

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы			
Нечеткий регулятор для системы автоматического управления объектом второго порядка			
УДК: 004.896:681.515			
Студент			
Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т81	Ли Чжэньбэй		

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
Старший преподаватель ООД ШБИП	Авдеева И.И.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2022 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде.
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах).
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов.
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи.
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности.
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению.
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда.
ОПК(У)-2	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.
ОПК(У)-3	Способен использовать современные информационные технологии, технику, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности.
ОПК(У)-4	Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с автоматизацией производств, выборе на основе анализа вариантов оптимального прогнозирования последствий решения
ОПК(У)-5	Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью.

Код компетенции	Наименование компетенции
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством; участвовать в работах по расчету и проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования.
ПК(У)-2	Способен выбирать основные и вспомогательные материалы для изготовления изделий, способы реализации основных технологических процессов, аналитические и численные методы при разработке их математических моделей, методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий, стандартные методы их проектирования, прогрессивные методы эксплуатации изделий.
ПК(У)-3	Готов применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, средства автоматизации технологических процессов и производств.
ПК(У)-4	Способен участвовать в постановке целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определении приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, в разработке проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, в разработке проектов модернизации действующих производств, создании новых, в разработке средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации расчетов и проектирования.
ПК(У)-5	Способен участвовать в разработке (на основе действующих стандартов и другой нормативной документации) проектной и рабочей технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств, их эксплуатационному обслуживанию, управлению жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам.
ПК(У)-6	Способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа.
ПК(У)-7	Способен участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств и систем.

Код компетенции	Наименование компетенции
ПК(У)-8	Способен выполнять работы по автоматизации технологических процессов и производств, их обеспечению средствами автоматизации и управления, готовностью использовать современные методы и средства автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством.
ПК(У)-9	Способен определять номенклатуру параметров продукции и технологических процессов ее изготовления, подлежащих контролю и измерению, устанавливать оптимальные нормы точности продукции, измерений и достоверности контроля, разрабатывать локальные поверочные схемы и выполнять проверку и отладку систем и средств автоматизации технологических процессов, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, а также их ремонт и выбор; осваивать средства обеспечения автоматизации и управления.
ПК(У)-10	Способен проводить оценку уровня брака продукции, анализировать причины его появления, разрабатывать мероприятия по его предупреждению и устранению, по совершенствованию продукции, технологических процессов, средств автоматизации и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, систем экологического менеджмента предприятия, по сертификации продукции, процессов, средств автоматизации и управления.
ПК(У)-11	Способен участвовать: в разработке планов, программ, методик, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств, управлением процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, инструкций по эксплуатации оборудования, средств и систем автоматизации, управления и сертификации и другой текстовой документации, входящей в конструкторскую и технологическую документацию, в работах по экспертизе технической документации, надзору и контролю за состоянием технологических процессов, систем, средств автоматизации и управления, оборудования, выявлению их резервов, определению причин недостатков и возникающих неисправностей при эксплуатации, принятию мер по их устранению и повышению эффективности использования.
ПК(У)-18	Способен аккумулировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством.
ПК(У)-19	Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизированного проектирования, по разработке алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и управления процессами.
ПК(У)-20	Способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций.

Код компетенции	Наименование компетенции
ПК(У)-21	Способен составлять научные отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции и ее качеством.
ПК(У)-22	Способен участвовать: в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно-методической литературы, а также собственных результатов исследований; в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам профилей направления; способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения.

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

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

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

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
158Т81	Ли Чжэньбэй

Тема работы:

Нечеткий регулятор для системы автоматического управления объектом второго порядка	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 45-50/с от 14.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Псевдолинейное корректирующее устройство с фазовым опережением. ПИД-регулятор. Промышленный контроллер Siemens Simatic S7-400. Лабораторный стенд. Программные пакеты STEP 7, Matlab, MathCad.</p>
<p>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></p>	<p>Анализ существующих корректирующих устройств систем автоматического регулирования и принципов построения нечетких регуляторов. Исследование свойств псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением и систем управления с данным корректирующим устройством в ППП MatLab и MathCad. Программная реализация корректирующего устройства на контроллере SIMATIC S7-400.</p>

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Вставим позже.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, к.э.н., Былкова Т. В.
Социальная ответственность	Старший преподаватель Авдеева И.И.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Нет	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.02.2022
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин М.В.	к.т.н.		14.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т81	Ли Чжэньбэй		14.02.2022

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 – 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»
 Уровень образования – Бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения: Весенний семестр 2021 /2022 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2022
--	------------

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

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин М. В.	к.т.н.		14.02.2022

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Е.И.	к.т.н.		14.02.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
158Т81		Ли Чжэньбэй	
Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР:

Нечеткий регулятор для системы автоматического управления объектом второго порядка	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение	<p>Объектом исследования является нечеткий регулятор. Область применения: внедрение метода настройки регулятора в промышленных масштабах. Работа проводится в 113А аудитории 10 корпуса ТПУ. Для проведения работы выделено рабочее место, включающее рабочий стол размером 150*80 см, высотой 87 см, а также персональный компьютер с установленным на нем программным обеспечением</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения	<p>1.ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя 2.ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора 3.ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего 4.ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. 5.ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности 6.СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение 7.Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) 8.ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» 9.ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты; 10.ГОСТ 12.1.012-2004. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность.</p>
2. Производственная безопасность при разработке проектного решения	<p>Вредные факторы: – отклонение показателей микроклимата; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенный уровень шума; – повышенный уровень вибрации; – монотонность труда, вызывающая монотонию; – длительное сосредоточенное наблюдение.</p> <p>Опасные факторы: – Опасность поражения электрическим током. статическое электричество; короткое замыкание; Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: – осветительные приборы; – устройства нормализации воздушной среды; – глушители шума; – заземляющие устройства;</p>

	<ul style="list-style-type: none"> – виброизолирующие, виброгасящие и вибропоглощающие; – устройства выравнивания потенциалов и понижения напряжения;
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения	<p>Воздействие на селитебную зону с учетом предусматриваемых мер по уменьшению неблагоприятного влияния их на среду обитания и здоровье человека в соответствии с санитарной классификацией промышленных объектов и производств устанавливаются следующие ориентировочные размеры санитарно-защитных зон: промышленные объекты и производства пятого класса - 50 м.</p> <p>Воздействие на атмосферу не происходит.</p> <p>Воздействие на гидросферу – продукты жизнедеятельности персонала</p> <p>воздействие на литосферу могут быть бытовые отходы (электронные устройства), утилизация люминесцентных ламп, макулатуры.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – природные катастрофы (наводнения, цунами, ураган и т.д.); – геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.); – техногенные аварии (выброс химически опасных веществ, пожар при неправильном обращении с электрооборудованием). <p>Наиболее типичная ЧС: пожар вследствие короткого замыкания.</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
16.02.2002	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Авдеева Ирина Ивановна			16.02.2002

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т81	Ли Чжэньбэй		16.02.2002

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

Студенту:

Группа		ФИО		
158Т81		Ли Чжэньбэй		
Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств	

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней рыночной стоимости. Оклады в соответствии с окладами сотрудников организации
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	30% районный коэффициент
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления в социальные внебюджетные фонды 30%;
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Оценка коммерческого инновационного потенциала НИИ</i>	Представить: 1.Анализ конкурентных технических решений. 2.SWOT-анализ
2. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Разработать план научно-исследовательских работ и рассчитать затраты.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Определить интегральный показатель эффективности научного исследования
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> 2. <i>Матрица SWOT</i> 3. <i>График проведения и бюджет НИ</i> 4. <i>Оценка ресурсной, финансовой эффективности НИ</i>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН, ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	канд.экон.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т81	Ли Чжэньбэй		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 91 с., 47 рис., 22 табл., 28 источника, 2 приложения.

Ключевые слова: псевдолинейное корректирующее устройство. Ошибка регулирования. ПИД-регулятор. Амплитудная частотная характеристика. Фазовая частотная характеристика. Переходный процесс. Нестационарный объект управления. Программный пакет Matlab. Промышленный контроллер SIMATIC S7-400.

Объектом исследования является нечеткий регулятор, реализованный на базе ПИД-регулятора и псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением. Система автоматического регулирования (САР) с применением данного регулятора.

Цель работы - Разработка и программная реализация на промышленном контроллере нечеткого регулятора для управления объектом второго порядка. Программная реализация псевдолинейного регулятора на контроллере SIMATIC S7-400.

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы выполнен обзор нечетких псевдолинейных корректирующих устройств. Исследование свойств корректирующих устройств осуществлялось с применением программного пакета Matlab.

В результате исследования разработана модель САР, в которой изменение постоянной времени псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением осуществляется на основе нечеткой логики.

Обозначения и сокращения

В данной работе используются следующие обозначения и сокращения:

ПЛК – программируемый логический контроллер.

ПО – программное обеспечение.

ППП – пакет прикладных программ.

ПО – программное обеспечение.

КУ – корректирующее устройство.

ОУ – объект управления.

ПИД-регулятор – пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор.

ПКУ – псевдолинейные корректирующие устройства.

САР – система автоматического регулирования.

САУ – система автоматического управления.

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика.

ФЧХ – фазо-частотная характеристика.

Оглавление

Введение-----	16
1 Понятие нечеткого множества и его основные свойства-----	17
2 СТРУКТУРА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА-----	22
3 ПСЕВДОЛИНЕЙНЫЕ КОРРЕКТИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА-----	28
3.1 Исследование свойств корректирующего устройства с фазовым опережением-----	30
4 Разработка и исследование в среде Matlab свойств системы управления с нечетким регулятором-----	35
4.1 Настройка параметров базового ПИД-регулятора-----	35
4.2 Исследование свойств корректирующего устройства с фазовым опережением и САР с применением КУ-----	37
4.3 Разработка системы с нечетким ПИД-регулятором-----	40
4.4 Разработка корректирующего устройства с фазовым опережением с управлением на нечеткой логике-----	46
5 СТРУКТУРА ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА-----	53
5.1 Назначение, состав и технические характеристики контроллера SIMATIC S7-400-----	53
5.2 Программная реализация нечеткого псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением в пакете STEP7-----	55
6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ-----	59
6.1 Оценка конкурентоспособности технических решений-----	59
6.1.1 Анализ конкурентных технических решений-----	59
6.1.2 SWOT-АНАЛИЗ-----	60
6.2 Планирование научно-исследовательских работ-----	62
6.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования-----	73
7 Социальная ответственность-----	73
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности-----	74

7.2 Производственная безопасность-----	74
7.2.1 Отклонение показателей микроклимата-----	75
7.2.2 Превышение уровня шума-----	76
7.2.3 Повышенный уровень вибрации-----	76
7.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны-----	77
7.2.5 Монотонность труда, вызывающая монотонию-----	78
7.2.6 Длительное сосредоточенное наблюдение -----	78
7.2.7 Электробезопасность-----	79
7.3 Экологическая безопасность-----	81
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях -----	82
Заключение -----	86
Список использованных источников-----	87
Приложение А-----	90
Приложение В-----	91

Введение

В настоящее время большинство САР строятся на базе ПИД-регуляторов. Данный регулятор хорошо справляется со своими функциями при статических параметрах объекта управления САР. Однако существует ряд задач, где необходимо применение систем с динамическими параметрами, то есть изменяющимися с течением времени. В подобных случаях можно использовать ПИД-регуляторы, параметры которых подстраиваются в процессе работы. Для настройки параметров такого регулятора требуется или идентификация объекта управления, или использование методов, основанных на вычислениях по кривой переходного процесса. Эти подходы требуют значительного времени для настройки, что усложняет реализацию данных систем.

Использование корректоров позволяет улучшить качество этих систем, способствует изменению соответствующих характеристик в соответствии с требованиями системы. Включение корректоров в систему автоматической регулировки позволяет повысить точность, обеспечивать необходимые запасы устойчивости, а также повысить качество процесса перехода вообще. Различные группы корректоров: линейная, нелинейная, псевдолинейная. При этом использование псевдолинейных позволяет избегать зависимости амплитуды и фазовой частоты, что существенно повышает устойчивость системы. Однако при неопределенности, неполноте знаний о объекте и необходимости разработки систем автоматического контроля САУ на сложные технологические объекты формальный классический метод теории контроля может быть неэффективен. Таким образом, сейчас все больше распространяется нечеткий регулятор и система управления нечетким логиком.

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена исследованию и программной реализации нечеткого регулятора на основе псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением.

1. Понятие нечеткого множества и его основные свойства

Под понятием *множество* подразумевают набор элементов, которые обладают некоторыми общими свойствами. При этом каждый из элементов заведомо или принадлежит данному множеству, или же не принадлежит. Но в большинстве случаев, основываясь на практике прикладных исследований, данный принцип не отвечает процессам, которые протекают в реальных системах [27].

Понятие нечеткого множества базируется на предположении, что к данному множеству любой элемент принадлежит только в некоторой степени. Поэтому для нечеткого множества определение степени принадлежности числом из интервала $[0,1]$ и есть главный способ математического описания, причем крайние значения этого интервала («0» и «1») обозначают «не принадлежит» и «принадлежит» [28].

Определение 1.1. Пусть E – универсальное множество, которому принадлежит обладающий некоторым свойством R элемент x . A – обычное подмножество, которое состоит из элементов x , определяется как множество пар по формуле:

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x)}{x} \right\} \quad (1.1)$$

где $\mu_A(x)$ - *характеристическая функция*, принимает значение в диапазоне $(0;1]$, если x по некоторой степени выполняет свойство R , в противном случае принимает значение 0.

Функция принадлежности показывает уровень принадлежности элемента к подмножеству A .

Определим основные характеристики нечетких подмножеств. Для этого установим A – как нечеткое множество с элементами универсального множества E и множеством принадлежностей M , где. $M = \{1, 0\}$.

Определение 1.2. Нечеткое множество A является *нормальным*, если его высота, определяемая величиной $\sup_{x \in E} \mu_A(x)$, равна единице, то есть верхняя граница хоть одной его функции принадлежности равна 1 ($\sup_{x \in E} \mu_A(x) = 1$).

Нечеткое множество называют *субнормальным*, если $\sup_{x \in E} \mu_A(x) < 1$.

Определение 1.3. Нечеткое множество называется *пустым*, если $\forall x \in E, \mu_A(x) = 0$. Непустое субнормальное множество можно нормализовать по формуле:

$$\mu_A(x) = \frac{\mu_A(x)}{\sup_{x \in E} \mu_A(x)} \quad (1.2)$$

Определение 1.4. Нечеткое множество называется *униmodalным*, если хотя бы для одного x справедливо равенство: $\mu_A(x) = 1$.

Определение 1.5. Подмножество с функциями принадлежности, которые имеют значения $\mu_A(x) > 0$, называется *носителем* нечеткого подмножества A , то есть $A = \{x/x \in E, \mu_A(x) > 0\}$.

Определение 1.6. Элементы $x \in E$, которым соответствуют функции принадлежности $\mu_A(x) = 0,5$, называются *точками перехода* множества A .

Определение 1.7. Определим A и B как нечеткие множества на унифицированном множестве E . Утверждают, что A содержит B , если $\forall x \in E, \mu_A(x) \geq \mu_B(x)$. Эта операцию называют *операцией включения* и обозначают как $A \subset B$.

Определение 1.8. Определим A и B как нечеткие множества на унифицированном множестве E . Утверждают, что A равно B , если $\forall x \in E, \mu_A(x) = \mu_B(x)$. Эту операцию называют *равенством* и обозначают как $A=B$.

Определение 1.9. Определим A и B как нечеткие множества на унифицированном множестве E , а $M = [0,1]$. A и B дополняют друг друга, если $\forall x \in E, \mu_A(x) = 1 - \mu_B(x)$. Эту операцию называют *дополнением* и обозначают как $\bar{A} = B$ или $B = \bar{A}$. Ясно, что $\bar{\bar{A}} = A$ (дополнение определено для $M = [0,1]$, но его можно определить для любого упорядоченного M).

Определение 1.10. Пересечением нечетких множеств A и B называют наибольшее нечеткое подмножество, содержащееся одновременно и в A , и в B , с функцией принадлежности: $\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$. Обозначают как $A \cap B$.

Определение 1.12. Разностью нечетких множеств A и B называют

нечеткое множество $A \Leftrightarrow B = A \cap \bar{B}$ с функцией принадлежности: $\mu_{A \Leftrightarrow B}(x) = \mu_{A \cap \bar{B}} = \min(\mu_A(x), 1 - \mu_B(x))$.

Определение 1.13. Дизъюнктивной суммой нечетких множеств A и B называют нечеткое множество $A \oplus B = (A \Leftrightarrow B) \cup (B \Leftrightarrow A) = (A \cap \bar{B}) \cup (B \cap \bar{A})$ с функцией принадлежности:

коммутативность: $A \cap B = B \cap A$ и $A \cup B = B \cup A$;

ассоциативность: $(A \cap B) \cap C = (B \cap A) \cap C$ и $(A \cup B) \cup C = (B \cup A) \cup C$;

идемпотентность: $A \cap A = A$ и $B \cap B = B$;

дистрибутивность: $A \cap (B \cup C) = (B \cap A) \cup (C \cap A)$;

$A \cup \emptyset = A$ и $A \cap \emptyset = \emptyset$ – где \emptyset – пустое множество, то есть $\mu_{\emptyset}(x) = 0 \forall x \in E$;

$A \cap \emptyset = \emptyset$;

$A \cap E = A$, где E – универсальное множество;

$A \cup E = E$

В отличие от четких множеств, для нечетких множеств в общем случае: $A \cap \bar{A} \neq \emptyset$

Замечание: Указанные выше операции над нечеткими множествами базируются на использовании \max и \min операций. В теории нечетких множеств рассматриваются вопросы указания обобщенных и параметризованных операторов пересечения («и»), объединения («или») и дополнения («не»). Одним из подходов к операторам пересечения, дополнения и объединения является класс треугольных норм и конорм, с которым определяются эти операторы. Треугольной нормой (t-нормой) называют двуместную действительную функцию $T : [0,1] * [0,1] \rightarrow [0,1]$ которая удовлетворяет следующим условиям [25]:

ограниченность: $T(0,0) = 0$; $T(\mu_A, 1) = \mu_A$; $T(1, \mu_A) = \mu_A$;

монотонность: $T(\mu_A, \mu_B) \leq T(\mu_C, \mu_D)$, если $\mu_A \leq \mu_C, \mu_B \leq \mu_D$;

коммутативность: $T(\mu_A, \mu_B) = T(\mu_B, \mu_A)$

ассоциативность: $T(\mu_A, T(\mu_B, \mu_C)) = T(T(\mu_A, \mu_B), \mu_C)$

Треугольной конормой (t-конормой) называют двуместную

действительную функцию $S: [0,1] * [0,1] \rightarrow [0,1]$, которая удовлетворяет следующим условиям:

ограниченность: $S(1,1) = 1; T(\mu_A, 0) = \mu_A; T(0, \mu_A) = \mu_A;$

монотонность: $S(\mu_A, \mu_B) \leq S(\mu_C, \mu_D)$, если $\mu_A \geq \mu_C, \mu_B \geq \mu_D;$

коммутативность: $S(\mu_A, \mu_B) = S(\mu_B, \mu_A)$

ассоциативность: $S(\mu_A, S(\mu_B, \mu_C)) = S(S(\mu_A, \mu_B), \mu_C)$

Далее необходимо рассмотреть алгебраические операции над нечеткими множествами, а также их свойств.

Определение 1.14. Алгебраическое произведение нечетких множеств A и B обозначается как AB и определяется выражением: $\forall x \in E, \mu_{A \times B}(x) = \mu_A(x) \times \mu_B(x)$.

Определение 1.15. Алгебраическая сумма нечетких множеств A и B обозначается как $A+B$ и определяется выражением: $\forall x \in E, \mu_{A+B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) \Leftrightarrow \mu_A(x) \times \mu_B(x)$.

Для операций произведения и суммы должны выполняться следующие свойства:

Свойство коммутативности.

$$A \times B = B \times A \text{ и } A + B = B + A.$$

Свойство ассоциативности.

$$(A \times B) \times C = A \times (B \times C) \text{ и } (A + B) + C = A + (B + C).$$

$$A \times \otimes = \otimes, \quad A + \otimes = A, \quad A \times E = A, \quad A + E = E.$$

Теоремы де Моргана:

$$\overline{A \times B} = \bar{A} + \bar{B} \text{ и } \overline{A + B} = \bar{A} \times \bar{B}.$$

Не выполняются:

Свойство идемпотентности.

$$A \times A = A \text{ и } A + A = A.$$

Свойство дистрибутивности.

$$A \times (B + C) = (A \times B) + (A \times C) \text{ и } A + (B \times C) = (A + B) \times (A + C).$$

$$A \times \bar{A} = \otimes, \quad A + \bar{A} = E.$$

Замечание: при одновременном использовании операций, таких как

объединение, пересечение, произведение и сумма должны выполняться следующие свойства:

$$A \times (B \cup C) = (A \times B) \cup (A \times C).$$

$$A \times (B \cap C) = (A \times B) \cap (A \times C).$$

$$A + (B \cup C) = (A + B) \cup (A + C).$$

$$A + (B \cap C) = (A + B) \cap (A + C).$$

С помощью операции алгебраического произведения можно определить операцию возведения в степень α для нечеткого множества A , где α - принимает положительное значение. Нечеткое множество A^α можно определить функцией принадлежности $\mu_{A^\alpha} = \mu_A^\alpha(x)$. Имеются следующие виды возведения в степень [25]:

$CON(A) = A^2$ - операция концентрирования или возведения в квадрат (уплотнения);

$DIL(A) = A^{0,5}$ - операция растяжения. Эти операции применяются лингвистическими неопределенностями (рис. 1.1.)

