

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

Институт кибернетики
Направление подготовки 27.03.04 Управление в технических системах
Кафедра автоматизации и компьютерных систем

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Нечёткий псевдолинейный регулятор

УДК 681.515.01.0012

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8A21	Сипкова Наталья Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. АиКС	Скороспешкин Владимир Николаевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. МЕН	Николаенко Валентин Сергеевич			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Антоневич Ольга Алексеевна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. АиКС	Фадеев Александр Сергеевич	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Обладать естественнонаучными и математическими знаниями для решения инженерных задач в области разработки, производства и эксплуатации систем управления техническими объектами и средств автоматизации.
P2	Обладать знаниями о передовом отечественном и зарубежном опыте в области управления техническими объектами с использованием вычислительной техники
P3	Применять полученные знания (P1 и P2) для формулирования и решения инженерных задач при проектировании, производстве и эксплуатации современных систем управления техническими объектами и их составляющих с использованием передовых научно-технических знаний, достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
P4	Уметь выбирать и применять соответствующие методы анализа и синтеза систем управления, методы расчета средств автоматизации, уметь выбирать и использовать подходящее программное обеспечение, техническое оборудование, приборы и оснащение для автоматизации и управления техническими объектами.
P5	Уметь находить электронные и литературные источники информации для решения задач по управлению техническими объектами.
P6	Уметь планировать и проводить эксперименты, обрабатывать данные и проводить моделирование с использованием вычислительной техники, использовать их результаты для ведения инновационной инженерной деятельности в области управления техническими объектами.
P7	Демонстрировать компетенции, связанные с инженерной деятельностью в области научно-исследовательских работ, проектирования и эксплуатации систем управления и средств автоматизации на предприятиях и организациях – потенциальных работодателях, а также готовность следовать их корпоративной культуре
Универсальные компетенции	
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области автоматизации и управления техническими объектами, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам.
P10	Иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

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

Институт кибернетики
 Направление подготовки 270304 Управление в технических системах
 Кафедра автоматизации и компьютерных систем

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

Фадеев А. С.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
8A21	Сипковой Наталье Сергеевне

Тема работы:

Нечёткий псевдолинейный регулятор	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 702/с от 04.02.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

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>	- псевдолинейное корректирующее устройство с запоминанием экстремума; - псевдолинейное корректирующие устройство с фазовым опережением; - промышленный микропроцессорный контроллер “Кросс”; - программный пакет Isagraf.
---	--

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>	1. Анализ существующих корректирующих устройств систем автоматического регулирования и математического аппарата нечеткой логики. 2. Исследование свойств псевдолинейных корректирующих устройств с запоминаем экстремума и с фазовым опережением в ППП MatLab. 3. Программная реализация нечёткого регулятора.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация в формате *.pttx, 17 слайдов Слайд 1. Титульный лист Слайд 2. Цели и задачи Слайд 3. Типы корректирующих устройств Слайд 4. Структура САР с модифицированным регулятором Слайд 5. Кривые переходных процессов САР модифицированного ПИД-регулятора Слайд 6. Структура САР с КУ с запоминанием экстремума Слайд 7. Кривые переходных процессов с КУ Слайд 8. Структура САР с КУ с запоминанием экстремума и фазовым опережением Слайд 9. Переходные характеристики САР с КУ Слайд 10. Структура САР с нечётким регулятором Слайд 11. САР с нечётким ПИД-регулятором Слайд 12. Терм-множества лингвистических переменных Слайд 13. База правил для нечёткой логики Слайд 14. Кривые переходных процессов с нечётким и классическим регуляторами Слайд 15. Программное обеспечение Слайд 16. Техничко-экономическое обоснование НИР Слайд 17. Результаты
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и	Николаенко Валентин Сергеевич, ассистент каф. МЕН.

