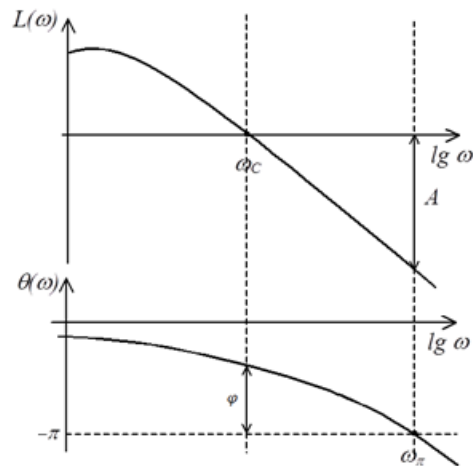


Figure 2.5 – LAPF of the opened ACS

Integral criterion

The integrated criteria estimate the generalized ACS properties, such as accuracy, stability margin, high-speed performance.

The purpose of using such criteria is receiving the general assessment of speed and a deviation of adjustable quantity from the established value. Linear and square integrated estimates are widely used.

Linear integrated assessment: $J_1 = \int_0^\infty e(t)dt$.

The less the J_1 is the quicker the transition process attenuates and the deviation fades, i.e. the quality of system is higher.

Square integrated assessment: $J_2 = \int_0^{\infty} e(t)^2 dt$.

The indicator J_2 becomes as the transitions process attenuates. However even the square assessment is not always reliable as it may show that strongly oscillatory process with big reregulation can be better than monotonous [6].

Thus, the choice of criteria for regulation quality depends on the system purpose. When creating the automatic control system, it is necessary to rely on several quality evaluation parameters. This work considers such parameters as transition process time, overshoot, stability margin on amplitude and phase and quadratic integral estimator. The linear integral assessment isn't used because we will apply this criterion only to the monotonic processes.

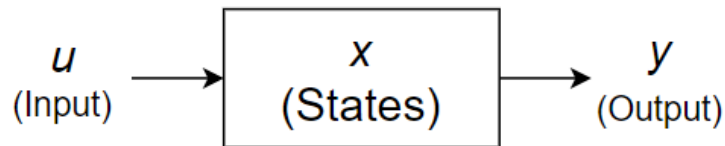
3 Description of the S-Function in Simulink

S-functions (system-functions) provide a powerful mechanism for extending the capabilities of the Simulink environment. An S-function is a computer language description of a Simulink block written in MATLAB, C, C++, or Fortran. C, C++, and Fortran S-functions are compiled as MEX files using the utility. As with other MEX files, S-functions are dynamically linked subroutines that the MATLAB execution engine can automatically load and execute. S-functions use a special calling syntax called the S-function API that enables you to interact with the Simulink engine. This interaction is very similar to the interaction that takes place between the engine and built-in Simulink blocks [7].

S-functions follow a general form and can accommodate continuous, discrete, and hybrid systems. By following a set of simple rules, you can implement an algorithm in an S-function and use the S-Function block to add it to a Simulink model.

Mathematics of Simulink Blocks

A Simulink block consists of a set of inputs, a set of states, a set of parameters, and a set of outputs, where the outputs are a function of the simulation time, the inputs, parameters, and the states [7].



The following equations express the mathematical relationships between the inputs, outputs, parameters, states, and simulation time.

$$y = f_o(t, x, u) \quad (\text{Outputs})$$

$$dx = f_d(t, x, u) \quad (\text{Derivatives})$$

$$x_{d_{k+1}} = f_u(t, x_c, x_{d_k}, u) \quad (\text{Update})$$

Where $x = [x_c; x_d]$.

Simulation Stages

Execution of a Simulink model proceeds in stages. In the Initialization phase, the Simulink engine incorporates library blocks into the model, propagates signal

widths, data types, and sample times, evaluates block parameters, determines block execution order, and allocates memory. The engine then enters a simulation loop, where each pass through the loop is referred to as a simulation step. During each simulation step, the engine executes each block in the model in the order determined during initialization. For each block, the engine invokes functions that compute the block states, derivatives, and outputs for the current sample time. The entire simulation loop then continues until the simulation is complete [7].

SFUNTmpl General MATLAB S-Function Template

With MATLAB S-functions, you can define your own ordinary differential equations (ODEs), discrete system equations, and/or just about any type of algorithm to be used within a Simulink block diagram.

The general form of an MATLAB S-function syntax is:

$[SYS, X0, STR, TS, SIMSTATECOMPLIANCE] = SFUNC(T, X, U, FLAG, P1, \dots, Pn)$

What is returned by SFUNC at a given point in time, T , depends on the value of the FLAG (Table 1), the current state vector, X , and the current input vector, U .

Table 1 – Description of FLAG

FLAG	RESULT	DESCRIPTION
0	[SIZES, X0, STR, TS]	Initialization, return system sizes in SYS, initial state in X0, state ordering strings in STR, and sample times in TS.
1	DX	Return continuous state derivatives in SYS.
2	DS	Update discrete states $SYS = X(n+1)$
3	Y	Return outputs in SYS.
4	TNEXT	Return next time hit for variable step sample time in SYS.
9	[]	Termination, perform any cleanup $SYS=[]$.