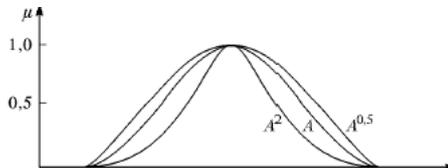


Рисунок. 1.1 – Иллюстрации к понятию операций концентрирования (уплотнения) и растяжения

СТРУКТУРА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

Структура нечеткого регулятора имеет вид, представленный на рис. 2.1.

Для создания нечеткого регулятора требуется создать базу правил в виде:

IF <ввод> THEN <вывод>

и базу данных с функциями принадлежности для ввода $\mu(e)$ и выводов $\mu(u)$ то есть выявить все нужные лингвистические правила с лингвистическими термами и переменными.

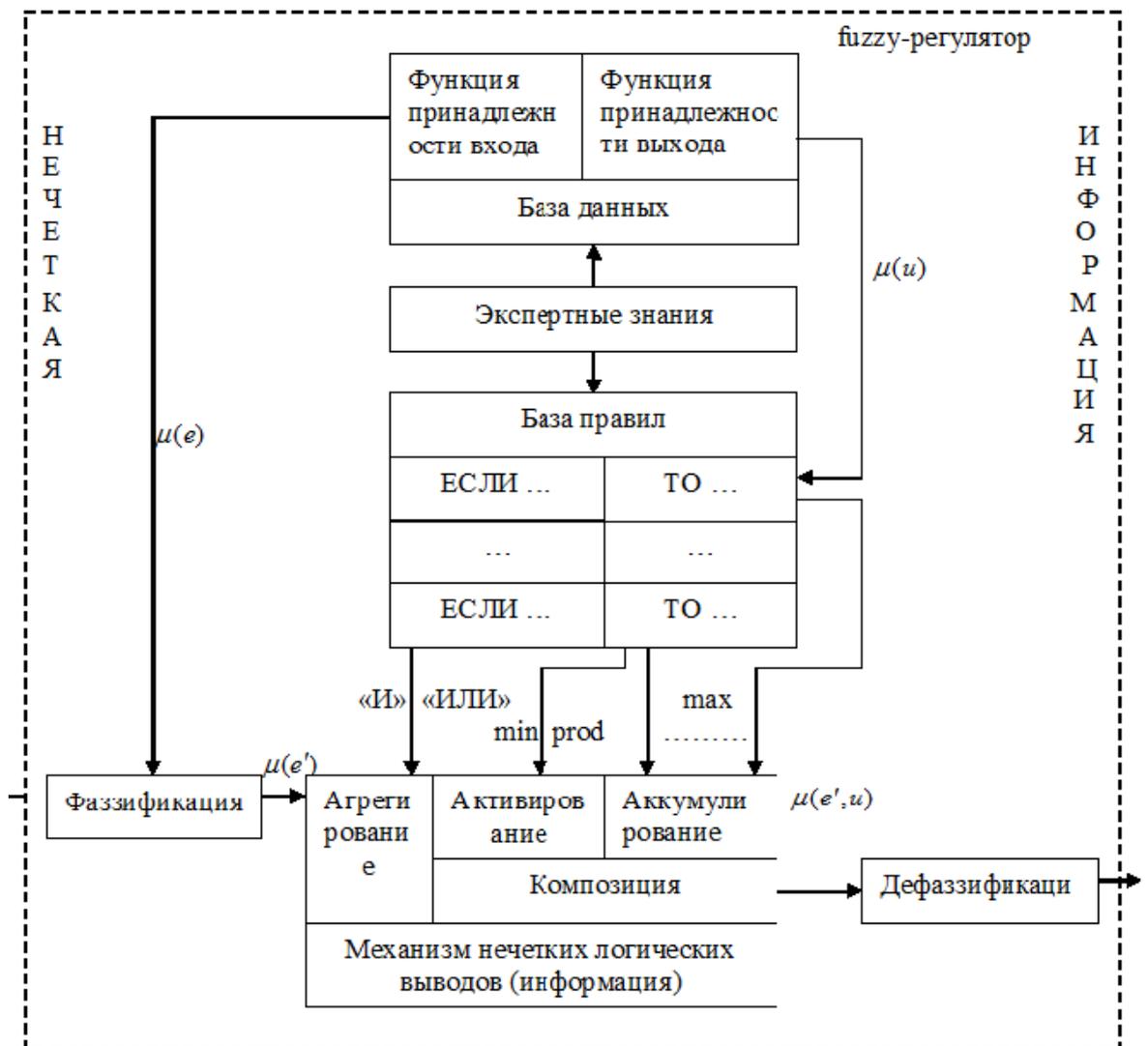


Рисунок 2.1 – Обобщенная структура нечеткого регулятора

Фаззификация (Fuzzification). Целью данного этапа является формирование соответствия между конкретной отдельной входной переменной системы и значением функции принадлежности принадлежащего ей терма

входной лингвистической переменной. После завершения данного этапа для всех входных переменных должны быть использованы конкретные значения функций принадлежности по каждому из лингвистических термов, использующиеся в доусловиях базы правил систем [28].

Обычно процедура фаззификации проходит следующим образом. Для начала вычисляются известные конкретные значения всех входных переменных систем, т. е. множество значений $V' = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$. То есть каждый $a_i \in X_i$, где X_i — универсум лингвистической переменной β_i .

Далее рассматриваем до условия вида “ β_i есть α' ” правил, где α' — терм с известной функцией принадлежности $\mu(x)$. При этом значение a_i используется в качестве аргумента $\mu(x)$, тем самым находится количественное значение $b'i = \mu(a_i)$. Это значение и является результатом фаззификации под условия “ β_i есть α' ”.

Этап фаззификации считается законченным, когда будут найдены все значения $b'i = \mu(a_i)$, для каждого из под условий всех правил, входящих в рассматриваемую базу правил системы нечеткого вывода. Это множество значений обозначается через $B = \{b'i\}$. При этом если некоторый терм α' лингвистической переменной β_i не присутствует ни в одном из нечетких высказываний, то принадлежащее ему значение функции не находится в этапе фаззификации [28].

Агрегирование — это процедура определения степени истинности условий по каждому из правил системы нечеткого вывода.

Данная процедура формируется следующим образом. До начала этого этапа предполагаются известными значения истинности всех подусловий системы нечеткого вывода, т. е. множество значений $B = \{b'i\}$ [28].

Далее рассматривается каждое из условий правил системы нечеткого вывода. Если условие правила представляет собой нечеткое высказывание вида:

$$\text{ПРАВИЛО } \langle \# \rangle : \text{ЕСЛИ } \beta_1 \text{ есть } \alpha \text{ " (2.1)}$$

или вида:

$$\text{ПРАВИЛО } \langle \# \rangle : \text{ЕСЛИ } \beta_1 \text{ есть } \forall \alpha \text{ " ; (2.2)}$$

где ∇ - модификатор, соответствующий словам, как: “ОЧЕНЬ”, “БОЛЕЕ ИЛИ МЕНЕЕ”, “МНОГО БОЛЬШЕ” и другим, то степень его истинности равна соответствующему значению b^i .

Если же условие состоит из нескольких подусловий вида:

$$\text{ПРАВИЛО } \langle \# \rangle : \text{ЕСЛИ } “\beta_1 \text{ есть } \alpha'” \text{ И } “\beta_2 \text{ есть } \alpha” \quad (2.3)$$

или вида:

$$\text{ПРАВИЛО } \langle \# \rangle : \text{ЕСЛИ } “\beta_1 \text{ есть } \alpha'” \text{ ИЛИ } “\beta_2 \text{ есть } \alpha” ; \quad (2.4)$$

Причем лингвистические переменные в подусловиях попарно не равны друг другу, то определяется степень истинности сложного высказывания на основе известных значений истинности подусловий. Тем самым находятся количественные значения истинности всех условий правил системы нечеткого вывода.

Этап агрегирования считается законченным, когда будут найдены все значения b^k для каждого из правил R_k , входящих в рассматриваемую базу правил P системы нечеткого вывода. Это множество значений обозначим через $B = \{b^1, b^2, \dots, b^n\}$.

Активизация в системах нечеткого вывода это процесс нахождения степени истинности каждого из заключений правил. Активизация во многом схожа с композицией нечетких отношений, но не равна ей. Так как в системах нечеткого вывода применяются лингвистические переменные. В действительности при создании базы правил системы нечеткого вывода назначаются весовые коэффициенты F_i для каждого правила (по умолчанию предполагается, если весовой коэффициент не задан действительно, то его значение равно единице [25]).

Формально процедура активизации выполняется следующим образом. До начала этого этапа предполагаются известными значения истинности всех условий системы нечеткого вывода, т. е. множество значений $B = \{b^1, b^2, \dots, b^n\}$ и значения весовых коэффициентов F_i для любого правила. Далее рассматривается каждое из заключений правил системы нечеткого вывода. Если заключение правила выглядит в виде формы:

$$THEN \text{ " } \beta_2 \text{ есть } \nu \text{ " } \quad (2.5)$$

или формы:

$$THEN \text{ " } \beta_2 \text{ есть } \alpha \nu \text{ " , } \quad (2.6)$$

то степень истинности тождественна алгебраическому произведению значений $b''i$ и весового коэффициента Fi .

Если же заключение представляет собой несколько подзаключений формы:

$$RULE \langle \# \rangle : THEN \text{ " } \beta_2 \text{ есть } \alpha \text{ " AND " } \beta_3 \text{ есть } \nu \text{ " } \quad (2.7)$$

или вида:

$$RULE \langle \# \rangle : THEN \text{ " } \beta_2 \text{ есть } \alpha \text{ " OR " } \beta_2 \text{ есть } \nu \text{ " , } \quad (2.8)$$

причем лингвистические переменные в подзаключениях попарно не равны друг другу, то степень истинности каждого из подзаключений равна алгебраическому произведению соответствующего значения $b''i$ на весовой коэффициент Fi . В таком случае, вычисляются все значения sk степеней истинности подзаключений для каждого из правил Rk , входящих в данную базу правил P системы нечеткого вывода. Такое множество значений обозначается с помощью $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$, где q — общее количество подзаключений в базе правил.

После нахождения множества $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$ определяются функции принадлежности каждого из подзаключений для рассматриваемых выходных лингвистических переменных. Для этой цели можно использовать один из методов, являющихся модификацией того или иного метода нечеткой композиции:

$$min - \text{ активизация: } \mu'(y) = \min\{c_i, \mu(y)\}; \quad (2.9)$$

$$prod - \text{ активизация: } \mu'(y) = c_i * \mu(y); \quad (2.10)$$

$$average - \text{ активизация: } \mu'(y) = 0.5 * (c_i + \mu(y)); \quad (2.11)$$

где $\mu'(y)$ — функция принадлежности терма, который является значением некоторой выходной переменной ω_j заданной на универсуме Y .

Данный этап активизации считается готовым, когда для каждой из выходных лингвистических переменных, которые входят в отдельные

подзаклЮчения правил нечетких продукций, будут выявлены функции принадлежности нечетких множеств их значений, так как совокупность нечетких множеств: C_1, C_2, \dots, C_q , где q —общее количество подзаклЮчений в базе правил системы нечеткого вывода [25].

Аккумуляция в системах нечеткого эта процедура или процесс выявления функции принадлежности для каждой из выходных лингвистических переменных множества $W = \{ \omega_1, \omega_1, \dots \omega_s \}$.

Суть аккумуляции в том, чтобы объединить или аккумулятировать все степени истинности заключений (подзаклЮчений) для нахождения функции принадлежности каждой из выходных переменных. Причина необходимости формирования данного этапа заключается в том, что подзаклЮчения, которые относятся к одной и той же выходной лингвистической переменной, принадлежат разным правилам системы нечеткого вывода.

Обычно процесс аккумуляции совершается следующим образом. До старта данного этапа формируются известными значения истинности каждой подзаклЮчений для каждого из правил R_k , входящих в рассматриваемую базу правил P системы нечеткого вывода, в виде совокупности нечетких множеств: C_1, C_2, \dots, C_q , где q — общее количество подзаклЮчений в базе правил. Далее следует, что последовательно обрабатывается каждая из выходных лингвистических переменных $\omega_j \in W$ и относящиеся к ней нечеткие множества: $C_{1j}, C_{2j}, \dots, C_{qj}$.

Процесс аккумуляции считается выполненным, когда для каждой из выходных лингвистических переменных будут выявлены финальные функции принадлежности нечетких множеств их значений, т. е. совокупность нечетких множеств: C'_1, C'_2, \dots, C'_s , где s — общее количество выходных лингвистических переменных в базе правил системы нечеткого вывода [25].

Дефаззификация в системах нечеткого вывода эта процедура или процесс выявления обычного (не нечеткого) значения для каждой из выходных лингвистических переменных множества $W = \{ \omega_1, \omega_1, \dots \omega_s \}$.

Суть дефаззификации в том, чтобы, использовать результаты

аккумуляции всех выходных лингвистических переменных, собрать обычное количественное значение (crisp value) каждой из выходных переменных, которое может быть использовано специальными приборами, внешними по отношению к системе нечеткого вывода.

Обычно процесс дефаззификации происходит следующим образом. До старта данной процедуры вычисляются известные функции принадлежности всех выходных лингвистических переменных в форме нечетких множеств: C^1, C^2, \dots, C^s , где s — общее количество выходных лингвистических переменных в базе правил системы нечеткого вывода. Далее следует, что последовательно рассматривается каждая из выходных лингвистических переменных W и относящиеся к ней нечеткое множество C^j . Результат дефаззификации для выходной лингвистической переменной ω_j определяется в виде количественного значения $u_j \in R$, получаемого по одному из способов дефаззификации [25].

3 ПСЕВДОЛИНЕЙНЫЕ КОРРЕКТИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Под улучшением качества процедуры регулирования, кроме как повышения точности в типовых режимах, понимается изменение динамических свойств системы регулирования для получения необходимого запаса устойчивости и быстродействия. В этом вопросе главное значение имеет обеспечение запаса устойчивости.

При решении проблемы повышения запаса устойчивости любой системы регулирования, нужно попытаться рациональным способом изменить ее параметры (коэффициенты передачи отдельных звеньев, постоянные времени и т.п.) так, чтобы удовлетворить требованиям качества регулирования, которые определяются критериями качества. При невозможности решить эту проблему в рамках имеющейся системы приходится идти на изменение (коррекцию) ее структуры [1].

Под коррекцией систем автоматического управления (САУ) понимается изменение их динамических свойств (характеристик) с целью обеспечения требуемого запаса устойчивости, повышения динамической точности и показателей качества переходного процесса. Коррекция осуществляется включением в систему дополнительных элементов – корректирующих устройств, которые должны изменить динамику всей системы в нужном направлении. К корректирующим устройствам относятся, в частности, корректирующие звенья, представляющие собой динамические звенья с определенными передаточными функциями [1].

Основная задача корректирующих устройств состоит в улучшении точности системы и качества переходных процессов. Однако наряду с этим путем введения корректирующих устройств можно решать и более общую задачу – сделать систему устойчивой, если она была без них неустойчивой, а затем добиться и желаемого качества процесса регулирования [3].

В тех случаях, когда корректирующие звенья используются именно для получения устойчивости системы регулирования или для повышения ее запаса устойчивости, они называются иногда демпфирующими или

стабилизирующими звеньями. При этом имеется в виду, что звенья демпфируют колебания, которые возникают в системе регулирования. Термин «корректирующие звенья» является более широким и используется для звеньев, которые вводятся в систему для изменения статических и динамических свойств с различными целями [1].

Все корректирующие устройства, применяемые в системах автоматического управления, можно разделить на линейные и нелинейные.

Среди нелинейных корректирующих устройств можно выделить класс таких устройств, эквивалентные амплитудно-фазовые характеристики которых не зависят от амплитуды входного сигнала и являются только функциями частоты. У этих устройств отсутствует жесткая связь между амплитудой и фазовой характеристиками, как это имеет место у линейных корректирующих устройств. На этом основании нелинейные корректирующие устройства данного класса можно рассматривать как псевдолинейные корректирующие устройства (ПКУ). Возможность формирования амплитудной и фазовой характеристик псевдолинейных корректирующих устройств независимо друг от друга открывает широкие возможности изменения частотных характеристик САУ в желаемом направлении.

При решении задачи стабилизации замкнутых систем управления для создания необходимых запасов устойчивости требуется не только избежать охвата критической точки $(-1, j0)$ годографом амплитудно-фазовой частотной характеристики разомкнутой системы, но и обеспечить его необходимое удаление от этой точки.

Можно утверждать, что наиболее желательными корректирующими устройствами были бы такие, частотные характеристики которых имеют один из трех видов, представленных на рисунке 3.1 и соответственно обеспечивающих подавление усиления с ростом частоты без изменения фазы (рисунок 3.1,а); увеличение фазового опережения с ростом частоты без изменения усиления (рисунок 3.1,б); ослабление усиления, сопровождаемое увеличением фазового опережения с ростом частоты (рисунок 3.1,в).

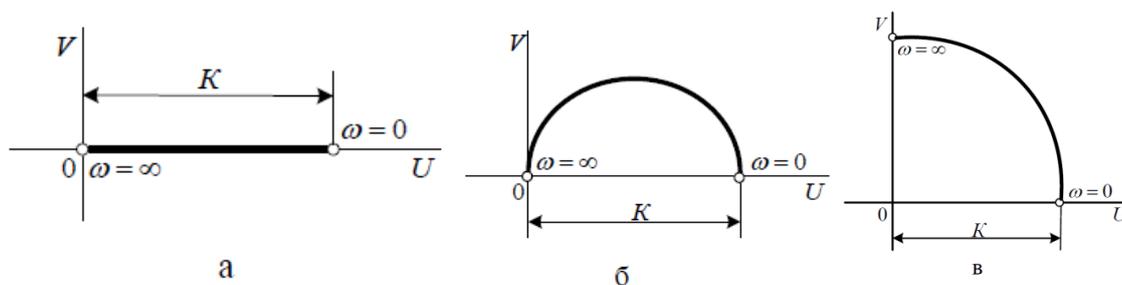


Рисунок 3.1 – Вид желаемых амплитудно-фазовых характеристик корректирующих устройств:

- а – ослабление амплитуды с ростом частоты без изменения фазы;
- б – увеличение фазового опережения с ростом частоты без изменения усиления;
- в – ослабление усиления, сопровождаемое увеличением фазового опережения с ростом частоты

При помощи включения корректирующего устройства, обладающего любой из указанных частотных характеристик, может быть улучшена относительная устойчивость системы автоматического управления, т.е. увеличены запасы устойчивости по фазе и модулю.

Использование корректирующего устройства в системе управления с частотной характеристикой, показанной на рисунке 3.1, а, позволяет изменить амплитудную характеристику, не влияя на фазовую.

В случае применения корректирующего устройства с характеристикой, изображенной на рисунке 3.1, б, видоизменяется фазовая характеристика системы, амплитудная же остается прежней.

3.1 Исследование свойств корректирующего устройства с фазовым опережением

Примером схемы псевдолинейной коррекции, позволяющей получить фазовое опережение без изменения амплитуды, может служить схема, приведенная на рисунке 3.2.

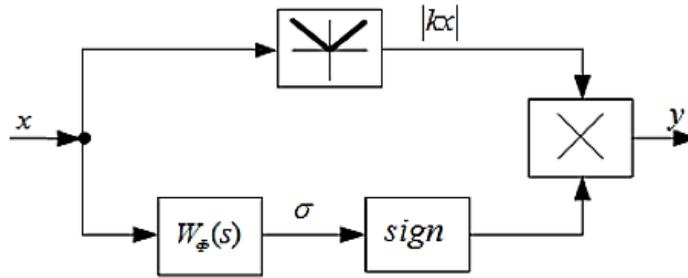


Рисунок 3.2 – Схема псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением

$$\text{Где } W_{\phi}(s) = \frac{T_{пк\psi}s+1}{T s+1}$$

В рамках работы корректирующим устройством системы автоматического управления было выбрано псевдолинейные корректирующее устройство с фазовым опережением. Как было сказано ранее, главной особенностью данного звена является независимость частотных характеристик от величины амплитуды сигнала на входе, что позволяет отнести его к классу псевдолинейных [6].

Смена сигнатуры коэффициента усиления происходит в момент, который задается на характеристике точкой C_1 , в свою очередь связанной с углом фазового опережения α соотношением:

$$\frac{OC_1}{OC_2} = \sin \alpha \quad (3.1)$$

Точка C_2 связана с амплитудой входного сигнала $x = A \sin \omega t$, откуда следует, что $OC_2 = A$. При возрастании угла фазового опережения происходит сближение точек C_1 и C_2 , а полное слияние происходит на частоте $\frac{\pi}{2}$. При дальнейшем возрастании α от $\frac{\pi}{2}$ до π , положение точки C_1 начинает определяться соотношением:

$$\frac{OC_1}{OC_2} = \cos \alpha \quad (3.2)$$

Характеристика нелинейности при постоянных параметрах линейного фильтра фазового канала зависит от частоты ω .