ресурсосбережение	
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Алексеевна, доцент каф. ЭБЖ.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: Нет	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. АиКС	Скороспешкин Владимир Николаевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8А21	Сипкова Наталья Сергеевна		

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

Институт кибернетики
Направление подготовки 27.03.04 Управление в технических системах
Кафедра автоматики и компьютерных систем
Уровень образования – бакалавр
Период выполнения – весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

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

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. АиКС	Скороспешкин Владимир Николаевич	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. АиКС	Фадеев Александр Сергеевич	к.т.н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8A21	Сипковой Наталье Сергеевне

Институт	ИК	Кафедра	АиКС
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Управление в технических системах

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос, наблюдение.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа: оценка потенциальных потребителей, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения НИ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение структуры и трудоёмкости работ в рамках НИ, , планирование бюджета НИ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчёт интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального финансового показателя, интегрального показателя ресурсоэффективности для всех видов исполнения НИ.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф.МЕН	Николаенко Валентин Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8A21	Сипкова Наталья Сергеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8A21	Сипковой Наталье Сергеевне

Институт	Кибернетики	Кафедра	АиКС
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Разрабатывается процесс программной реализации нечеткого псевдолинейного регулятора на базе промышленного микропроцессорного контроллера «КРОСС». Применяется в различных системах управления для улучшения качества технологических процессов.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Анализ выявленных вредных факторов:
 - повышенный или пониженный уровень влажности воздуха, температуры регламентирован ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;
 - недостаточная освещенность рабочей зоны регулируется СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий;
 - повышенный уровень электромагнитных излучений по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»;
 - повышенная напряжённость электрического поля регулируется ГОСТ 12.1.019-85. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
 - повышенный уровень шума регламентирован ГОСТ 12.1.003-83

	Шум. Общие требования безопасности; Анализ выявленных опасных факторов: - электрический ток (источником является ПЭВМ).
2. Экологическая безопасность: - защита селитебной зоны - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	При выполнении работы влияние на атмосферу и гидросферу не происходит. Возможное воздействие на литосферу – утилизация бытовых отходов и люминесцентных ламп.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: - перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	В рабочем помещении возможно ЧС техногенного характера – пожар (возгорание) регламентировано ГОСТ Р 22.0.02-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Нормативные правила к организации оборудования рабочих мест с ПЭВМ регулируется СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Антоневич О.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8А21	Сипкова Наталья Сергеевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа с. 96, рис. 27, табл. 21, ист. 37, прил. 6.

Ключевые слова: псевдолинейный нечёткий ПИД-регулятор, корректирующее устройство, система программирования Isagraf.

Объектом исследования являются псевдолинейный нечёткий ПИД-регулятор, система автоматического регулирования.

Цель работы – исследование и программная реализация системы автоматического регулирования с псевдолинейным нечётким ПИД-регулятором.

В процессе исследования проводились изучение псевдолинейных корректирующих устройств и исследование свойств систем автоматического управления объектами второго порядка с использованием ПИД-регулятора и псевдолинейных корректирующих устройств: фазопережающего корректирующего устройства и корректирующего устройства с запоминанием экстремума.

В результате выполнения работы был исследован и программно-реализован псевдолинейный ПИД-регулятор, позволяющий улучшить качество систем автоматического регулирования.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

КУ – корректирующее устройство;

ЛКУ – линейные корректирующие устройства;

НКУ – нелинейные корректирующие устройства;

ПКУ – псевдолинейные корректирующие устройства;

ОУ – объект управления;

ПИД-регулятор – пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор

САР – система автоматического регулирования;

САУ – система автоматического управления;