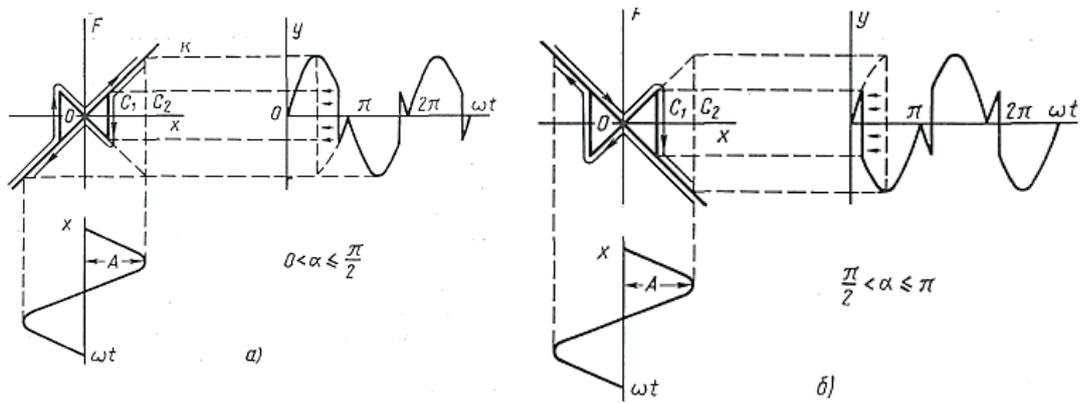


Рисунок 3.3 – Нелинейные характеристики: а – при фазовом опережении до 90° ;

б – при фазовом опережении от 90° до 180°

Рассмотрим эквивалентную амплитудно-фазовую характеристику корректирующего устройства, полученную через гармоническую линеаризацию:

$$J(A, \omega) = a(A, \omega) + jb(A, \omega) \quad (3.3)$$

где $a(A, \omega), b(A, \omega)$ – коэффициенты гармонической линеаризации, в общем случае зависящие от амплитуды и частоты входного сигнала. Данное выражение может быть представлено в виде:

$$J(A, \omega) = q(A, \omega)e^{j\mu(A, \omega)} \quad (3.4)$$

где $q(A, \omega)$ – эквивалентная амплитудная характеристика нелинейного звена:

$$q(A, \omega) = \sqrt{[a(A, \omega)]^2 + [b(A, \omega)]^2} \quad (3.5)$$

$\mu(A, \omega)$ – эквивалентная фазовая характеристика нелинейного звена может быть представлена в виде:

$$\mu(A, \omega) = \arctg \frac{b(A, \omega)}{a(A, \omega)} \quad (3.6)$$

Коэффициенты гармонической линеаризации корректирующего устройства определяются по формулам:

$$a = \frac{2}{A \cdot \pi} \int_0^\pi F(A \sin(\omega t)) \cdot \sin(\omega t) d(\omega t) \quad (3.7)$$

$$b = \frac{2}{A \cdot \pi} \int_0^\pi F(A \sin(\omega t)) \cdot \cos(\omega t) d(\omega t) \quad (3.8)$$

Если в схеме используется линейный фильтр с передаточной функцией:

$$W_{\phi} = \frac{T_*}{T} \cdot \frac{T_{\text{пкы}}s + 1}{Ts + 1} \quad (3.9)$$

то создаваемое им опережение α будет определяться выражением:

$$\alpha = \arctg \frac{\omega T(1 - \nu)}{1 + \omega^2 T^2 \nu} \quad (3.10)$$

где через ν обозначено отношение $\frac{T}{T_{\text{пкы}}}$.

Тогда коэффициенты a и b будут равны:

$$a = \frac{k}{\pi} (\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha) \quad (3.11)$$

$$b = \frac{k}{\pi} (1 - \cos 2\alpha) \quad (3.12)$$

Амплитудно-частотная характеристика системы равна:

$$A(\omega) = |W(j\omega)| = \sqrt{P(\omega)^2 + Q(\omega)^2} \quad (3.13)$$

а фазово-частотная характеристика системы:

$$\varphi(\omega) = \arctg W(j\omega) = \arctg \frac{Q(\omega)}{P(\omega)} \quad (3.14)$$

Форма сигнала в характерных точках фильтра показана на рисунке 3.4

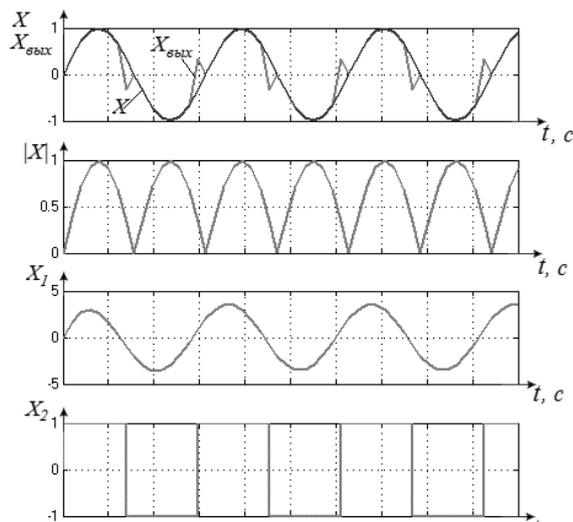


Рисунок 3.4- Формы сигналов в характерных точках нелинейного фильтра с фазовым опережением

В программном пакете MathCad было произведено построение АЧХ и ФЧХ псевдолинейного корректирующего устройства при различных значениях

параметра T передаточной функции линейного фильтра.

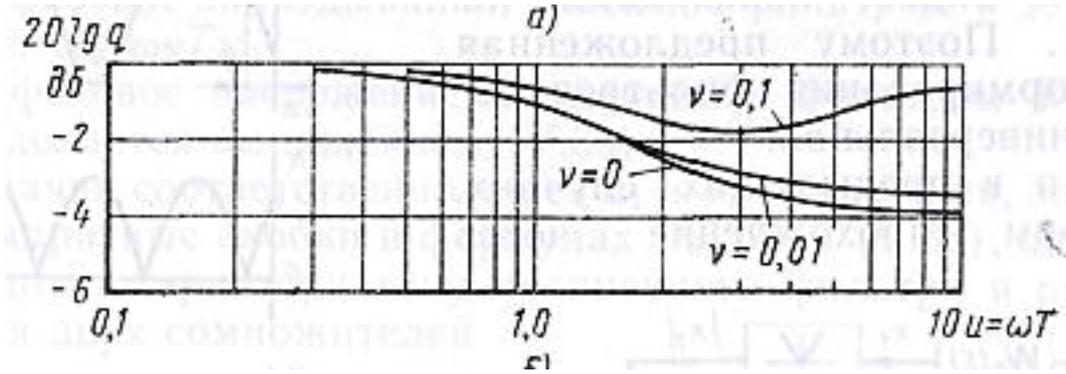


Рисунок 3.5 – Семейство АЧХ псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением

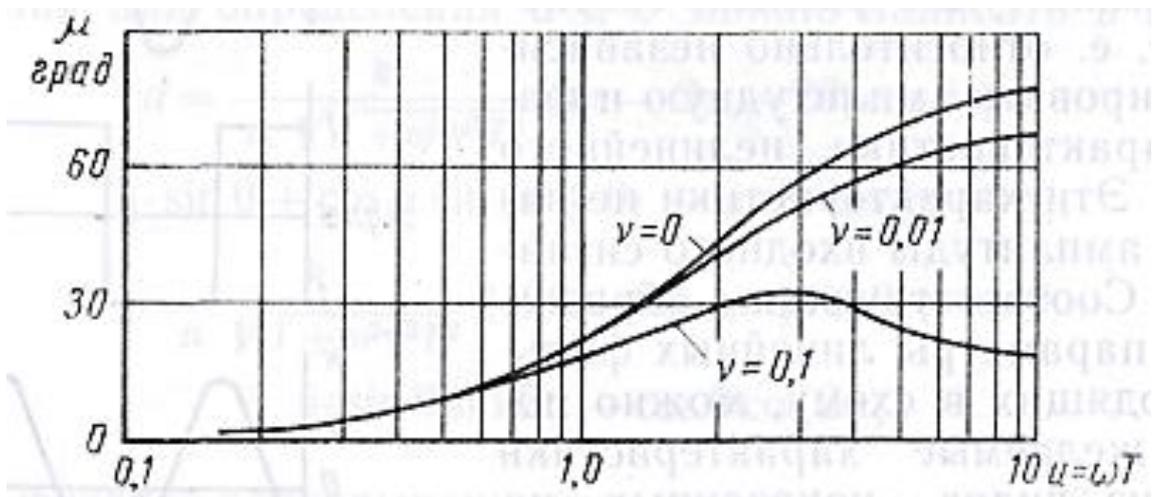


Рисунок 3.6 – Семейство ФЧХ псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением

4 Разработка и исследование в среде Matlab свойств системы управления с нечетким регулятором

4.1 Настройка параметров базового ПИД-регулятора

Для исследования был выбран объект управления второго порядка.

Уравнение движения этой системы

$$T_1\ddot{x} + T_2\dot{x} + kx = F \quad (4.1)$$

где F – внешняя сила, действующая на массу.

Применив преобразование Лапласа, получим операторную запись уравнения системы

$$T_1s^2X(s) + T_2sX(s) + kX(s) = F(s) \quad (4.2)$$

Передаточная функция между смещением $X(s)$ и входом $F(s)$ имеет вид

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{T_1s^2 + T_2s + k} \quad (4.3)$$

где k – статический коэффициент передачи ОУ; T_1, T_2 – постоянные времени.

Параметры данного объекта управления были взяты значения: $k = 4$; $T_1 = 1$; $T_2 = 5$.

для этого ОУ, можно получить функцию передачи.

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{s^2 + 5s + 4}$$

ПИД-регуляторы используются для управления динамическими процессами с изменяющимися в широких диапазонах параметрами и подверженными воздействию неконтролируемых возмущений в системах автоматического управления:

Используем метод настройки Шубладзе, чтобы примерно определить параметры ПИД-регулятора [7].

пропорциональный коэффициент настройки находится по формуле:

$$K_p := -\left[(-T_1 \cdot i + 1)^{n-1} \cdot \left[(n+2) \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot i^2 - [(n+1) \cdot T_1 + T_2 \cdot 2] \cdot i + 1 \right] - 2K_d \cdot K_0 \cdot i \right] \cdot K_0^{-1} = 1.398 \quad (4.4)$$

интегральный коэффициент настройки находится по формуле:

$$KI := - \left[(-T_1 \cdot i + 1)^n \cdot (T_2 \cdot i - 1) \cdot \frac{i}{K_0} \right] - (K_d \cdot i^2 - K_p \cdot i) = 0.356 \quad (4.5)$$

дифференциальный коэффициент настройки находится по формуле:

$$K_d := -0.5 \cdot (-T_1 \cdot i + 1)^{n-2} \cdot \left[(n+1) \cdot (n+2) \cdot T_1^2 \cdot T_2 \cdot i^2 - (n+1)(n \cdot T_1 + 4 \cdot T_2) \cdot T_1 \cdot i + 2(n \cdot T_1 + T_2) \right] \cdot K_0^{-1} = 0.875 \quad (4.6)$$

Где $T_1 = 1$, $T_2 = 4$

С помощью функции линейный анализ провести моделирование системы и получить переходный процесс системы с ПИД-регулятором.

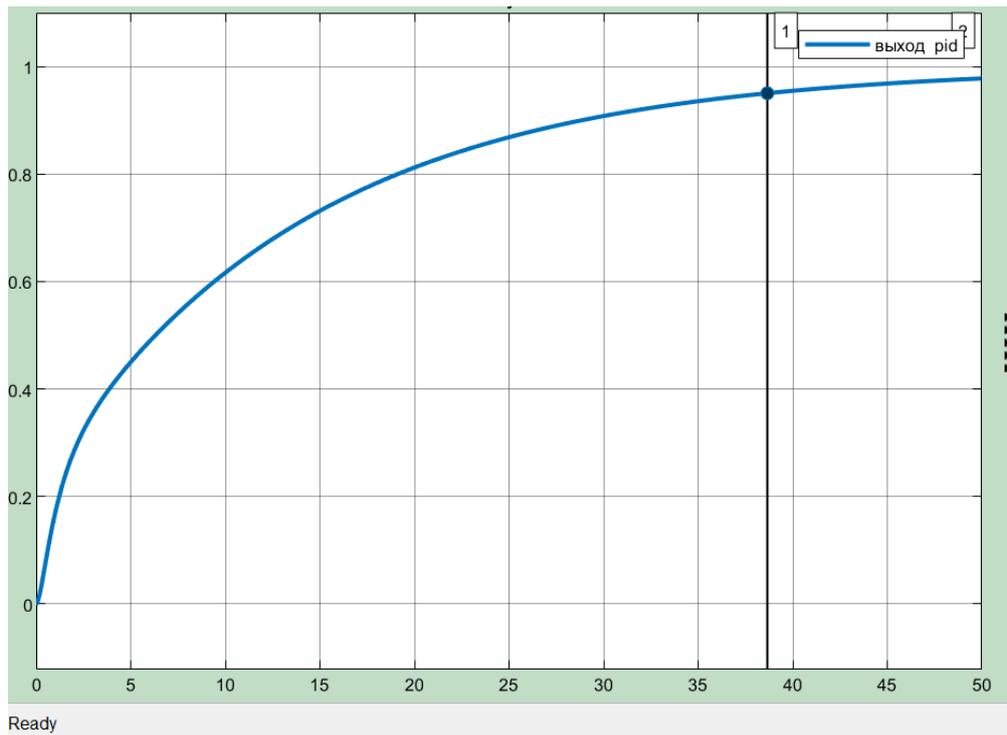


Рисунок 4.1-переходный процесс системы с ПИД-регулятором. (Tr=38.65)

Далее была произведена ручная настройка ПИД-регулятора. При наличии базовых теоретических знаний о работе данного регулятора в целом и каждой из его составляющих можно постепенно добиться оптимальной настройки, при которой достигается необходимое качество регулирования. Как правило первой настраивается пропорциональная составляющая, которая позволяет вывести процесс регулирования на необходимую уставку. Однако следует учитывать, что она не обеспечивает полного устранения статической ошибки. Именно поэтому следующей настраивается интегральная составляющая, которая позволяет регулятору со временем учесть статическую

ошибку и полностью исключить. В последнюю очередь настраивается дифференциальная составляющая, которая оказывает противодействие дальнейшим отклонением от целевого значения. Процесс настройки может быть значительно упрощен при условии знания экспертом основных правил, которые были получены путем аналитики и эмпирических исследований ПИД-регулятора. Приведем их ниже [8]:

Таблица 4.1 аналитики и эмпирические исследования ПИД-регулятора

Тип звена	Время Нарастания	Перерегулирование	Время переходного процесса	Статическая ошибка
K_p	Уменьшает	Увеличивает	Слабо влияет	Уменьшает
K_I	Уменьшает	Увеличивает	Увеличивает	Исключает
K_D	Слабо влияет	Уменьшает	Уменьшает	Слабо влияет

После многих оптимизаций получены следующие результаты.

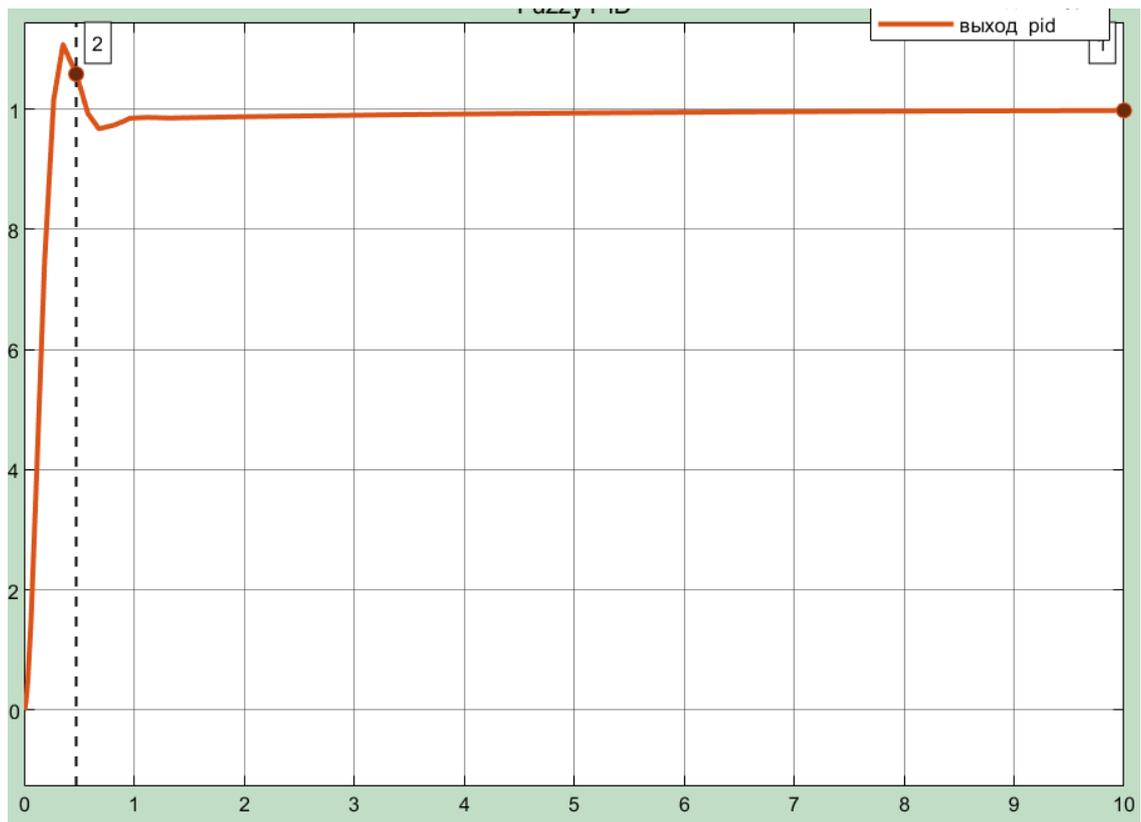


Рисунок 4.2-переходный процесс системы с ПИД-регулятором. ($T_r=6.54$)

Итоговые параметры ПИД-регулятора приняты равными: $K_p = 90$; $K_i = 20$; $K_d = 5$.

4.2 Исследование свойств корректирующего устройства с фазовым опережением и САР с применением КУ.

Для исследования свойств корректирующего устройства и САР с КУ в Matlab Simulink была создана модель САР объектом второго порядка. Модель состоит из двух частей: САР с объектом второго порядка без применения корректирующего устройства, САР с объектом второго порядка и КУ. Схема представлена на рисунке 4.3.

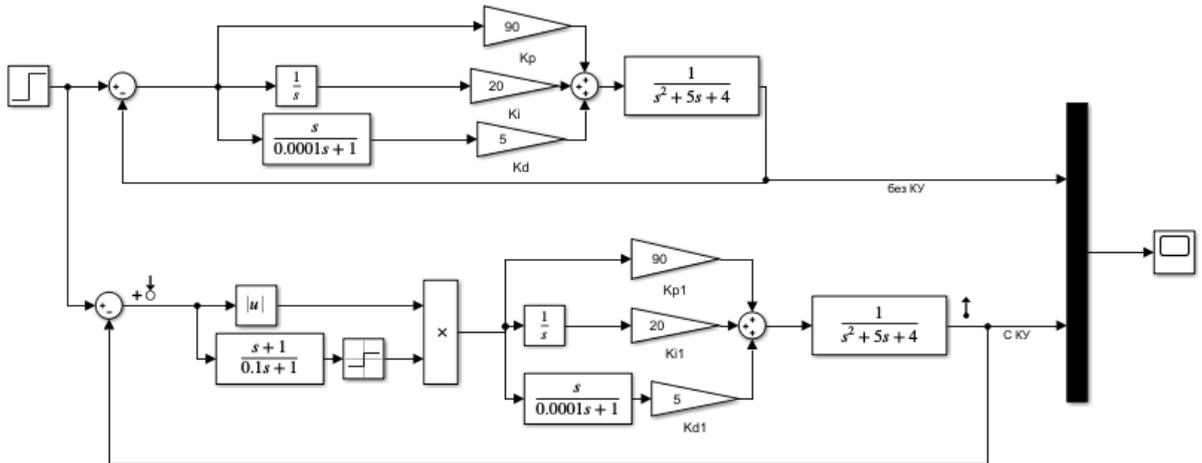


Рисунок 4.3 – Моделирование работы САР в Matlab Simulink

Объект управления имеет вид:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{s^2 + 5s + 4}$$

Параметры ПИД-регулятора имеют следующие значения:

$K_p=90, K_i=20, K_d=5$.

Сравнительная графическая характеристика переходных процессов в САР без КУ и САР с КУ приведена на рисунке 4.4.