Оглавление

Введение.....	15
1 Анализ модификаций ПИД-регуляторов.....	17
1.1 Модификации ПИД-регуляторов.....	17
1.1.1 Классический ПИД-регулятор.....	17
1.1.2 Регулятор с весовыми коэффициентами при уставке	18
1.1.3 Регулятор отношений.....	19
1.1.4 Регулятор с внутренней моделью	20
2 Анализ корректирующих устройств систем автоматического регулирования.....	22
2.1 Линейные корректирующие устройства.....	22
2.2 Нелинейные и псевдолинейные корректирующие устройства.....	23
2.3 Псевдолинейные корректирующие устройств	25
3 Разработка и исследование в среде MatLab свойств систем автоматического регулирования с псевдолинейными корректирующими устройствами.....	32
3.1 Выбор метода настройки ПИД регулятора.....	32
3.2 Анализ и исследование свойств модифицированного псевдолинейного ПИД-регулятора	36
3.3 Исследование свойств САР с корректирующим устройством с запоминанием экстремума	40
3.4 Исследование свойств САР с фазоопережающим КУ и КУ с запоминанием экстремума	41
4 Анализ принципов построения нечётких ПИД-регуляторов.....	44
4.1 Нечёткий регулятор	45
5 Программная реализация регулятора в среде Isagraf для промышленного контроллера КРОСС	50
5.1. Назначение, состав и технические характеристики контроллера КРОСС	50
5.2. Программный пакет Isagraf.....	53
5.3. Программа для системы автоматического регулирования с псевдолинейным регулятором	54
5.4 Отладка и проверка работоспособности программ.....	57
5.4.1 Описание лабораторного стенда, используемого для программирования и проверки работоспособности программ	57

5.4.2.Результат проверки.....	58
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	59
6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	59
6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	59
6.1.2 SWOT – анализ	60
6.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	61
6.3 Планирование научно-исследовательских работ	62
6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	62
6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	64
6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования	64
6.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	66
6.4.1 Расчет материальных затрат НТИ	67
6.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	67
6.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	67
6.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	68
6.4.5 Накладные расходы.....	69
6.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ..	69
6.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..	70
7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	74
7.1 Производственная безопасность	74
7.1.2 Повышенные показатели микроклимата	75
7.1.3 Недостаточность освещенности рабочей зоны.....	76
7.1.4 Повышенный уровень шума.....	77
7.1.5 Повышенное Электромагнитное излучение.....	78
7.1.6 Психофизические факторы	79
7.1.7 Электробезопасность.....	80
7.2 Экологическая безопасность.....	80
7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	81
7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	82

7.4.1 Организационные мероприятия обеспечения безопасности рабочей зоны	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	84
CONCLUSION	86
Список использованных источников	87
Приложение А	91
Приложение Б	92
Приложение В	93
Приложение Г	94
Приложение Д	95
Приложение Е	96

Введение

Широкое использование систем автоматического регулирования во всевозможных сферах жизнедеятельности человека требует их постоянного усовершенствования. Из-за того, что ПИД-регуляторы используются в 90-95% регулирующих контуров, то не удивительно, что им уделяется такое пристальное внимание. Такое распространение объясняется тем, что подобный регулятор эффективен в работе с поставленной задачей управления для большинства технологических процессов, при этом он прост в исполнении и имеет компактную структуру [8].

Однако многие ОУ обладают свойством нестационарности параметров во времени. Таким образом, появляется необходимость постоянной или периодической подстройки параметров ПИД-регулятора под изменяющиеся во времени параметры ОУ. Избавиться от этой проблемы возможно с помощью внедрения в систему управления корректирующих устройств, таких как:

- КУ с фазовым опережением;
- КУ с амплитудным подавлением;
- КУ с запоминанием экстремума;
- Двухканальное КУ;

В данной работе приведены результаты исследования корректирующих устройств с фазовым опережением и КУ с запоминанием экстремума. В процессе работы смоделирован псевдолинейный ПИД-регулятор, который обеспечивает устойчивость и хорошо повышает качество переходного процесса системы автоматического регулирования за счет введения в свою структуру нечётких псевдолинейных корректирующих устройств, параметры которого способны подстраиваться в соответствии с изменением свойств объекта управления. Проведены исследования свойств

системы автоматического регулирования на основе нечёткого регулятора, включающего в свой состав нечёткое псевдолинейное корректирующее устройство с фазовым опережением и классическим ПИД-регулятором. Также система автоматического регулирования с псевдолинейным ПИД-регулятором, включающая в свой состав КУ программно реализовано в среде Isagraf, а работоспособность проверена на лабораторном стенде с помощью контроллера КРОСС.