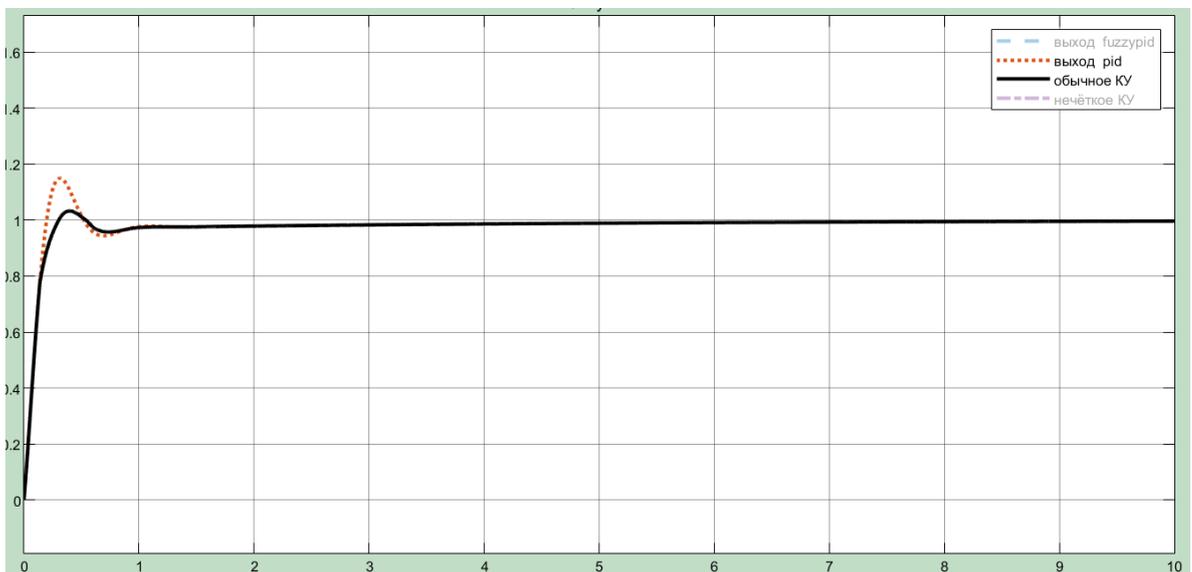


Рисунок 4.4 – Кривые переходных процессов

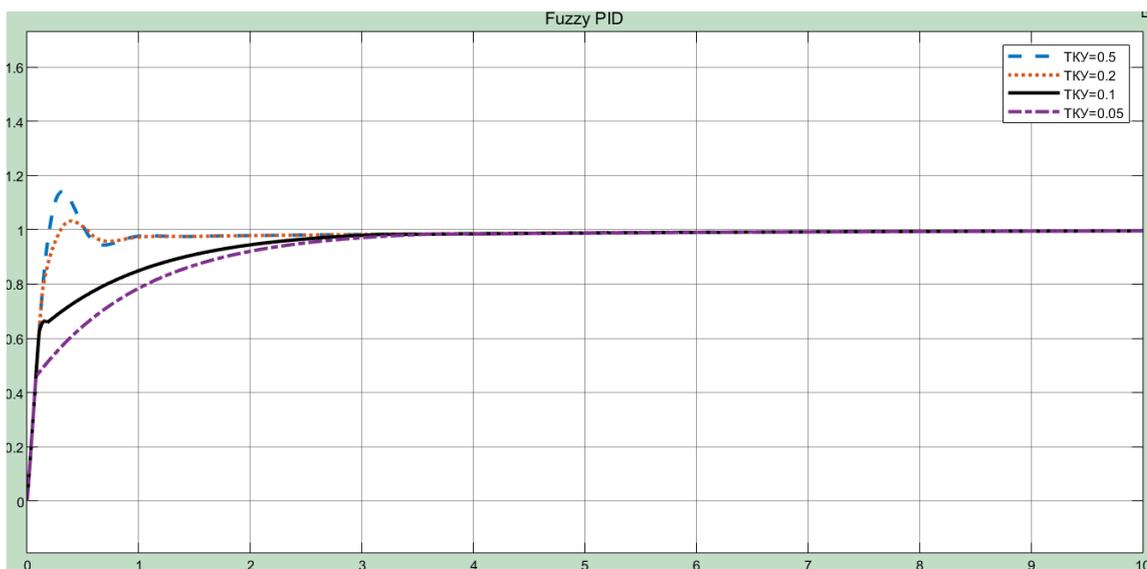


Рисунок 4.5 – Кривые переходных процессов при различных параметрах $T_{КУ}$

Из рисунка 4.5 видно, что при применении корректирующего устройств значительно повышается качество переходного процесса: происходит уменьшение перерегулирования и времени переходного процесса.

Далее было произведено изменение постоянной времени объекта управления T_1 в сторону увеличения. На рисунке 4.6. представлены кривые переходных процессов САР без КУ. На рисунке 4.7. представлены кривые переходных процессов САР с КУ при таких же параметрах постоянной времени объекта управления.

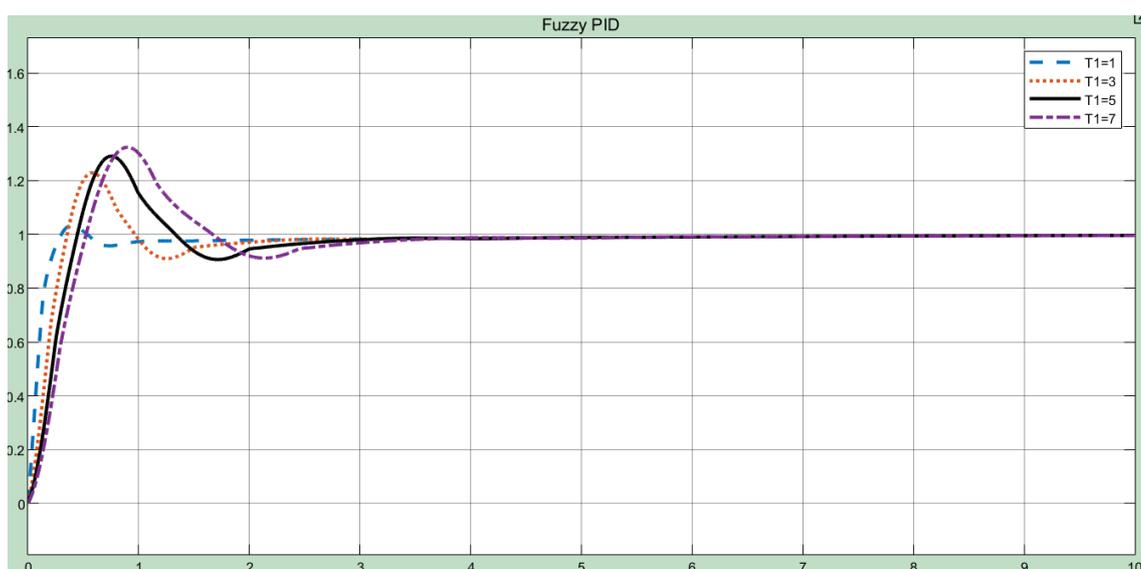


Рисунок 4.6 – Графики переходных процессов с КУ при различных значениях T_1 (1,3,5,7) $T = 0.2$

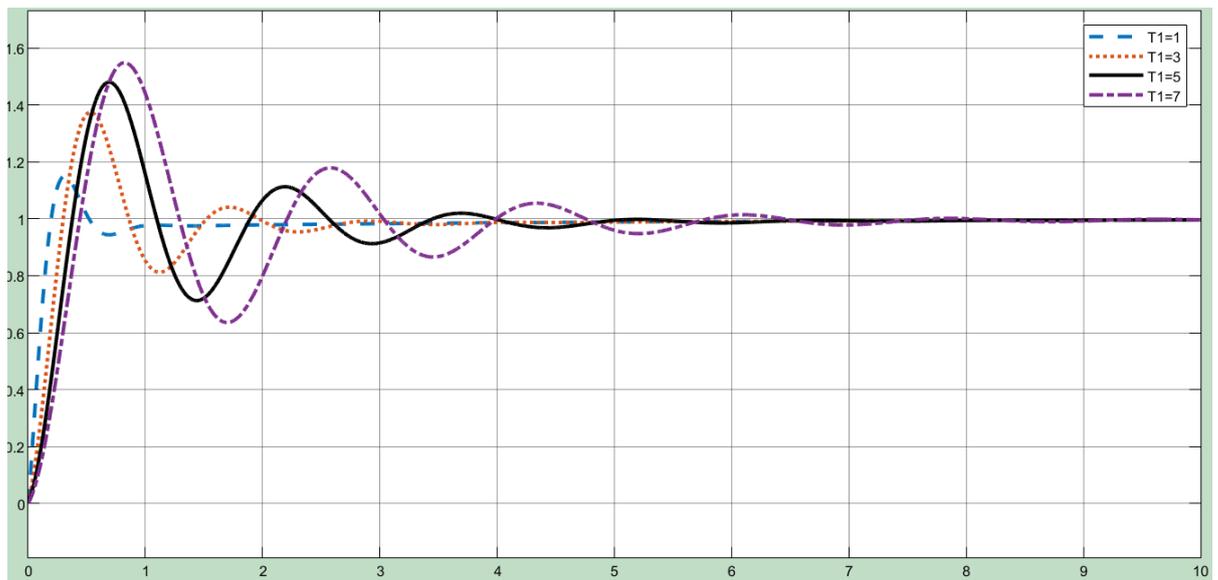


Рисунок 4.7 – Графики переходных процессов без КУ при различных значениях T_1 (1,3,5,7)

Можно сделать вывод, что при увеличении постоянной времени T_1 объекта управления качество САР с ПИД-регулятором ухудшается, при этом качество САР с ПИД-регулятором и КУ является лучшим, чем без КУ. Параметры ПИД-регулятора в обеих системах одинаковые и не изменяются в процессе работы системы.

Это показывает, что ПКУ может эффективно улучшить качество САР.

4.3 Разработка системы с нечетким ПИД-регулятором

Далее было решено приступить к разработке нечетких регулирующих устройств – нечеткого ПИД-регулятора и нечеткого псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением.

Входными воздействиями для нечеткого блока ПИД-регулятора являются ошибка регулирования, а также интеграл и производная от нее. Выходными параметрами являются параметры

ПИД-регулятора K_p , K_i , K_d . Схема управления Matlab Simulink представлена на рисунках 4.8-9.

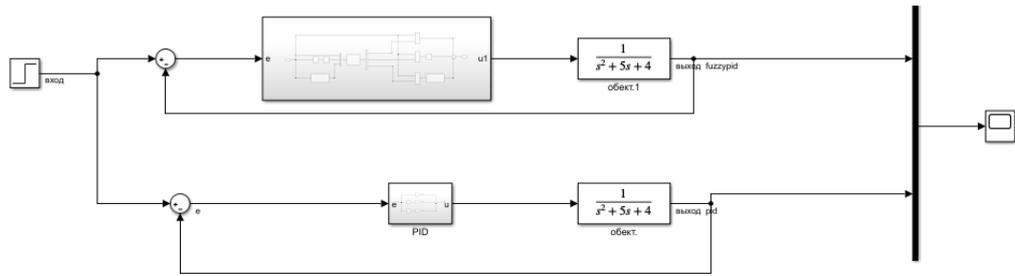


Рисунок 4.8 - Simulink – схема для ПИД-регулирования

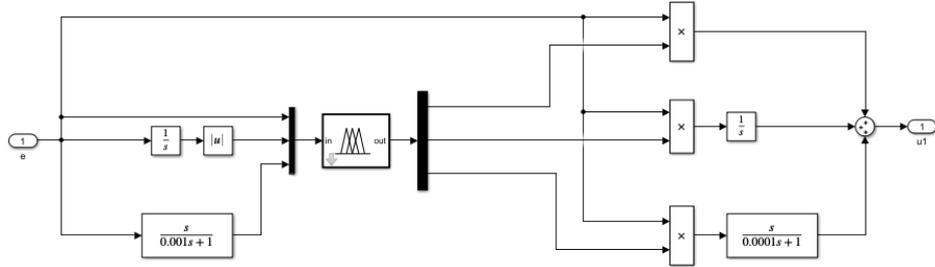


Рисунок 4.9 - Simulink – модель для ПИД-регулирования, контур нечеткого управления

Структура нечеткого регулятора разрабатывалась в пакете Matlab Fuzzy Logic Toolbox. При помощи данной утилиты можно с помощью графического интерфейса проводить разработку нечетких систем. С ее помощью были разработаны наборы функций принадлежности по входным и выходным переменным, а также база правил. Они представлены на рисунках 4.10-17.

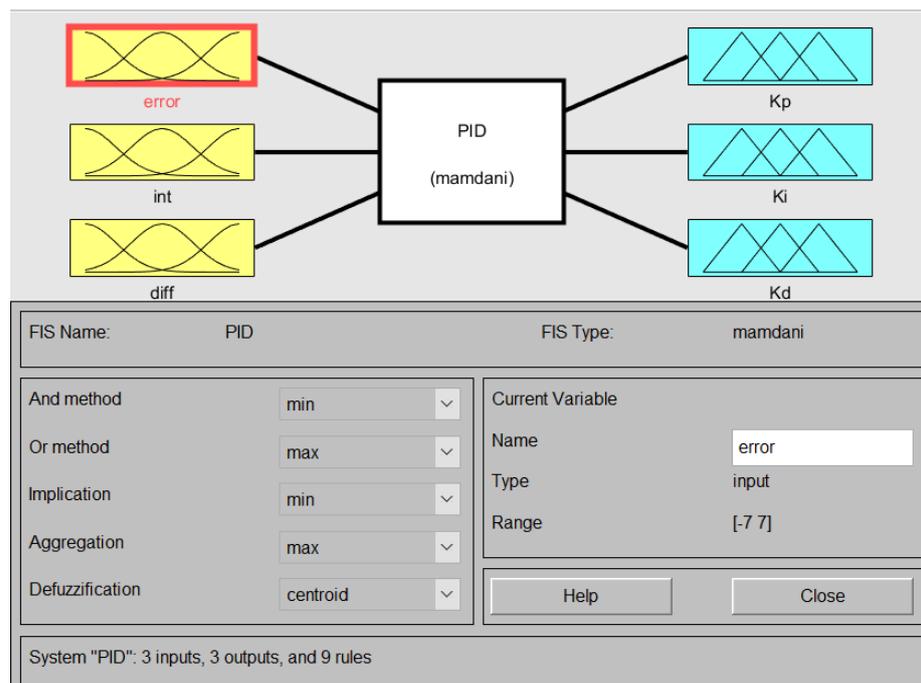


Рисунок 4.10 - Функция принадлежности ошибки

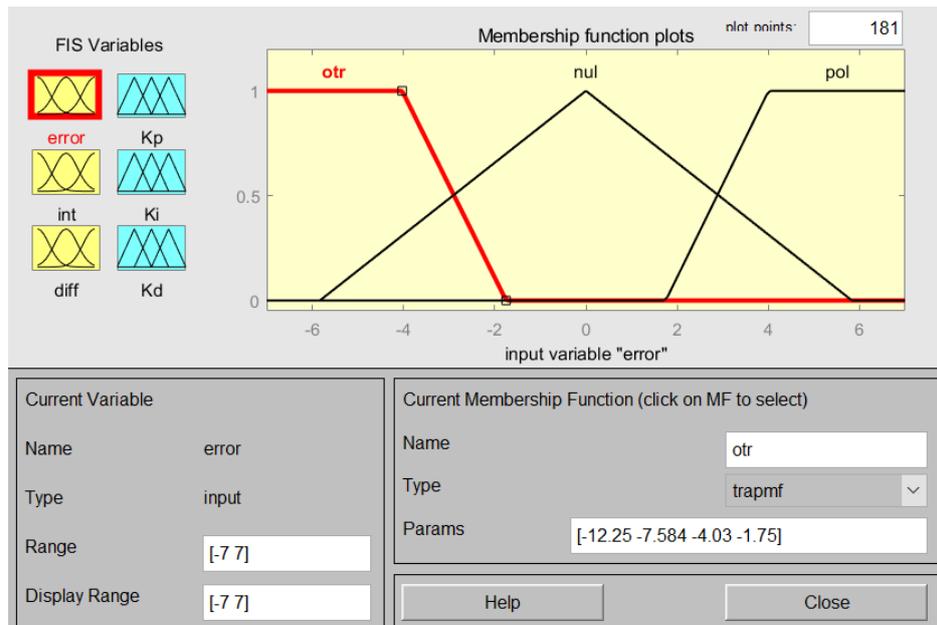


Рисунок 4.11 - Функция принадлежности ошибки

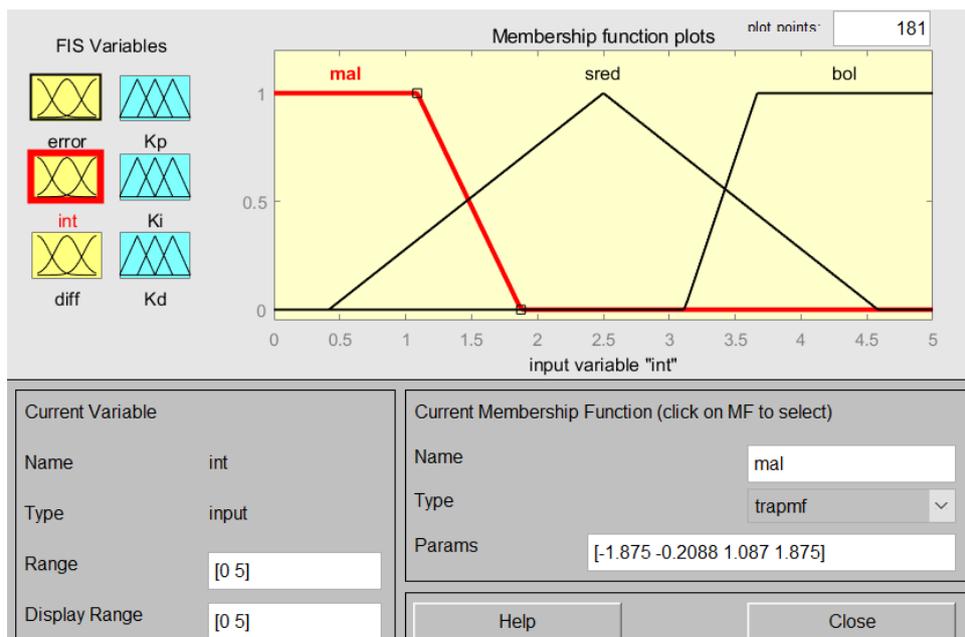


Рисунок 4.12 - Функция принадлежности интеграла ошибки

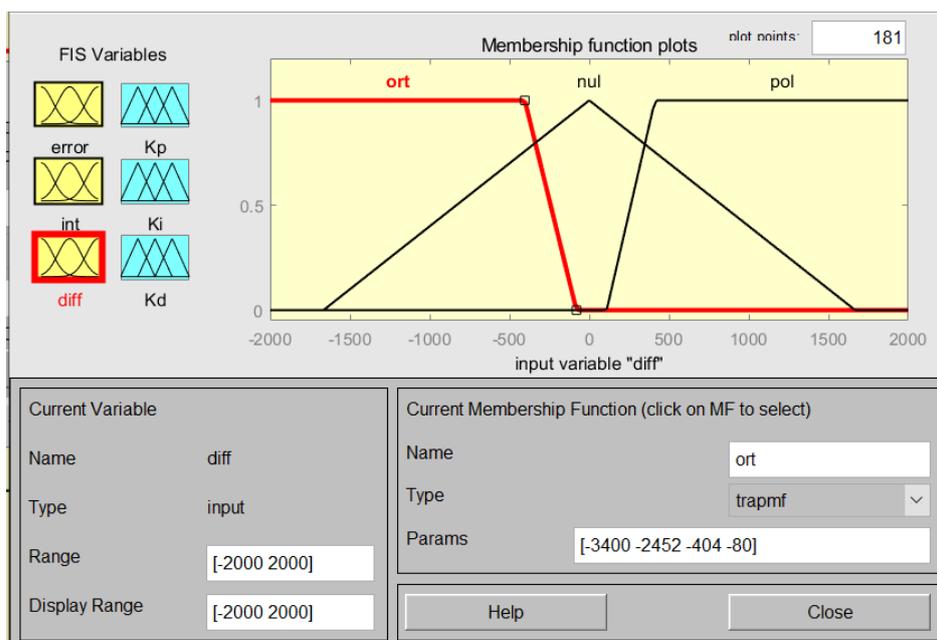


Рисунок 4.13 - Функция принадлежности производной ошибки

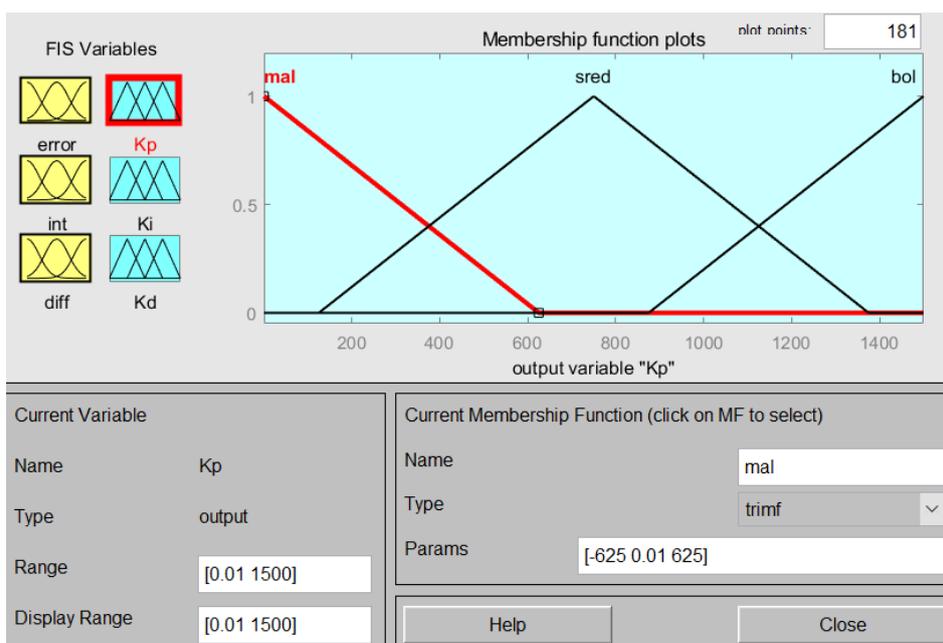


Рисунок 4.14 - Функция принадлежности Kp

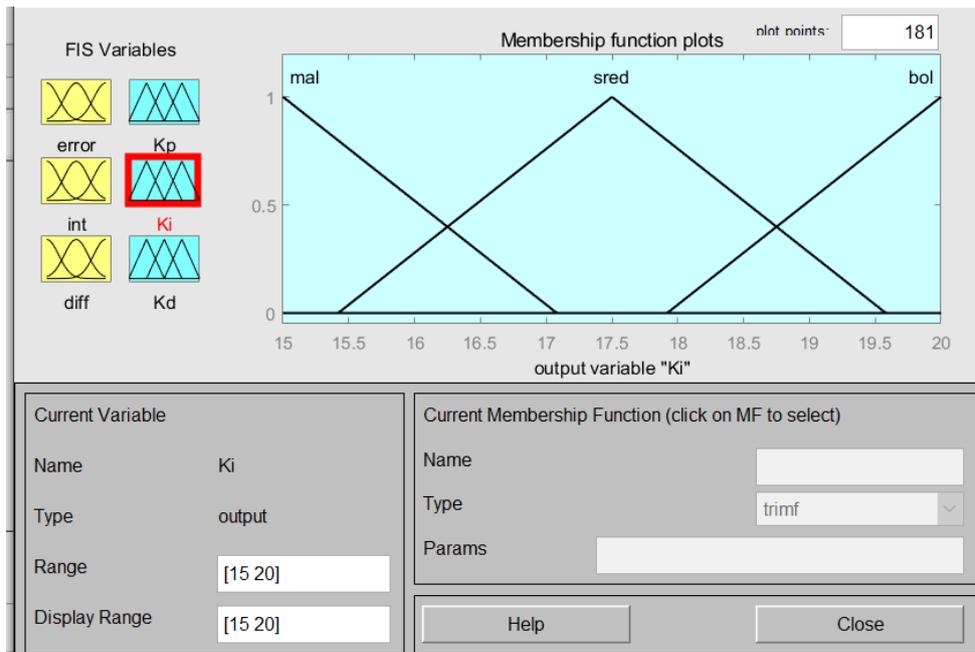


Рисунок 4.15 - Функция принадлежности Kd

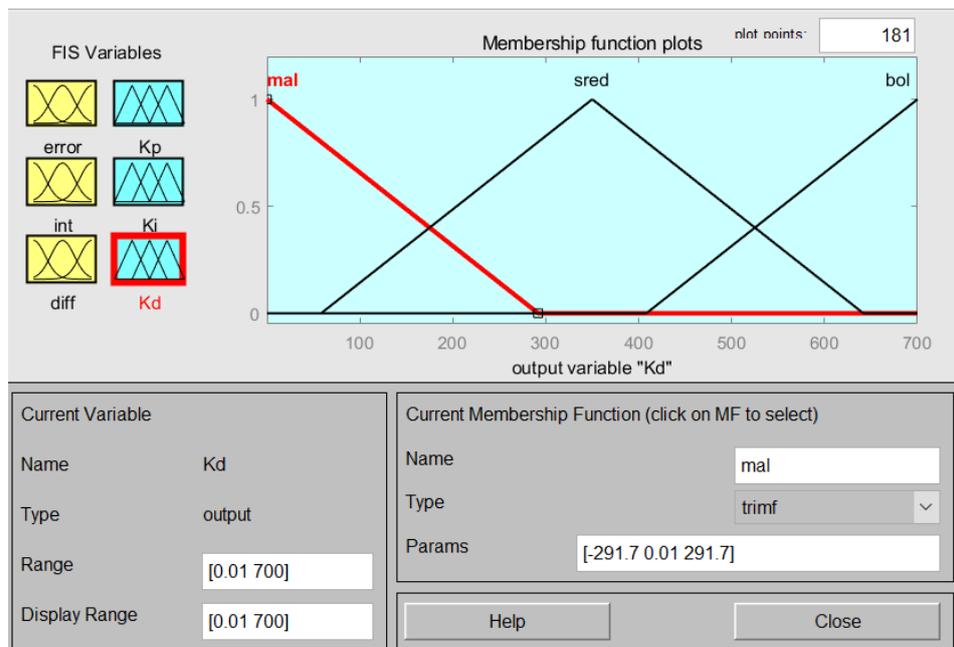


Рисунок 4.16 - Функция принадлежности Ki

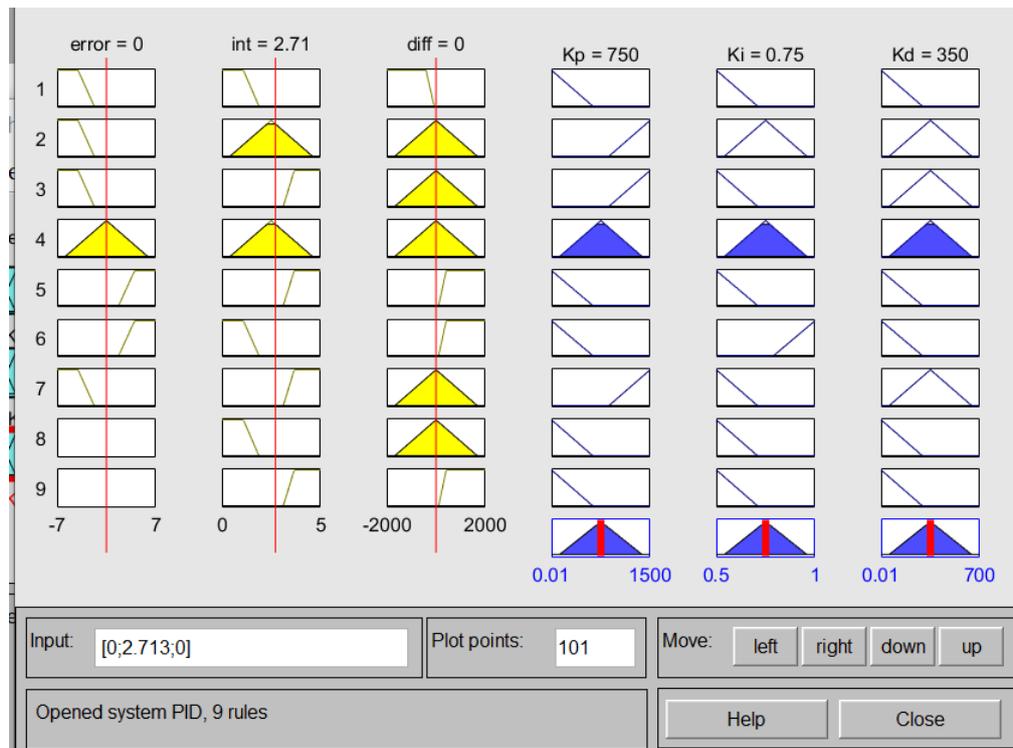


Рисунок 4.17 - База правил

Результаты регулирования при постоянном времени T_1 объекта управления $T_1 = 1$ представлены на рисунке 4.18

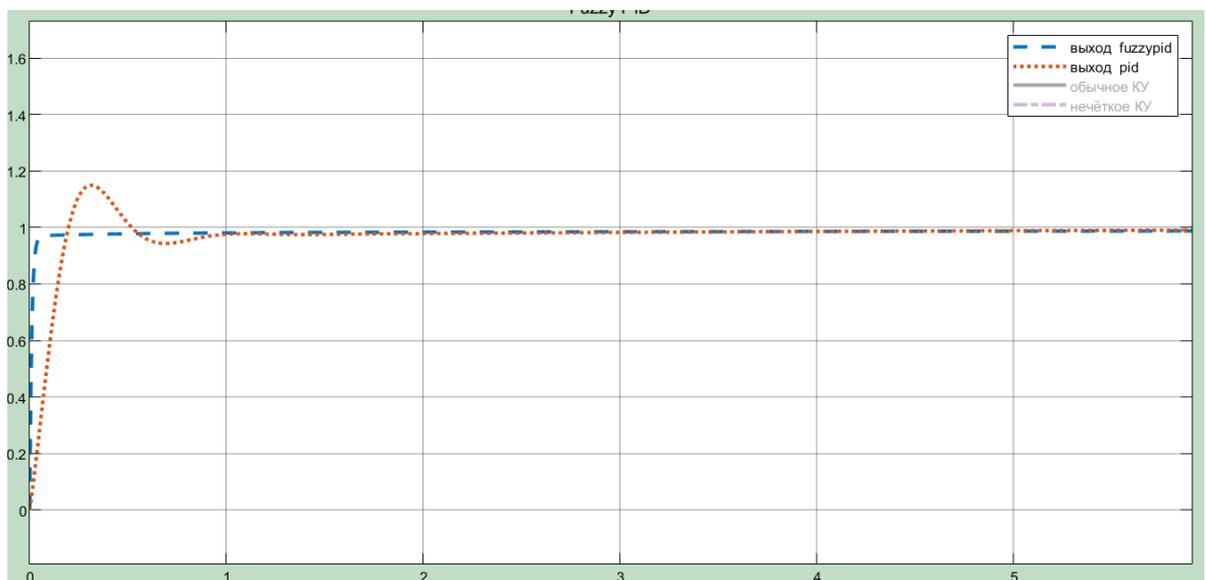


Рисунок 4.18 - Результаты ПИД-регулирования при $T_1 = 1$.

Видно, что качество САУ с нечетким регулятором лучше, чем обычный ПИД. Затем увеличим постоянную времени T_1 объекта управления. $T_1 = 5$.

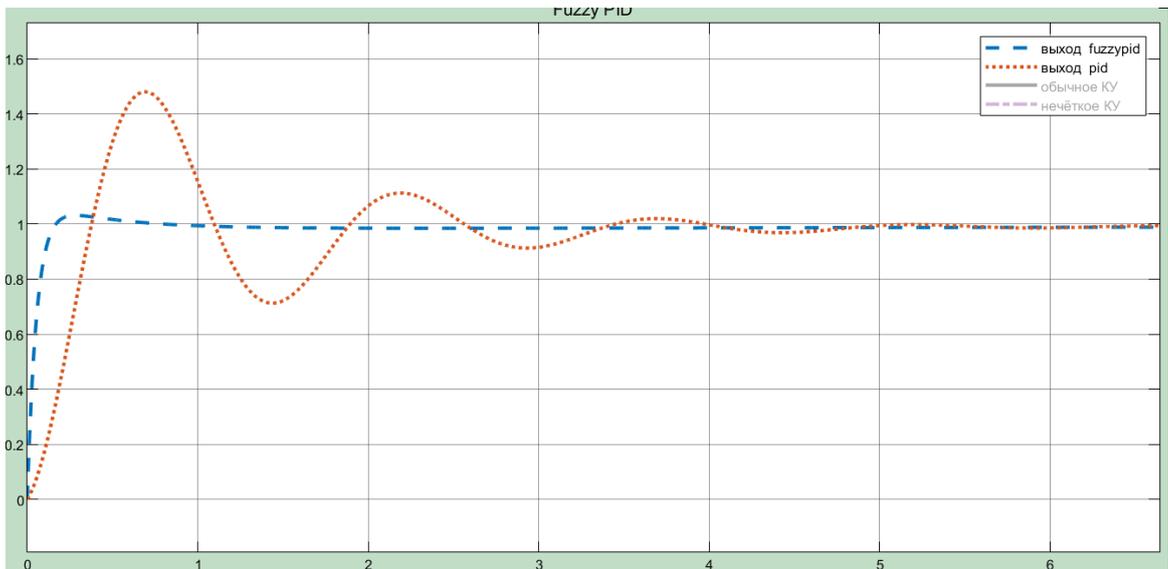


Рисунок 4.19 - Результаты ПИД-регулирования при $T_1 = 5$.

Как видно из рисунка 4.18 нечеткий регулятор имеет преимущество в скорости регулирования, при меняющемся параметре ОУ

4.4 Разработка корректирующего устройства с фазовым опережением с управлением на нечеткой логике

Далее было разработано нечеткое КУ с фазовым опережением. Входным воздействием для нечеткого блока КУ является ошибка регулирования. Выходным параметром является коэффициент передаточной функции КУ T , ниже этот параметр $T = 0,2$. Схема управления Matlab Simulink представлена на рисунках 4.20- 21.

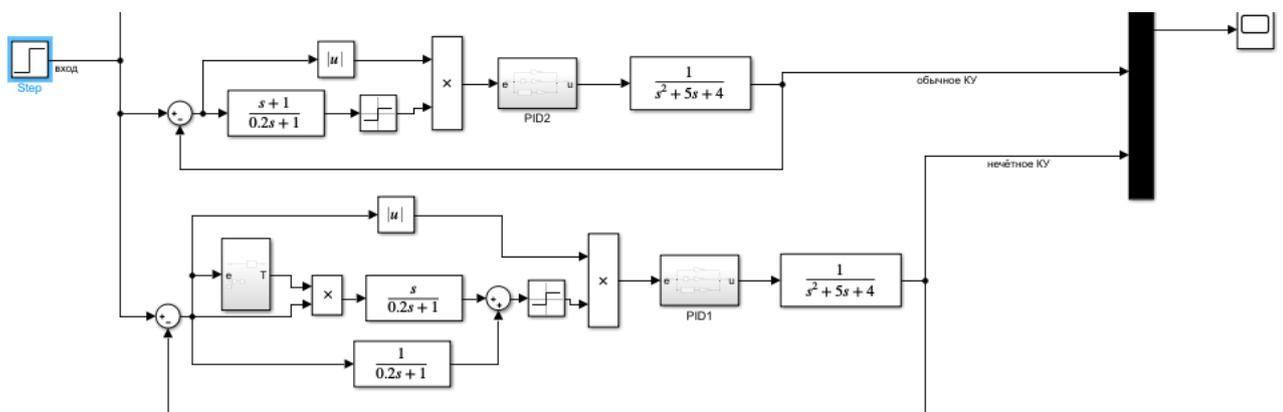


Рисунок 4.20 - Simulink-схема.

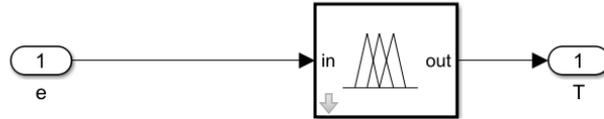


Рисунок 4.21 - Контур нечеткого регулирования

Вид функции принадлежности входных и выходных переменных, а также база правил для блока нечеткой логики представлена на рисунках 4.22-25.

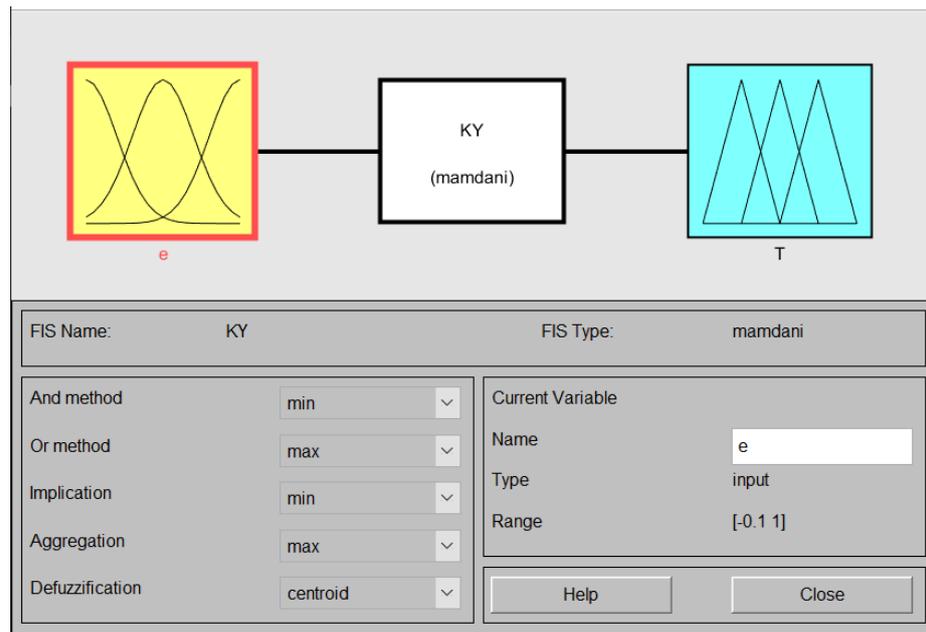


Рисунок 4.22 - Общий вид нечеткого регулятора

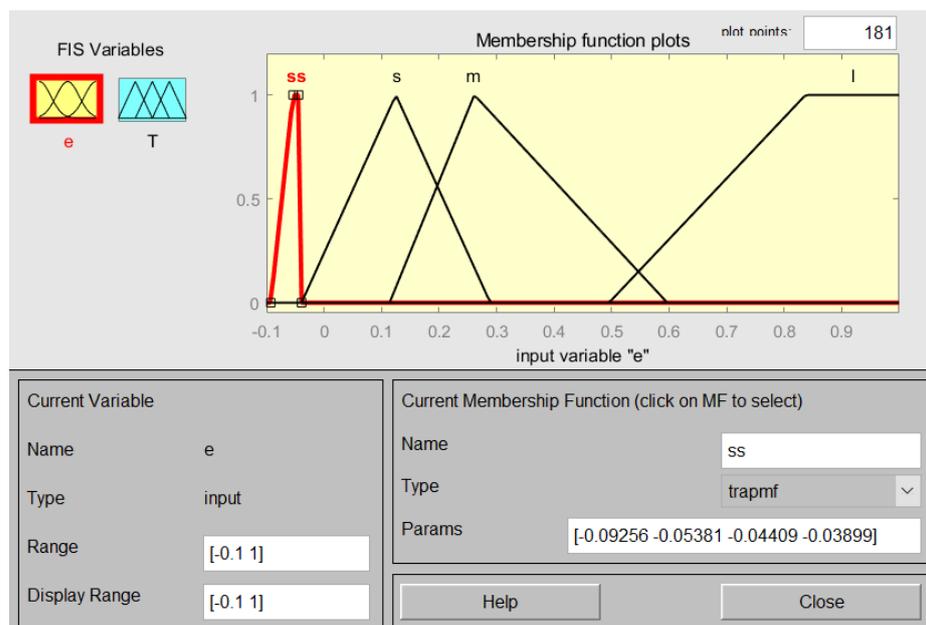


Рисунок 4.23 - Функция принадлежности ошибки

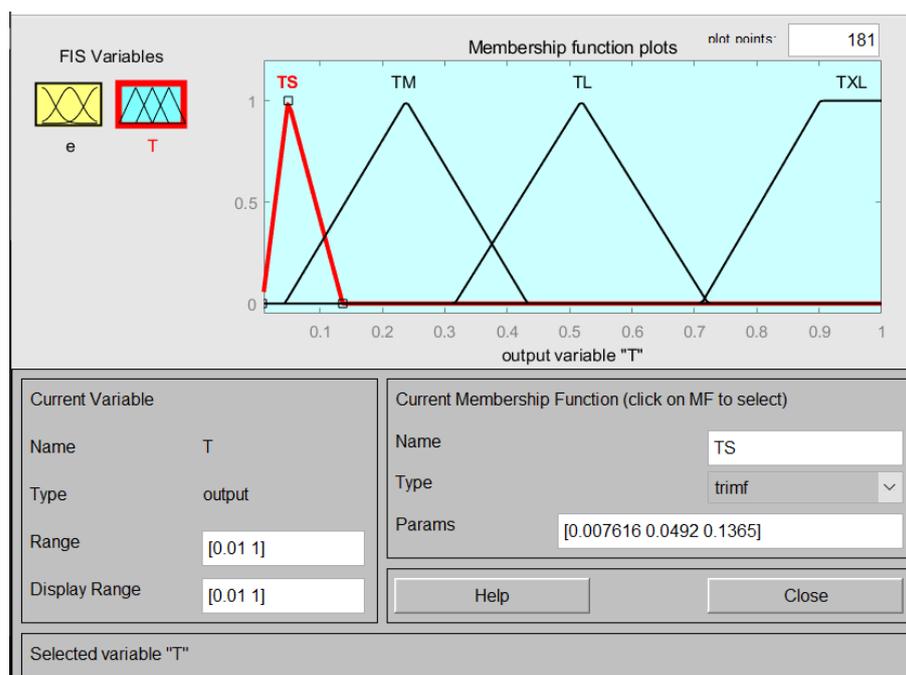


Рисунок 4.24 - Функция принадлежности коэффициента T корректирующего устройства

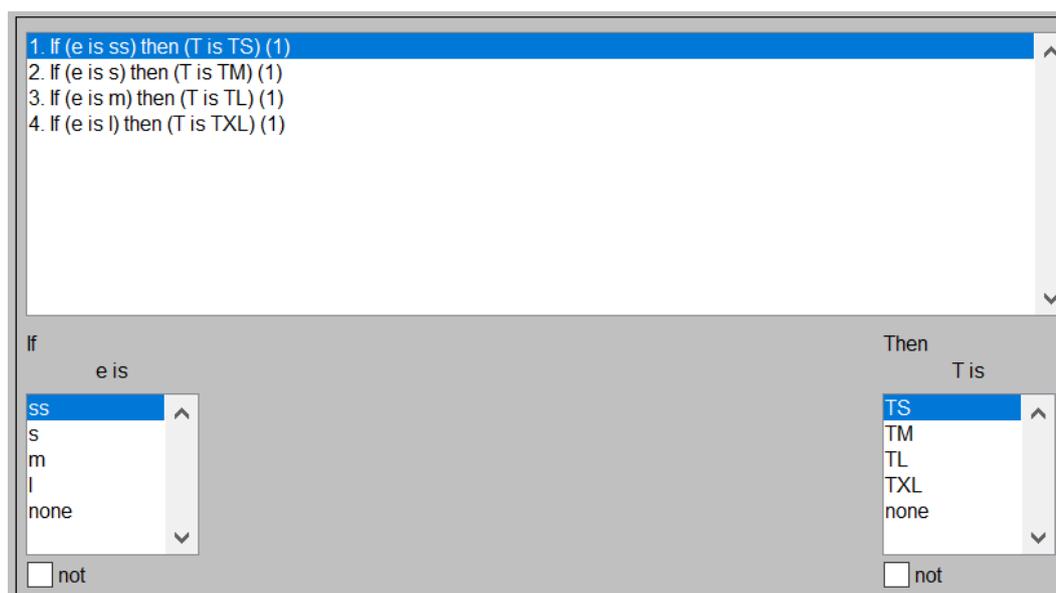


Рисунок 4.25 - База правил

Далее была проверена работа нечеткого псевдолинейного КУ с фазовым опережением при ОУ со стандартными параметрами и параметр T_1 установлен в 5. Результаты моделирования представлены на рисунках 4.26 и 27.