1 Анализ модификаций ПИД-регуляторов

1.1 Модификации ПИД-регуляторов

Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор) изобретен давно, но из-за растущих требований к снижению времени регулирования, степени ослабления влияния возмущающих воздействии и к качеству переходного процесса, структура и методы практической реализации регуляторов совершенствуются до сих пор. Ниже представлена классификация наиболее эффективных и популярных модификации ПИД-регуляторов [8].

1.1.1 Классический ПИД-регулятор

ПИД-регулятор - устройство, применяемое в системах автоматического управления с целью поддержания заданного значения измеряемого параметра. ПИД-регулятор измеряет отклонение стабилизируемой величины от заданного значения (уставки) и выдаёт управляющий сигнал. Выходная величина $u(t)$ классического ПИД-регулятора описывается выражением:

$$u(t) = Ke(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}. \quad (1)$$

Пропорциональная составляющая вырабатывает выходной сигнал, который в свою очередь противодействует отклонению регулируемой величины от заданного значения, наблюдаемому в данный момент времени.

При использовании пропорционального регулятора (П-регулятор) значение регулируемой величины не может стабилизироваться на необходимом значении. При увеличении коэффициента усиления уменьшается статическая ошибка, и при чрезмерно большом значении

коэффициента усиления в системе возможно появление автоколебаний, что может и вовсе привести к потере устойчивости.

Для устранения статической ошибки используют интегральную составляющую. При условии, что система не испытывает внешних возмущений воздействий, регулируемая величина с течением времени начинает стабилизироваться на заданном значении, сигнал пропорциональной составляющей станет равным нулю, а выходной сигнал будет полностью обеспечивать интегральная составляющая.

На рисунке 1 представлена структурная схема ПИД-регулятора в системе с обратной связью, включающего в свой состав блок R – блок регулятора, блок O – блок объекта регулирования, r – управляющее воздействие, e – сигнал рассогласования или ошибки, u – выходная величина, y – регулируемая величина.

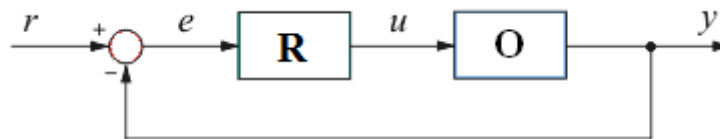


Рисунок 1 – Структурная схема регулятора в системе с обратной связью

1.1.2 Регулятор с весовыми коэффициентами при уставке

В системе с применением классического ПИД-регулятора сигнал ошибки e равен разности между задающим воздействием r и выходной переменной объекта y . Но, при отдельном вычислении ошибки e для пропорциональной, дифференциальной и интегральной составляющих, можно добиться значительного улучшения качества регулирования:

$$e_p = br - y, \quad e_d = cr - y, \quad e_i = e = r - y, \quad (2)$$

где e_p , e_d , e_i – ошибки для пропорциональной, дифференциальной и интегральной составляющей; b , c – настроечные (весовые) коэффициенты.

Структурная схема подобного регулятора изображена на рисунке 2.

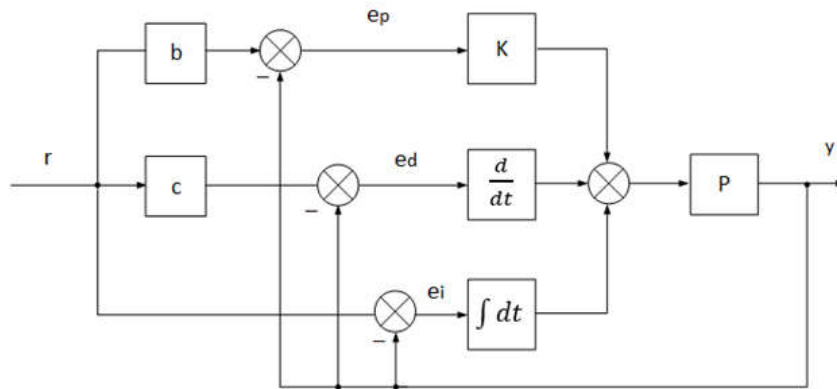


Рисунок 2 – ПИД-регулятор с весовыми коэффициентами при уставке

Уравнение данного регулятора имеет вид:

$$u(t) = K_p e_p(t) + K_i \int_0^t e_i(\tau) d\tau + K_d \frac{de_d}{dt}. \quad (3)$$

Необходимо отметить, что весовой коэффициент при интегральной составляющей отсутствует, это необходимо для обеспечения в установившемся режиме нулевой ошибки.

1.1.3 Регулятор отношений

Задача регулирования отношений возникает тогда, когда для системы становится важным поддержание не абсолютных значений параметров, а отношений между ними. Например, для решения задач смешения компонентов в заданных пропорциях, поддержания горения с заданным процентным содержанием кислорода в горючей смеси и т.п.[4]. На рисунке 3 представлена структура регулятора, способного справиться с такой задачей.

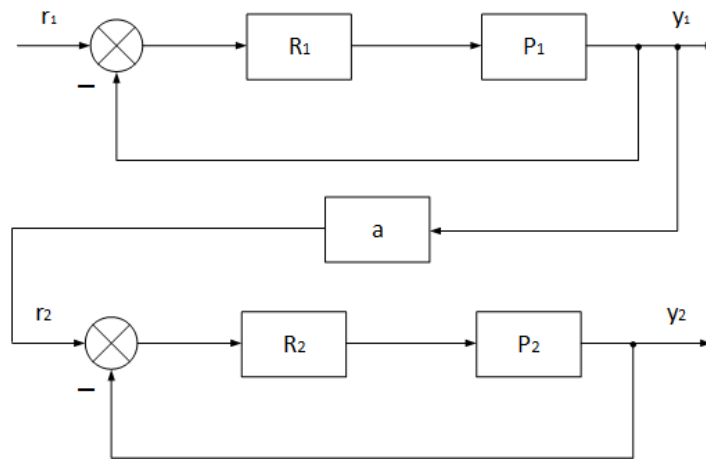


Рисунок 3 – Схема регулятора отношений

В систему включено несколько регуляторов. Первый регулятор поддерживает выходную величину y_1 , которая равна значению уставки r_1 . Значение уставки второго регулятора пропорционально регулируемой величине первого регулятора: $r_2(t) = ay_1(t)$. Величина соотношения определяется блоком a и изменяется в соответствии с алгоритмом работы системы.

Величина $y_1(t)$ способна изменять значения с некоторой задержкой относительно $r_1(t)$. Поэтому величина $y_2(t)$ отстает по времени от желаемого значения $ay_1(t)$.

1.1.4 Регулятор с внутренней моделью

Если модель $M(s)$ объекта $P(s)$ известна, то можно не прибегать к расчетам параметров ПИД-регулятора, используя регулятор с внутренней моделью. Здесь $F(s)$ – фильтр, имеющий передаточную функцию вида:

$$F(s) = \frac{1}{1+sT_f}. \quad (4)$$

Пусть Q – это обращенная модель объекта, то есть $Q(s) \approx M^{-1}(s)$. Знак приближенного равенства означает, что обращение модели редко можно выполнить точно.

Подобная схема регулятора изображена на рисунке 4.