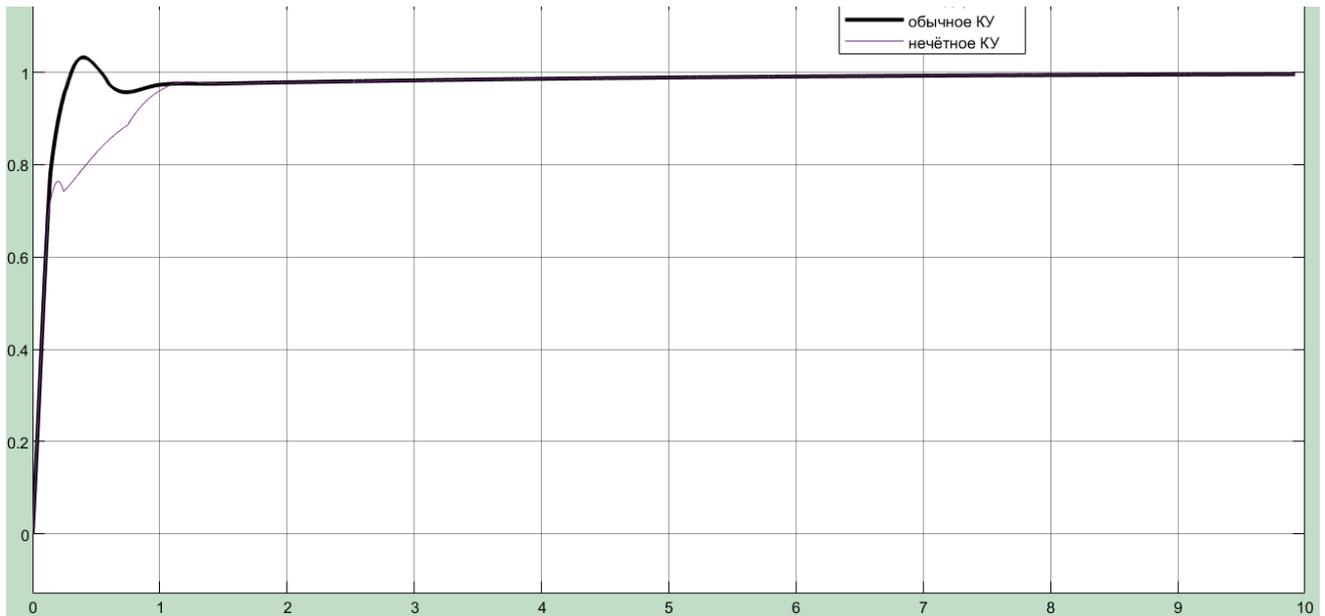


Рисунок 4.26 - Результаты работы при постоянном времени T_1 объекта управления $T_1 = 1$ и $T = 0.2$

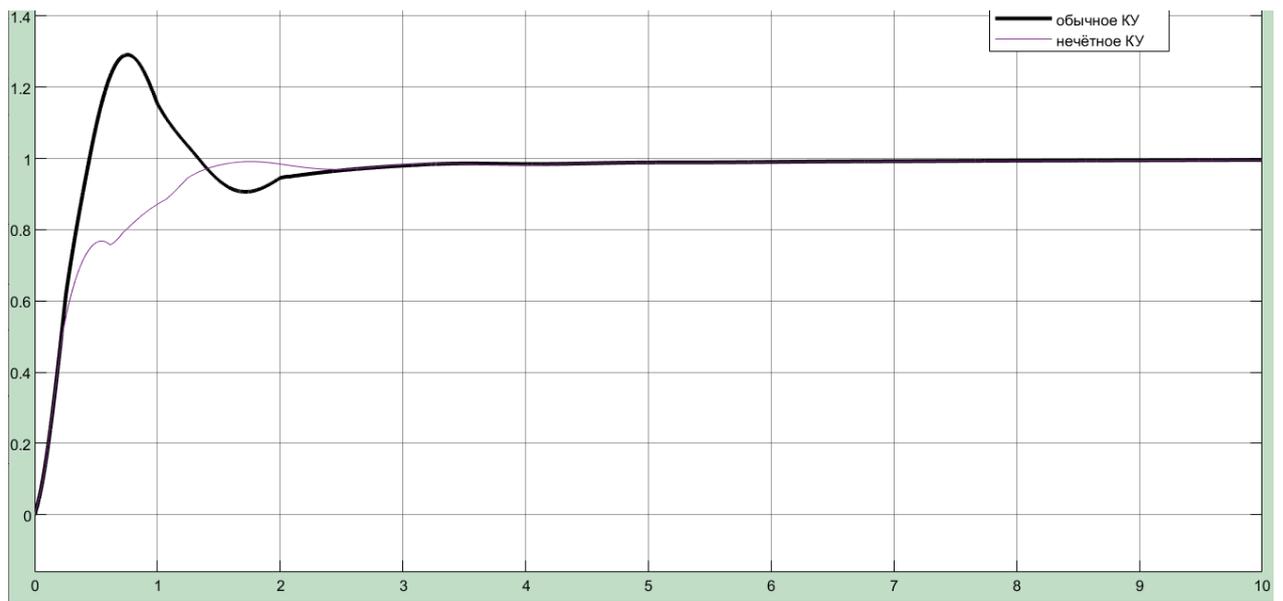


Рисунок 4.27 - Результаты работы при $T_1 = 5$ и $T = 0.2$

Как видно из рисунков 4.26 и 4.27 в случае постоянного времени T_1 объекта управления $T_1 = 1$ использование нечеткого КУ практически не дает преимущества в качестве регулирования. Однако, когда постоянный время T_1 объекта управления установлен в 5, преимущество нечеткого регулятора очевидно, что нечеткий контроллер обладает сильной способностью адаптироваться к изменению внешних параметров.

Далее сравним переходный процесс четырех регулятора. Результаты

моделирования представлены на рисунках 4.28-32

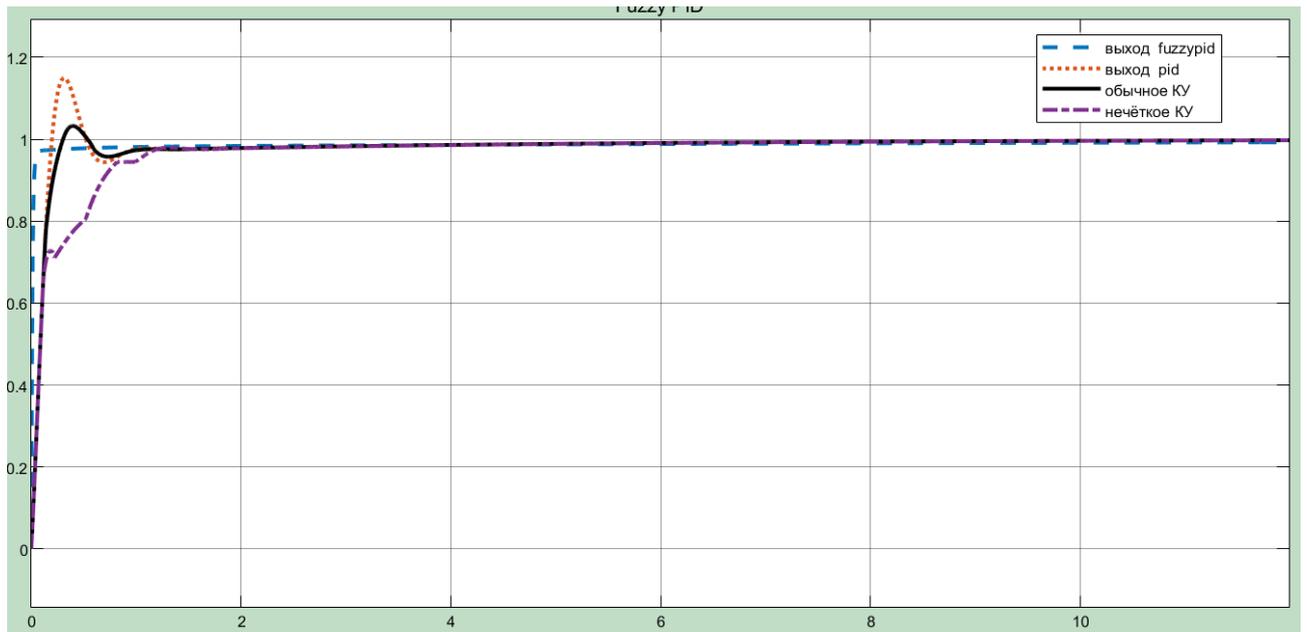


Рисунок 4.28 - Результаты работы при постоянном времени T_1 объекта управления $T_1 = 1$

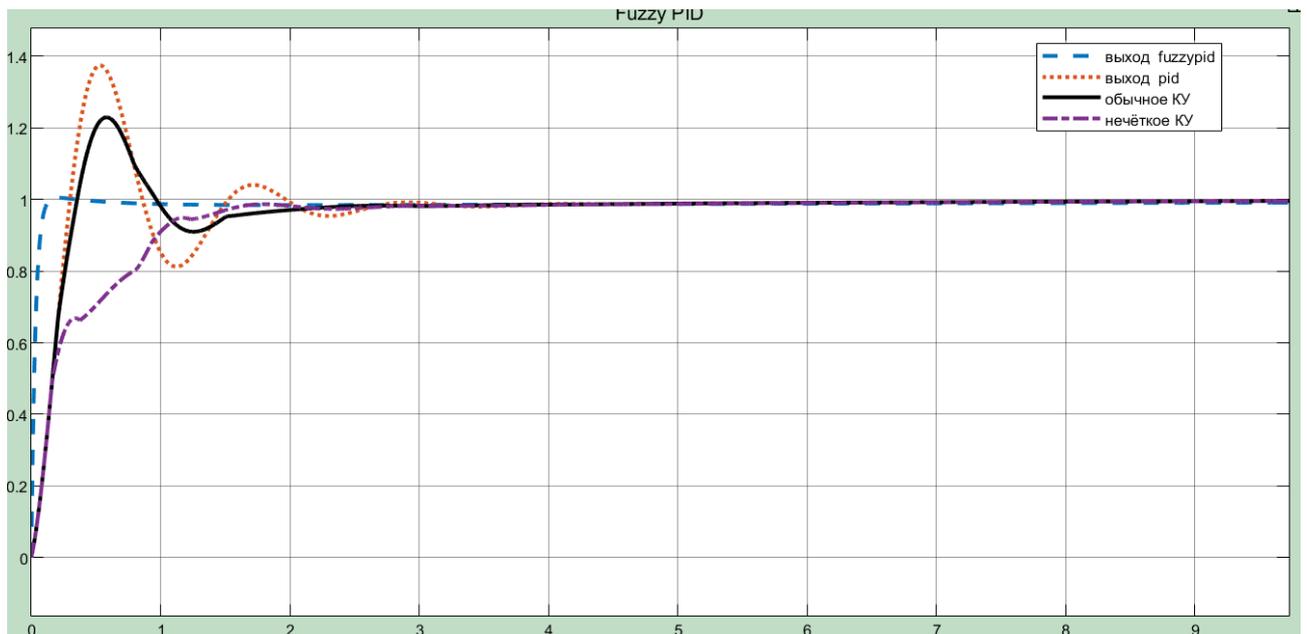


Рисунок 4.29 - Результаты работы при постоянном времени T_1 объекта управления $T_1 = 3$

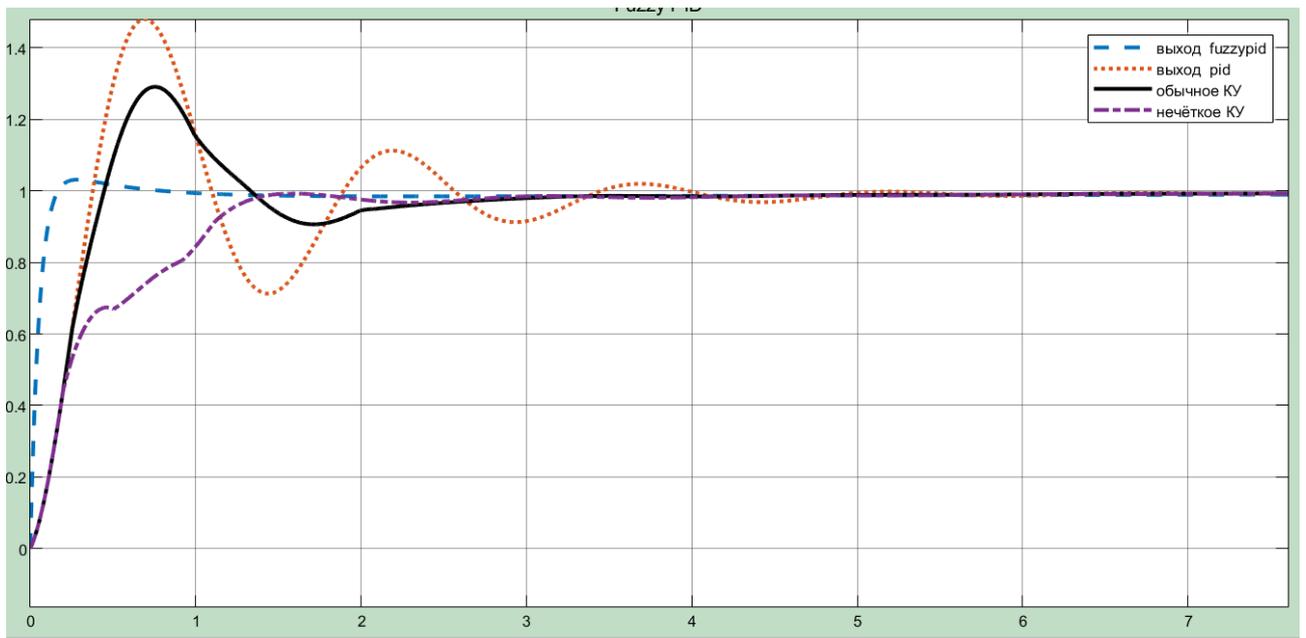


Рисунок 4.30 - Результаты работы при постоянном времени T_1 объекта управления $T_1 = 5$

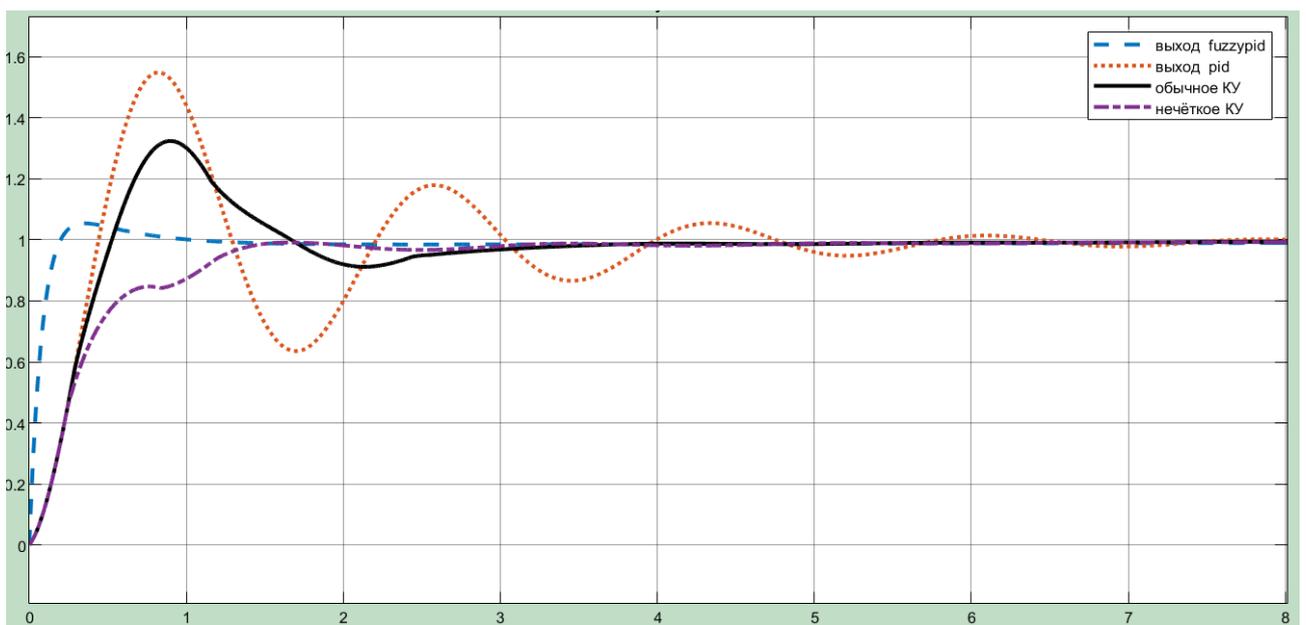


Рисунок 4.31 - Результаты работы при постоянном времени T_1 объекта управления $T_1 = 7$

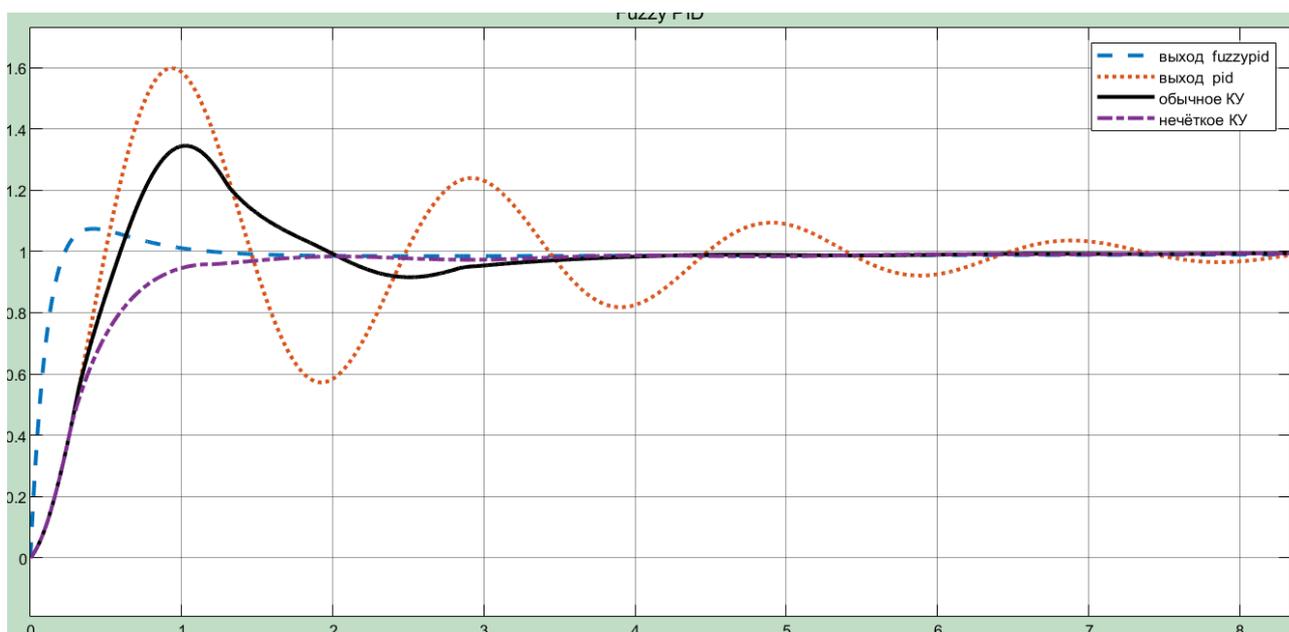


Рисунок 4.32 - Результаты работы при постоянном времени T_1 объекта управления $T_1 = 9$

Можно заметить нечеткий ПИД-регулятор имеет преимущество в скорости регулирования при изменении постоянного времени T_1 объекта управления, однако при увеличении постоянного времени T_1 объекта управления, использующая этот метод, имеет небольшое перерегуливание.

Нечеткое ПКУ с фазовым опережением на качество переходного процесса лучше всего, хотя его скорость регулировки не самая быстрая, его переходный процесс почти не меняется при изменении параметра T_1 , моделирование показало эффективность применения разработанного нечеткого регулятора на нестационарном объекте второго порядка, при изменении постоянной времени объекта в широком диапазоне.

5 СТРУКТУРА ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА

5.1 Назначение, состав и технические характеристики контроллера SIMATIC S7-400

Общие сведения контроллера Simatic S7-400 его назначение и технические характеристики

Для работы в настоящей ВКР используется контроллер серии Simatic, модель S-400. Именно он был выбран по следующим причинам:

- модульная структура; конечный вид устройства определяется набором требований к нему. В состав системы могут входить несколько центральных процессоров, которые обеспечивают непосредственно выполнение зашитых в контроллер программ, модули ввода-вывода различного типа сигналов и пр.

- данный контроллер применяется для решения задач средней и высокой сложности, а самое главное – его используют в реальных проектах;

- простота программирования с помощью, адаптированного под нужды разработчиков пакета программ SIMATIC STEP-7, поддерживающий языки программирования стандарта МЭК 6-1131/3.

В конечном виде в зависимости от требований, предъявляемых к системе, устройство может включать в себя:

- модуль блока питания;
- модуль центрального процессора, обеспечивающий выполнение программ и управление узлами контроллера;
- сигнальный модуль (тот самый ввод-вывод аналоговых и дискретных сигналов);
- модуль коммуникации, обеспечивающий подключение контроллера к различным сетям [9].