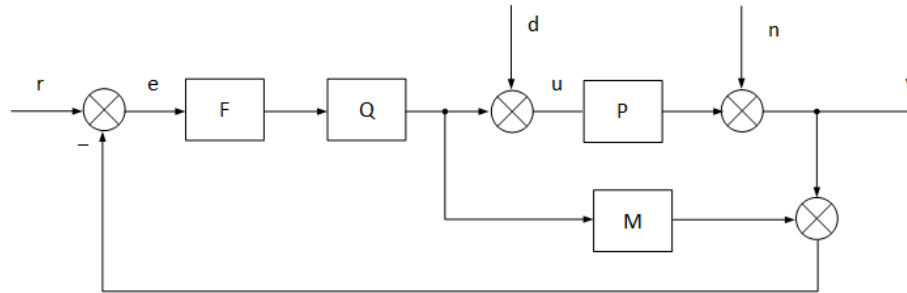


Рисунок 4 – Схема регулятора с внутренней моделью

Для описания принципа действия регулятора, изображенного выше, примем, что возмущения n и шумы измерений d отсутствуют, а модель ОУ и обращённая модель являются точными, то есть

$$M(s) = P(s), Q(s) = M^{-1}(s). \quad (5)$$

Тогда разность между сигналами на выходах процесса и модели равна нулю: $\varepsilon = 0$. Однако, в этом случае $y = PQFr$, и учитывая, что $QP = 1$ в силу (5), получим:

$$y = Fr. \quad (6)$$

Поскольку в установившемся режиме $F(s) = 1$, то в результате имеем $y = r$. Это означает то, что регулятор с внутренней моделью точно поддерживает значение уставки в статическом режиме.

В настоящей работе рассматривается классический ПИД-регулятор, который работает совместно с корректирующими устройствами.

2 Анализ корректирующих устройств систем автоматического регулирования

Системы автоматического управления, содержащие в своем составе только функционально необходимые элементы, служащие для реализации какого-либо принципа управления, имеют меньшие значения ошибки по сравнению с системами без автоматического управляющего устройства, но зачастую не способны достигать требуемых показаний качества. Для стабилизации системы и улучшения показателей качества переходного процесса, необходимо соответствующим образом прибегнуть к изменению частотных характеристик системы, т.е. осуществить коррекцию системы. Под коррекцией САУ будем понимать изменение динамических свойств (характеристик) с целью обеспечения требуемого запаса устойчивости, повышения динамической точности и показателей качества переходного процесса.

Основная цель, для которой используют различные виды корректирующих устройств, состоит в улучшении точности системы и качества регулирования переходных процессов. Однако наряду с этим путем дополнительного введения в систему корректирующих устройств решается более общая задача - обеспечение устойчивости системы, если она была неустойчивой, а затем и желаемого качества процесса управления.

2.1 Линейные корректирующие устройства

В процессе синтеза ЛКУ применяются два основных подхода. В первом случае, применяются корректирующие устройства определенного типа, в зависимости от цели использования. Перечислим некоторые виды подобных устройств:

- интегрирующее звено первого порядка, которое используется для улучшения точности управления, за счет повышения степени астатизма;

- пропорционально-дифференцирующее звено первого порядка, используемое для повышения запасов устойчивости;
- интегро-дифференцирующее звено, используемое для повышения запасов устойчивости;
- апериодическое звено, применяемое для фильтрации высокочастотных помех.

Второй подход заключается в синтезе ЛКУ, основанного на использовании желаемых логарифмических частотных характеристик, по которым имеется возможность определять частотные характеристики параллельных или последующих корректирующих устройств.

Линейные корректирующие устройства (ЛКУ) имеют ряд достоинств и повсеместно применяются для улучшения динамических свойств линейных и нелинейных автоматических систем. Также при их использовании упрощается процесс синтеза и исследования свойств системы автоматического управления. Но наряду с достоинствами ЛКУ имеют и свои недостатки. Основным недостатком является то, что изменение параметров устройств оказывает большое влияние на амплитудно-частотные характеристики и на фазо-частотные характеристики. При получении необходимой АЧХ, появляется возможность получения нежелательной ФЧХ для САУ.

2.2 Нелинейные и псевдолинейные корректирующие устройства

Для придания системе желаемых динамических качеств и компенсации вредного влияния, имеющихся в системе неустраняемых нелинейностей в автоматические системы иногда специально вводят НКУ.