Внешний вид одной стойки контроллера SIMATIC S7-400 определенной конфигурации показан на рис. 5.1.

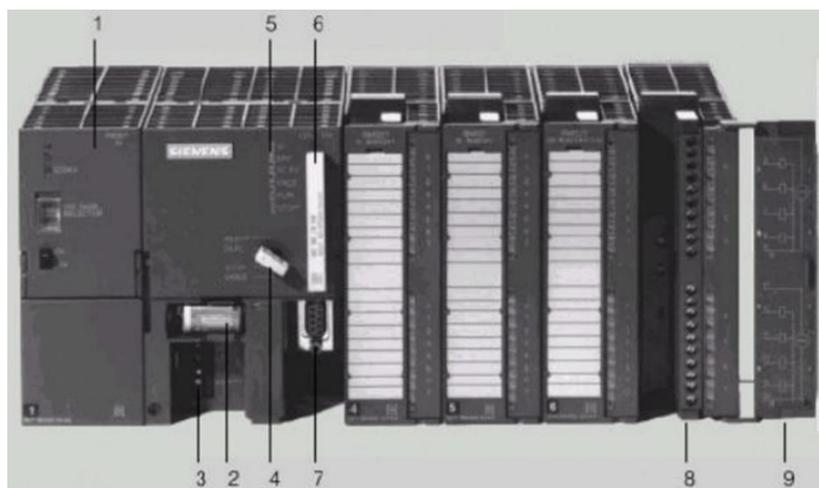


Рисунок 5.1 – Внешний вид стойки контроллера S7–400.

На рис. 5.1. приведены обозначения: 1 – блок питания, 2 – буферная батарея (для всех CPU кроме 312FM), 3 – клеммы для подключения питания 24В, 4 – ключ переключения режимов работы, 5 – светодиоды индикации состояния системы, 6 – submodule памяти (для всех CPU кроме 312FM), 7 – разъем многоточечного интерфейса MPI, 8 – фронтальный соединитель, 9 – защитная крышка. Система S7-400 имеет несколько типов центральных процессоров: CPU 312FM, CPU 313, CPU 314FM, CPU 314, CPU 315, CPU 315-2DP, CPU 316, CU 318-2DP.

Таблица 5.1 – Характеристика процессоров

CP U	313	314FM	316DP	318DP	312FM	314	315/315DP
1	12 Кб	32 Кб	128 Кб	512 Кб	6 Кб	24 Кб	48/64 Кб
2.1	20 Кб	48 Кб	192 Кб	64 Кб	20 Кб	40 Кб	80 Кб/96
2.2	- до 4	48 Кб	-	-	20 Кб	- до 4	Кб - до 4
2.3	Мб	до 4 Мб	до 4 Мб	до 4 Мб	-	Мб	Мб
3	0.6	0.3 - 0.6	0.3 - 0.6	0.1	0.6 -1.2	0.3 - 0.6	0.3 - 0.6
4	2	1	1	0.1	2	1	1
5	256	992	16384	65536	256	1024	1024 / 8192
6	64/32	248/124	1024	4096	64/32	256/128	256/512
7	31	31	31	31	31	31	31
8	1	1+3	1+3	1+3	1	1+3	1+3
9	8	до 32	до 32	до 32	8	до 32	до 32
10	0/1	0/1	1/1	2/2	0/1	0/1	0/1 1/1
11	0/8	0/16	124/64	125/64	0/8	0/16	0/32 64/64

На табл. 5. 1. Приведены наименования:

- 1 - объём встроенной памяти, 2 – объём загруженной встроенной памяти,
- 3 - объём загружаемого расширенного ЭЭПРОМ,
- 4 - Flash EEPROM карта
- 5 - времени выполнения логики - mx,
- 6 - Времени выполнения операций с плавающими запятыми - mks,
- 7 - число декретов в/вы.
- 8 - число аналогов в/ы.
- 9 - число интерфейсных станций, используемых MPI.
- 10 - число стоек централизованной системы,
- 11 - число модулей системы [9].

5.2 Программная реализация нечеткого псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением в пакете STEP7

Программную реализацию нечеткого псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением можно представить в виде 4 основных этапов: вычисление ошибки регулирования, реализация механизмов нечеткой логики для вычисления коэффициента Т корректирующего устройства, реализация ПИД-регулятора и моделирование объекта управления. Данные операции представлены в структурном элементе проекта Step7. Сначала происходит вычисление ошибки, которая является входным сигналом для блока нечеткой логики, в котором вычисляется значение коэффициента Т передаточной функции корректирующего устройства.

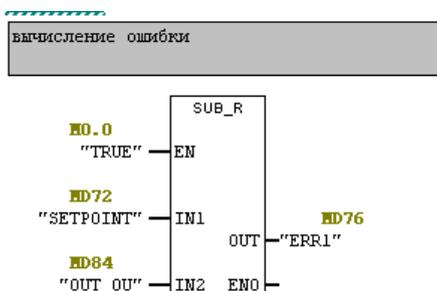


Рисунок 5.2 – вычисление ошибки регулирования

В данном блоке происходит вычисление ошибки регулирования. Входами блока являются значение текущей ошибки регулирования и уставки регулирования.

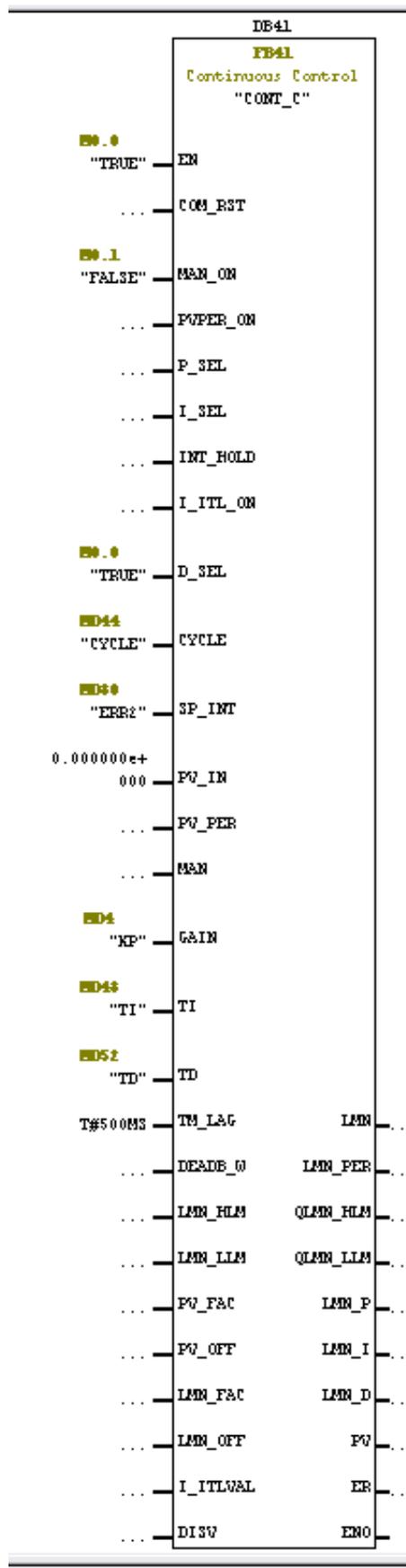


Рисунок 5.3 – Блок для реализации ПИД-регулятора

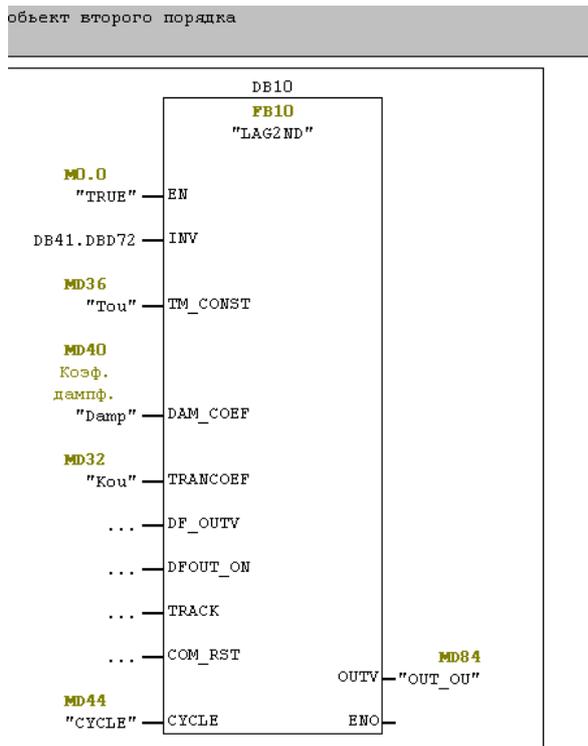


Рисунок 5.4 – передаточная функция объекта управления второго порядка

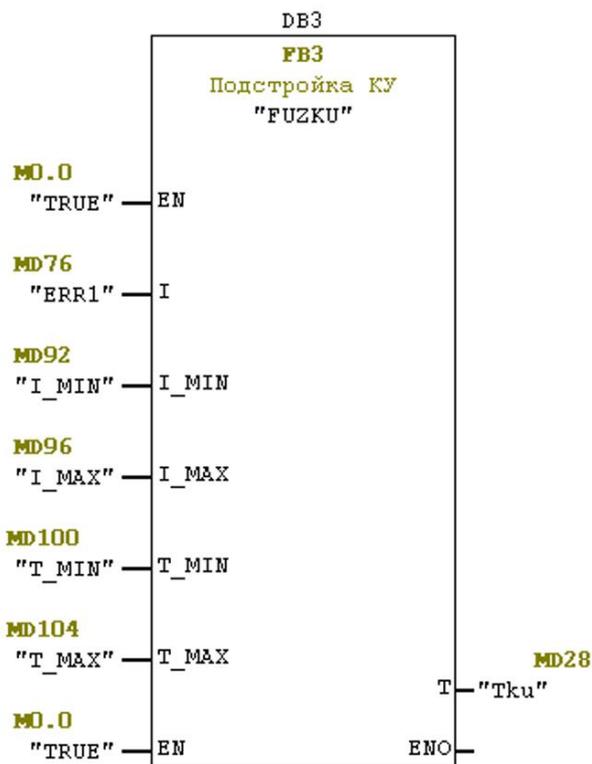


Рисунок 5.5 – блок для дефазификации

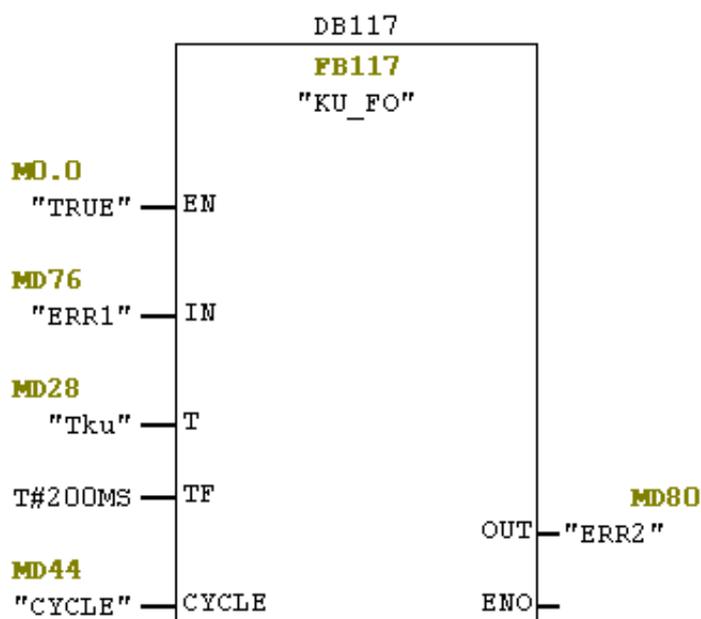


Рисунок 5.6 – блок для реализации ПКУ

Блок нечеткой логики реализуется при помощи представления функций принадлежности входных и выходных переменных в виде FUZ_KY, с помощью блока, описанного ранее. Значение четкой входной переменной подается на блок фазификации, где определяется степень принадлежности данной переменной каждой из функций принадлежности. Далее проверяется факт пересечения второй и третьей функции принадлежности. После чего фазифицированные значения поступают на блок дефазификации, где происходит получение четкого значения выходной переменной. Так как каждому блоку дефазификации соответствует свое четкое значение, то необходимо определить какое из них подавать на корректирующее устройство. (в данной работе выходным сигналом аппарата нечеткой логики является коэффициент T передаточной функции корректирующего устройства с фазовым опережением).

Конкретные блоки, которые реализуют нечеткую функцию содержатся в приложении.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
5. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,03	5	4	5	0,15	0,12	0,15
6. Срок выхода на рынок	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
7. Наличие сертификации разработки	0,03	5	4	4	0,15	0,12	0,12
Итого	1	82	67	64	5,04	3,96	3,68

Расчет конкурентоспособности, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что предлагаемое в данной ВКР решение обладает конкурентоспособностью.

6.1.2 SWOT-анализ

Выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. улучшить фазовый резерв системы	Сл1. Недостаток понимания на язык FBD
С2. Восстановите информацию быстрее	Сл2. Долгосрочное устранение ошибок в программе
С3. способность справляться с внешними изменениями	Сл3. Высокие требования к знаниям ПЛК
С4. Высокая скорость переходного процесса	Сл4. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.
С5. Очистить процесс	Сл5. Вероятность получения проблема ПЛК.
Возможности	Угрозы
В1. Помогите другим лучше понять информацию о КУ	У1. Снижение стоимости разработок конкурентов.

В2. Помогите другим лучше выбрать регулятор	У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.
В3. Легко работать на ПЛК	
В4. Появление потенциального спроса на новые разработки.	

Таблица 6.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	-	-	-
	B2	-	-	+	-	-
	B3	-	-	-	-	+
	B4	-	-	-	+	-

Таблица 6.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	-	-	+	+
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-	-

Таблица 6.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-

Таблица 6.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
-------------------------------	--	--	--	--	--	--

Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	+	+	-
	У2	-	-	-	-	-

Результаты выполнения SWOT-анализа представлены в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Результаты SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. Улучшить фазовый резерв системы</p> <p>С2. Меньше перерегулирование</p> <p>С3. Способность справляться с внешними изменениями</p> <p>С4. Высокая скорость переходного процесса</p> <p>С5. Очистить ненужный процесс</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Недостаток понимания на язык FBD</p> <p>Сл2. Долгосрочная отладка для сокращения ошибок регулирования</p> <p>Сл3. Высокие требования к знаниям ПЛК</p> <p>Сл4. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.</p> <p>Сл5. Вероятность получения проблема ПЛК.</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Помогите другим лучше понять информацию о КУ</p> <p>В2. Помогите другим лучше выбрать регулятор</p> <p>В3. Легко работать на ПЛК</p> <p>В4. Появление потенциального спроса на новые разработки.</p>	<p>Направления развития</p> <p>В1С1С2. Можно сократить расходы на исследования</p> <p>В2С3. Выбор правильной регулятора системы может повысить скорость переходного процесса.</p> <p>В3С5. Можно повысить скорость индустриального производства.</p>	<p>Сдерживающие факторы</p> <p>В1Сл1Сл4Сл5. Лучшее понимание информации о регуляторе может быстрее удовлетворить потребности индустриальных производств</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Снижение стоимости</p>	<p>Угрозы развития</p> <p>У1С1С2. Лучшее</p>	<p>Уязвимости:</p> <p>У1Сл3Сл4. Доступ к</p>

разработок конкурентов. У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.	понимание информации о ПЛК и повышение уровня программирования на языке FBD могут эффективно сократить расходы на исследования	учебным и исследовательским материалам для улучшения дизайна программы может эффективно сократить расходы на исследования
---	--	---

Результаты проведенного SWOT-анализа учтены в процессе дальнейшей разработки структуры работ, которые необходимо выполнить в научно-исследовательском проекте.

6.2. Планирование научно-исследовательских работ

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по выполнению НТР представлены в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – 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	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения ВКР	Студент-инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Студент-инженер
	4	Выбор методов исследования	Студент-инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Студент-инженер, научный руководитель
	6	Проведение эксперимента	Студент-инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов НИР	Студент-инженер
	8	Оценка эффективности результатов	Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта	9	Составление пояснительной записки	Студент-инженер

документации по ОКР)	10	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Студент-инженер
	11	Социальная ответственность	Студент-инженер

Определение трудоемкости выполнения научного исследования проведено экспертным путем в человеко-днях. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожi}$ использована следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (6.1)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Исходя из рассчитанной ожидаемой трудоемкости работ, была определена продолжительность каждого этапа работы (в рабочих днях T_p), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, а также возможность выполнения нескольких видов работ в один временной промежуток. Далее с помощью формулы 2 рассчитана продолжительность одной работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (*.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 6.9.

Таблица 6.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожi}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	1		4		2,2		2,2	3
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	1	4	4	2,2	2,2	2,2	3
3. Обзор научной литературы		5		10		7	7	11
4. Выбор методов исследования		3		5		3,8	3,8	6
5. Планирование эксперимента		25		30		27	27	41
1. Проведение эксперимента		20		30		24	24	36

7. Анализ полученных результатов НИР		4		8		5,6	5,6	8
8. Оценка эффективности результатов	4		8		5,6		5,6	8
9. Составление пояснительной записки		4		10		6,4	6,4	10
Итог	6	62	16	97	10	76	83,8	126

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – студент-инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 6.10).

Таблица 6.10 – Диаграмма Ганта

№	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	3	■												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	3	■ ■												
3	Обзор научной литературы	Исп2	11	■	■	■										
4	Выбор методов исследования	Исп2	6		■	■										
5	Планирование эксперимента	Исп2	41			■	■	■	■	■	■					
6	Проведение эксперимента	Исп2	36							■	■	■	■	■		
7	Анализ полученных результатов НИР	Исп2	8											■	■	

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d)k_p = 37700 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 73515 \text{ руб. (6.6)}$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d)k_p = 23800 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 46400 \text{ руб. (6.7)}$$

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).

Таблица 6.12 – 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 6.13 – 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	37700	0,3	0,2	1,3	73515	3078,1	10	30781
Инженер	23800	0,3	0,2	1,3	46400	5517,9	30	73194,4
Итого:								103975,4

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = K_{доп} * Z_{осн} = 0,15 * 30781 = 4617,2 \text{ руб (6,8)}$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = K_{доп} * Z_{осн} = 0,15 * 73194,4 = 10979,2 \text{ руб (6,9)}$$

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

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{внеб} = K_{внеб}(Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 * (30781 + 4617,2) = 10619,46 \text{ руб (6.10)}$$

Для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 * (73194,4 + 10979,2) \\ = 25251,96 \text{ руб} \quad (6.11)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – 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)

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$Z_{\text{накл}} = \left(\frac{\text{сумма статей}}{4} \right) * k_{\text{нр}} = (103975,4 + 15596,4 + 35817,42) * 0,2 \\ = 31088,64 \text{ руб} \quad (6.12)$$

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

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «Автоматизация распознавания типов файловых систем по их сигнатурам, при их частичном повреждении.» по форме, приведенной в таблице 6.14.

Таблица 6.14 – Группировка затрат по статьям

Варианты исполнения	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчислен на социальные нужды	Итого ФОТ	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
Текущий проект	103975,4	15596,4	35817,42	155443,22	31088,64	186531,86
Исп.1	105908,58	15886,287	36538,46	15833,32	3066,68	19000,00
Исп.2	120000	18000	41400	179400	20600	20000,00

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

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в ходе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НТР рассмотрены:

- 1) базовое псевдолинейные корректирующие устройства
- 2) базовой ПИД-регулятор

Интегральный финансовый показатель вариантов выполнения проектируемого объекта определялся по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (6.13)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 186531,86$ руб, $\Phi_{\text{исп.1}} = 190000$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 200000$ руб

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.про}} = \frac{\Phi_{\text{тек.про.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{186531,86}{190000} = 0,98$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{190000}{190000} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{190000}{200000} = 0,984$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом

признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НТР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 6.15).

Таблица 6.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НТР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.1	Исп.2
1. Удобство в эксплуатации	0,4	3	4	3
2. Стабильность работы	0,4	5	4	4
3. Стоимость исследования	0,1	5	4	4
4. Ремонтопригодность	0,1	4	3	3
ИТОГО	1	4,5	3,7	4,25

$$I_{p1} = 0,4 * 3 + 0,4 * 5 + 0,1 * 5 + 0,1 * 4 = 4,1;$$

$$I_{p1} = 0,4 * 4 + 0,4 * 4 + 0,1 * 4 + 0,1 * 3 = 3,9;$$

$$I_{p1} = 0,4 * 4 + 0,4 * 4 + 0,1 * 4 + 0,1 * 3 = 3,9$$

На основании полученных интегрального финансового показателя и интегрального показателя ресурсоэффективности был рассчитан интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{варі}$) по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{финр}} \quad (6.14)$$

$$I_{вар1} = \frac{4,1}{0,98} = 4,18, \quad I_{вар2} = \frac{3,9}{1} = 3,9, \quad I_{вар3} = \frac{3,9}{0,984} = 3,96$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НТР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 6.16).

Таблица 6.16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп. 1	Исп.2
1	Интегральный финансовый	0,98	1	0,984

	показатель разработки			
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,1	3,9	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	4,18	3,9	3,96
	ИТОГО	9,26	8,8	8,844
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Вар.1/Вар.1 = 1,0	Вар. 2/Вар. 1 = 0,95	Вар. 3/Вар. 1 = 0,96

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово и ресурсоэффективным является вариант 1 (Текущий проект), так как показатель его сравнительной эффективности по отношению к каждому из сравниваемых вариантов больше 1.

7 Социальная ответственность

Целью выпускной квалификационной работы является разработка программная реализация промышленном контроллере нечеткого регулятора для управления объектом второго порядка.

Разработка программная реализация промышленном контроллере нечеткого регулятора для управления объектом второго порядка выполняются с использованием персонального компьютера и промышленного контроллера «SIMATIC S7-400», в замкнутом помещении в условиях искусственного освещения.

Все работы проводились в 113А аудитории 10 корпуса ТПУ.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В соответствии с 94 статьей ТК РФ длительность рабочей смены для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, где установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать:

- 1) при 36-часовой рабочей неделе – 8 часов;
- 2) при 30-часовой рабочей неделе и менее – 6 часов [13].

В течение рабочего дня (смены) работник должен получить перерыв на отдых и обед продолжительностью не более двух часов и не менее 30 минут, которые не включаются в рабочее время.

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 [14], конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. Большое значение имеет также характер работы.

Основными элементами на рабочем месте являются стол и кресло. главное место работы - сидеть. Поэтому, чтобы исключить возникновение заболеваний, связанных с низкой текучестью кадров, необходимо иметь возможность свободно менять позы. Необходимо также наблюдать за работой и

отдыхом в системе, заполненной "отвлекающими" мышечной нагрузкой на те части мышечной кости, которые не включены в основные рабочие позы. рабочее кресло должно быть оборудовано подъемно - поворотным механизмом. высота сиденья должна быть установлена в пределах (400 - 500) мм, глубина сиденья должна составлять не менее 380 мм, а ширина - не менее 400 мм. высота опоры спинки должна быть не менее 300 мм, ширина - не менее 380 мм, угол наклона спинки стула к плоскости кресла должен изменяться (90° - 110°).

7.2 Производственная безопасность

Работы по исследованию и реализации нечеткого регулятора относятся к категории работ, связанных с опасными и вредными производственными факторами.

Вредные производственные факторы – факторы, воздействие которых на человека может привести к его заболеванию и снижению работоспособности.

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

Перечень возможных опасных и вредных факторов представлен в таблице 7.1.

Таблица 7.1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы ГОСТ 12.0.003-2015[12]	Нормативные документы
1.Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
2.Превышение уровня шума	ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
3.Превышение уровня вибрации	ГОСТ 12.1.012-2004. Система стандартов

	безопасности труда. Вибрационная безопасность.
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	<u>СНиП 23-05-957 Естественное и искусственное освещение</u> ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
5. Монотонность труда, вызывающая монотонию;	ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
6. Длительное сосредоточенное наблюдение.	ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
7. Электробезопасность – Статическое электричество – Короткое замыкание	ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;

7.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Требования к параметрам микроклимата определяются согласно СанПиН 1.2.3685-21 [15]. Показатель микроклимата должен обеспечивать поддержание теплового баланса между людьми и окружающей средой и поддерживать оптимальное или допустимое теплое состояние организма, обеспечивая тем самым высокий уровень эффективности.

Отклонение от микроклиматических показателей может быть вызвано особенностями конструкции производственных объектов, функциями производственного оборудования и климатическими условиями окружающей среды.

Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата приведены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	(22 – 24)	(21 – 25)	(40 – 60)	0,1
Теплый	Ia (до 139)	(23 – 25)	(22 – 26)	(40 – 60)	0,1

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата и поддержания его оптимальных условий должны быть использованы защитные мероприятия: введение системы местного кондиционирования воздуха, регламентация времени работы и т.д.

7.2.2 Превышение уровня шума

Во время разработки описываемой системы основными источниками шума является ПК.

Шум на рабочем месте стимулирует работника, увеличивает его утомление, а выполнение задач, требующих внимания и концентрации, может привести к увеличению ошибок и увеличению продолжительности работы. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты.

Допустимые шумовые характеристики рабочих мест регламентируются согласно ГОСТ 12.1.003-2014 [16]. Выполняемые работы можно отнести к конструированию, проектированию и программированию, рабочее место при этом располагается в лаборатории для теоретических работ и обработки данных. Исходя из этого, уровень звука должен находиться в пределах 50 дБА, согласно ГОСТ 12.1.003-2014 [16]. Уровень шума исправного современного компьютера находится в пределах от 33 до 47 дБА. Рабочее место удовлетворяет нормативным требованиям.

В качестве мер защиты от шума можно применить отделку рабочего помещения и готового устройства звукопоглощающими и звукоизоляционными

материалами.

7.2.3 Повышенный уровень вибрации

Испытательный стенд оснащён электроприводом, вращающим насосные секции усилие, от которого передается через редуктор и предохранительную муфту. Поскольку в лаборатории много приборов, во время выполнения моей работы работал насос. Возможно возникать вибрации при работе, это является источником опасности, так как может нанести травмы рабочему.

Согласно ГОСТ 12.1.012-2004 [16], чтобы уменьшить вибрации, принял устройство подушки виброизолирующих.

7.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточная освещенность рабочей зоны может быть обусловлена особенностями устройства производственных помещений (недостаток источников естественного света), а также недостаточным количеством источников искусственного света.

Плохое освещение негативно воздействует на зрение, протекание биологических ритмов внутри организма, приводит к быстрому утомлению, снижению работоспособности, вызывает дискомфорт, является причиной головной боли и бессонницы. Все вышеприведенные факторы могут стать причинами несчастных случаев.

При разработке описываемой системы недостаток освещения может быть особенно ощутим при работе с ПК, на котором производятся все учебные и исследовательские работы.

Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК согласно СНиП 23-05-957 [17]. Данные требования представлены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК

Освещенность на рабочем столе	(300 – 500) лк
Освещенность на экране ПК	не выше 300 лк
Блики на экране	не выше 40 кд/м ²
Прямая блескостность источника света	200 кд/м ²
Показатель ослеплённости	не более 20

Показатель дискомфорта	не более 15
Отношение яркости:	
– между рабочими поверхностями	3:1–5:1
– между поверхностями стен и оборудования	10:1
Коэффициент пульсации:	не более 5%

В случае недостатка освещения можно предложить к исполнению следующие мероприятия: введение дополнительных источников искусственного света, помещения для отдыха, регламентация времени работы, сокращение рабочего дня и т.д.

7.2.5 Монотонность труда, вызывающая монотонию

Монотония — это специфическое функциональное состояние, характеризующееся снижением уровня жизнедеятельности в результате воздействия однообразных раздражителей, то есть снижением внешней стимуляции. Монотония чаще всего возникает как следствие рабочей ситуации, но может быть и результатом индивидуального стиля жизни или следствием сложившихся жизненных обстоятельств, которые вызывают скуку и «голод чувств». Проявлением рабочей монотонии является притупление остроты внимания, ослабление способности к его переключению, снижение бдительности, сообразительности, ослабление воли, появление сонливости. Для состояния характерны сонливость, безразличие или негативное отношение к работе, сниженное внимание, психогенная усталость, которая формируется уже в начале рабочего дня. При этом возникает неприятное эмоциональное переживание, заключающееся в стремлении выйти из этой обстановки. Все эти явления быстро исчезают при вхождении человека в нормальную внешнюю среду [18].

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.

7.2.6 Длительное сосредоточенное наблюдение.

Длительное сосредоточенное наблюдение необходимо на рабочих местах, где состояние наблюдаемого объекта все время изменяется, и деятельность работника заключается в периодическом решении ряда задач, непрерывно следующих друг за другом, на основе получаемой и постоянно меняющейся информации.

в моей работе нужно внимательно следить за переходом системы. Поэтому для уменьшения усталости от длительного сосредоточенного наблюдения, согласно ГОСТ 22269-76 [19], к рабочему месту исследователя можно предъявить следующие основные требования: конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должны обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины, обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы.

Также очень важно поддерживать оптимальный режим труда и отдыха, для профилактики и предотвращения психического и физического переутомления.

7.2.7 Электробезопасность

Процесс разработки описываемой системы связан с риском поражения электрическим током, который возникает в сети запитывания ПК и ПЛК

«SIMATIC S7-400», в случае прикосновения к не заизолированным или поврежденным проводникам электрического тока. Действие электрического тока на организм носит разносторонний характер. Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает термическое, электролитическое и биологическое воздействие на различные системы организма и может вызвать нарушения в работе жизненно-важных органов.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения электрическим током увеличивается или уменьшается. Не подключайтесь к земле при высокой влажности (с относительной влажностью более 75% в

течение длительного времени), высокой температуре (более 35°C), электропроводной пыли, электропроводности пола и металлических элементов при возможности одновременного контакта. Максимальное допустимое напряжение прикосновения и ток в соответствии с ГОСТ 12.1.038-82 [13].

Данные показатели представлены в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Предельно допустимые значения напряжения прикосновения и токов

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t, с										
		0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Переменный, 50 Гц	U, В I, мА	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60
		650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50

В качестве мер защиты от прямого контакта с проводниками тока, согласно ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ [20], необходимо применять следующие защитные меры:

Основная изоляция;

Защитные оболочки;

Безопасное расположение токоведущих частей, размещение их вне зоны досягаемости частями тела, конечностями.

При коротком замыкании резко и многократно возрастает сила тока, протекающего в цепи, что, согласно закону Джоуля — Ленца, приводит к значительному тепловыделению, и, как следствие, возможно расплавление электрических проводов с последующим возникновением возгорания и распространением пожара.

В целях уменьшения вероятности возникновения опасности вследствие короткого замыкания необходимо, чтобы электропроводка была скрытой.

Источниками возникновения электростатики, в промышленных условиях, являются компьютерная и офисная техника, прочие агрегаты и приборы, питающиеся от электрического тока. Например, у самого простого компьютера

имеется пара вентиляторов для охлаждения системного блока. При разгоне воздуха частички пыли, содержащиеся в нем, электризуются и, сохраняя заряд, оседают на окружающих предметах, коже и волосах людей и даже проникают в легкие.

Наибольшую опасность накопившееся статическое электричество представляет на промышленном производстве. Может произойти неожиданное воспламенение горючего материала искрами от прикосновения оператора с оборудованием на заземлении и последующим взрывом.

Мероприятие по защите от статического электричества является заземление. В состав заземляющего устройства входит заземлитель (проводящий элемент) и проводник заземления между заземляющей точкой на почве и заземлителем.

Все вышеперечисленные меры защиты соблюдены на рабочем месте.



Рисунок 7.1 – Фото учебного помещения, в котором производится работа

7.3 Экологическая безопасность

Воздействие на селитебную зону с учетом предусматриваемых мер по уменьшению неблагоприятного влияния их на среду обитания и здоровье человека в соответствии с санитарной классификацией промышленных объектов и производств устанавливаются следующие ориентировочные размеры санитарно-защитных зон: промышленные объекты и производства пятого класса - 50 м.

Воздействие на атмосферу не происходит.

Воздействие на гидросферу – продукты жизнедеятельности персонала

Воздействие на литосферу могут быть бытовые отходы (электронные устройства), утилизация люминесцентных ламп, макулатуры, в результате чего загрязнение почвы или загрязняющие вещества, двуокись углерода, попадают в атмосферу в случае пожара.

При завершении срока службы ПК, их можно отнести к отходам электронной промышленности. Пластмассовые части ПК утилизируются при высокотемпературном нагреве без доступа воздуха. Части компьютера, печатные платы, содержащие тяжелые металлы и замедлители горения могут при горении выделять опасные диоксиды. Поэтому для опасных отходов существуют специальные печи, позволяющие использовать теплоту сжигания. Но подобный способ утилизации является дорогостоящим, поэтому не стоит исключать вероятность образования токсичных выбросов.

В конце срока службы ПК они могут быть отнесены на счет отходов электронной промышленности. пластмассовые компоненты РС обрабатываются при высокой температуре нагрева, без входа воздуха. Компьютерные компоненты, печатные платы, содержащие тяжелые металлы, и огнезащитные составы при сгорании выделяют опасный углекислый газ. Таким образом, в отношении опасных отходов существуют специальные печи, в которых допускается использование теплоты для сжигания. Однако такой способ удаления является дорогостоящим и не должен исключать возможности образования токсичных выбросов

При неправильной утилизации люминесцентных ламп ртуть попадает в почву, воду, воздух. Через них она питает животных или растения, попадая после этого в организм человека в виде пищи. Прямое попадание может привести к смерти человека.

Следовательно, необходимо утилизировать люминесцентные лампы с помощью специализированных организаций, имеющих лицензию на данный вид деятельности

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Учитывая специфику разрабатываемых систем, наиболее вероятная чрезвычайная ситуация при разработке и эксплуатации оборудования будет связана с пожарами. Пожар мог произойти из-за неисправности проводов.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования, наличие углекислотного огнетушителя типа ОУ-2 или порошкового типа ОП-5.

К режимным относятся установление правил организации работ и соблюдение противопожарных мер.

Мероприятия по устранению и предупреждению пожаров

Для предупреждения возникновения пожара необходимо соблюдать следующие правила пожарной безопасности:

— исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);

— применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов.

— Необходимо в аудитории проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия:

— организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;

— эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;

—технические и конструктивные, связанные с правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Организационные мероприятия:

—противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;

—обучение персонала правилам техники безопасности;

издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

—соблюдение эксплуатационных норм оборудования;

—обеспечение свободного подхода к оборудованию;

—содержание в исправности изоляции токоведущих проводников.

Технические мероприятия:

—соблюдение противопожарных мероприятий при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В аудитории 113а 10 корпуса имеется порошковый огнетушитель типа ОП–5, установлен рубильник, обесточивающий всю аудиторию, на двери аудитории приведен план эвакуации в случае пожара, и на досягаемом расстоянии находится пожарный щит (1 этаж 10 корпус). Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться углекислотные огнетушители типа ОУ–2 или порошковые типа ОП–5.

—профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

Кроме устранения самого очага пожара, нужно своевременно организовать эвакуацию людей.



Рисунок 7.2 – План эвакуации из аудитории 113а

Вывод по разделу «Социальная ответственность»

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

Категория помещения по электробезопасности, согласно ПУЭ, соответствует первому классу – «помещения без повышенной опасности» [21].

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 [22].

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) [23].

Помещение лаборатории категории помещения группы Г — умеренная пожароопасность, возможный класс пожара В. 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.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был разработан, смоделирован и программно реализован нечеткий регулятор на основе классического ПИД-регулятора и псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением, работающим на основе аппарата нечеткой логики.

Моделирование показало эффективность применения разработанного нечеткого регулятора на нестационарном объекте второго порядка, при изменении постоянной времени объекта в широком диапазоне.

Применение нечеткого регулятора позволяет САР оставаться устойчивой, при этом качество САР без применения нечеткого регулятора является намного худшим.

Также в результате выполнения работы псевдолинейный регулятор был реализован программно в пакете STEP7 на языке FBD. В процессе реализации использовались как стандартные блоки пакета, так и пользовательские функциональные блоки.

Список использованных источников

1. F. Fujitec, FLEX-8800 series elevator group control system, Fujitec Co., Ltd., Osaka, Japan, 1988.
2. Kovacic Z., Bogdan S. Fuzzy Controller Design. Theory and Applications - Arlington: Taylor & Francis Group. 2006.
3. Li H.-X., Chen G.-R. Dual features of conventional fuzzy logic control - Acta Automatica Sinica. 2001. - P. 447—459. <
4. Li H.-X., Gatland H. B. A new methodology for designing a fuzzy logic controller – IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1995. - P. 505-512.
5. Li H.-X., Gatland H. B., Green A. W. Fuzzy variable structure control - IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part B. 1997. - P. 306-315.
6. Li W. Design of a hybrid fuzzy logic proportional plus conventional integral-derivative controller - IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 1998. - P. 449-463.
6. Топчиев Ю.И. Нелинейные корректирующие устройства в системах автоматического управления. – М.: Машиностроение, 1971. – 466 с.
7. А. М. Шубладзе, Методика расчета оптимальных по степени устойчивости ПИД-законов управления. II, Автомат. и телемех., 1987, выпуск 6, 50–59
8. ПИД-закон регулирования. Методы нахождения ПИД коэффициентов Зорин С.В., к. ф.-м. н.
9. Программируемые контроллеры S7-400
10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА «SWOT-АНАЛИЗ» В.С. Катькало, А.С. Веселова, С.В. Смельцова
11. Разбираем диаграмму Ганта — инструмент, который должен знать каждый менеджер <https://skillbox.ru/media/management/razbiraem-diagrammu-ganta-instrument-kotoryy-dolzhen-znat-kazhdyy-menedzher/>
12. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.
13. ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов»
14. ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя

15. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
16. ГОСТ 12.1.012-2004. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность.
17. СНиП 23-05-957 Естественное и искусственное освещение
18. Монотония
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%8F>
19. ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего
20. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
21. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) 7-ое издание (утв. Приказом Минэнерго РФ от 8 июля 2002 г. N 204)
22. Приказ Минтруда России от 24.07.2013 N 328н (ред. от 15.11.2018) "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок" (Зарегистрировано в Минюсте России 12.12.2013 N 30593)
23. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"
24. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети: Монография. – М., ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 221 с.
25. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. - СПб.: БХВПетербург, 2005 - 736 с.
26. Виленкин Н. Я. Рассказы о множествах. 3-е издание. — М.: МЦНМО, 2005. — 150 с

27. Лисицына Л.С., Основы теории нечетких множеств– СПб: Университет ИТМО, 2020. – 74 с.

28. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. - Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. - 320 с.

Приложение А

ПКУ с фазовым опережением

FB117 : KY с фазовым опережением

Block Comment...

Network 1: SCL network

compiled by SCL compiler version: SCLCOMP K05.03.08.00_01.05.00.01 release

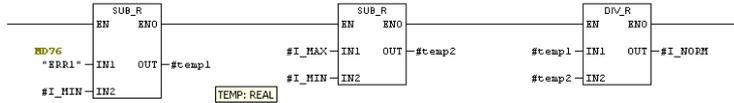
```
SET
SAVE
= L 16.1
L #T
L #CYCLE
<=D
JCN A7d0
T #T
A7d0: L #TF
L #CYCLE
<=D
JCN A7d1
T #TF
A7d1: L #T
DTR
L 1.000000e+003
/R
T #T_S
L #TF
DTR
L 1.000000e+003
/R
T #T1_S
L #CYCLE
DTR
L 1.000000e+003
/R
T #CYCLE_S
L #IN
L #IN_OLD
-R
L #T_S
*R
L #CYCLE_S
TAK
T LD 18
TAK
L #IN
*R
L LD 18
+R
L #T1_S
TAK
T LD 18
TAK
L #CYCLE_S
+R
L LD 18
TAK
/R
T #OUT_FIL
T #OUT_FIL_OLD
L #IN
T #IN_OLD
TAK
L 0.000000e+000
>R
JCN A7d2
L 1.000000e+000
T #OUT_SIGN
JU A7d3
A7d2: L #OUT_FIL
L 0.000000e+000
==R
JCN A7d4
T #OUT_SIGN
JU A7d3
A7d4: L -1.000000e+000
T #OUT_SIGN
A7d3: L #IN
ABS
L #OUT_SIGN REAL
*R
T #OUT
CLR
A L 16.1
SAVE
BE
```

Приложение В

Блок для фазификации и дефазификации

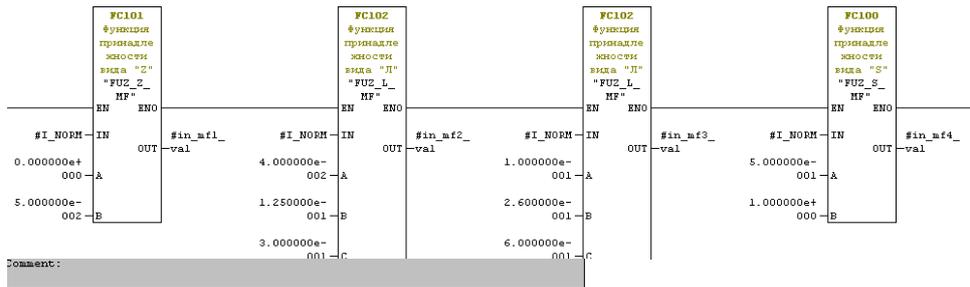
Network 2 : Нормализация

Comment:

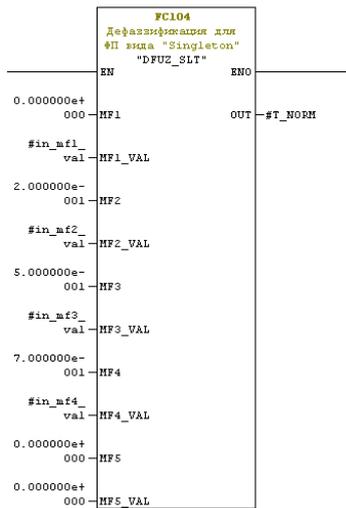


Network 3 : Фазификация

Comment:

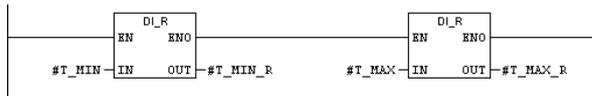


Comment:



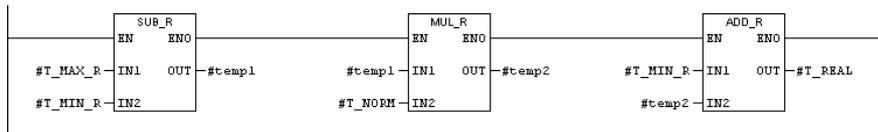
Network 5 : Преобразование T_NORM

Comment:



Network 6 : Title:

Comment:



Network 7 : Title:

Comment:

L #T_REAL
TRUNC
T #T