Рассмотрим некоторые разновидности нелинейных корректирующих устройств, приведенных в [9].

1. Четырехполюсники последовательного и параллельного действия. В эту группу входят нелинейные КУ, псевдолинейные КУ и

комбинированные псевдолинейными называются устройства, у которых частотные характеристики не зависят от амплитуды входного сигнала и зависят только от частоты. Они могут быть реализованы в виде двух-, трех- и многоканальных четырехполосников;

- нелинейные КУ создаются путем включения в прямую цепь САУ, либо в обратную связь. Частотные характеристики зависят и от частоты входного гармонического сигнала, и от амплитуды;
- комбинированные корректирующие устройства состоят из нелинейных и из псевдолинейных корректирующих устройств.

2. Нелинейные законы управления представляют собой группу корректирующих устройств, которые характеризуются функциональными, логическими, оптимизирующими и параметрическими законами управления:

- функциональные нелинейные законы управления повышают устойчивость и качество систем автоматического управления и компенсируют влияние нелинейностей, присутствующих в системе. Они записываются в форме функциональных зависимостей от входных сигналов и их производных;
- логические законы управления придают возможность изменения структуры системы и изменение параметров элементов. Данные законы реализуются на основе логических блоков;
- оптимизирующие законы обеспечивают поддержание максимума или минимума на заданном уровне в течении процесса регулирования САУ. Реализация данных законов обеспечивается с помощью переключающих блоков и блоков умножения. В данном случае существует вероятность ситуации, при которой система становится независимой к изменению собственных параметров, из-за различных ограничений, накладываемых на управляющие функции;

- параметрические законы позволяют производить управление по отклонению от заданного закона или заданной программы, причем программа задается не во времени, а через текущие значения координат и скорости.
3. Нелинейные корректирующие устройства, использующие элементы неизменяемой части САУ, применяются в самонастраивающихся САУ или в системах с перестройкой структуры.

2.3 Псевдолинейные корректирующие устройств

К псевдолинейным корректирующим устройствам (ПКУ) относятся такие устройства, у которых эквивалентные амплитудные и фазовые характеристики не зависят от амплитуды входного сигнала, а их значения определяются только частотой. Как правило, у ПКУ отсутствует взаимосвязь между амплитудной и фазовой характеристиками [8]. Псевдолинейные корректирующие устройства не имеют жесткой связи между амплитудной и фазовой характеристиками. Они состоят из линейного фильтра (добавляющий фазовое опережение или запаздывание) и блоков математических операций.

ПКУ могут быть реализованы в виде двух-, трехканальных нелинейных фильтров, в которых каналы для амплитуды и фазы выполнены отдельно. В данных корректирующих устройствах, выходной сигнал формируется в виде произведения сигналов со всех каналах.

В системах автоматического управления наибольшее распространение получили следующие виды псевдолинейных корректирующих устройств:

- корректирующее устройство с амплитудным подавлением;
- корректирующее устройство с фазовым опережением;
- корректирующее устройство с отдельными каналами для фазы и амплитуды;
- корректирующее устройство с запоминанием экстремума.

Рассмотрим каждое из устройств более подробно.

Корректирующее устройство с амплитудным подавлением

Данное КУ позволяет на выходе получить подавление амплитуды с ростом частоты и без изменения фазы.

Структурная схема ПКУ с амплитудным подавлением показана на рисунке 5 [8].

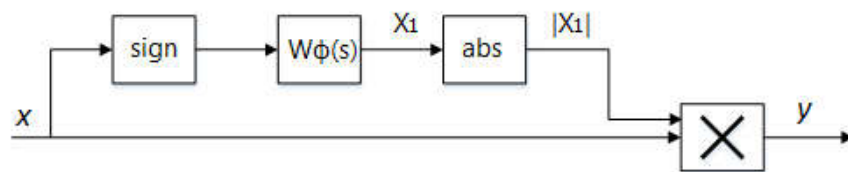


Рисунок 5 – ПКУ с амплитудным подавлением

Устройство имеет два канала и работает по следующим принципам. Сигнал на входе в ПКУ поступает сразу на два канала. Верхний(первый) канал состоит из блока SIGN, фильтра низких частот $W\phi(s)$ и блок выделения модуля (ABS). На второй канал поступает тот же сигнал, что и на вход. Полученная в результате гармонической реализации амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ) будет иметь вид:

$$W(j\omega) = a + jb \quad , \quad (7)$$

$$a = \frac{8}{\pi^2 \sqrt{1+T^2 \omega^2}} \left(1 + \frac{1}{3} \cos(2\theta)\right), \quad (8)$$

$$b = \frac{8}{\pi^2 \sqrt{1+T^2 \omega^2}} \left(\frac{1}{3} \sin(2\theta)\right). \quad (9)$$

где $\theta = -\arctg \omega T$; ω – угловая частота гармонических колебаний.

Работа подобного КУ происходит следующим образом. При наличии колебаний в САУ на вход КУ поступает сигнал гармонического вида. Проходя через первый (верхний) канал, происходит фильтрация и в результате уменьшается амплитуда его колебаний.

После прохождения блока умножения сигнала, проходящего через второй канал, на сигнал с блока модуля, происходит уменьшение амплитуды результирующего сигнала КУ по отношению к амплитуде сигнала на входе, без изменения фазы.

Итоговое действие данного КУ при наличии колебаний исходной регулируемой величины работает как свойство уменьшения коэффициента передачи, эффект которого положительно влияет на качество переходных процессов.

Корректирующее устройство с фазовым опережением

На рисунке 6 представлена схема псевдолинейного корректирующего устройства, с помощью которого возможно получить фазовое опережение без какого-либо изменения амплитуды.

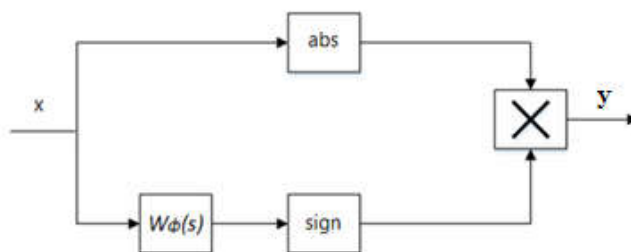


Рисунок 6 – Схема ПКУ с фазовым опережением

Известно, что частотные характеристики данного устройства не зависят от амплитуды входного гармонического сигнала [9, 10].

Принцип работы данного корректирующего устройства состоит в следующем. На вход в КУ поступает сигнал, он подается сразу же в оба канала. Первый (верхний) канал содержит блоки: усиление сигнала и получение модуля сигнала. Второй (нижний) канал содержит интегро-дифференцирующее звено и блок сигнатуры. На выходе оба сигнала по двум веткам перемножаются и получаем итоговый сигнал на выходе из ПКУ.

Передаточная функция (ПФ) интегро-дифференцирующего звена имеет вид:

$$W_{\Phi}(s) = \frac{T_1 s + 1}{T s + 1}. \quad (10)$$

Коэффициенты гармонической линейризации для данного звена примут вид:

$$a = \frac{1}{\pi}(\pi - 1a + \sin 2a), \quad (11)$$

$$b = \frac{1}{\pi}(1 - \cos 2a), \quad (12)$$

где $a = \arctg \frac{\omega T_1(1-v)}{1+\omega^2 T_1 2v}$; $v = \frac{T_2}{T_1}$.

Можно сказать, что частотные характеристики КУ отвечают требованиям желаемого вида, если не учитывать ослабление амплитуды, которое создает корректирующее устройство. Таким образом, обеспечивается фазовое опережение КУ с повышением частоты и без изменения амплитуды.

Двухканальное корректирующее устройство

Корректирующее устройства с отдельными каналами для амплитуды и фазы представляет собой совокупность фазово-опережающего КУ и амплитудно-подавляющего КУ. Структурная схема устройства показана на рисунке 7.

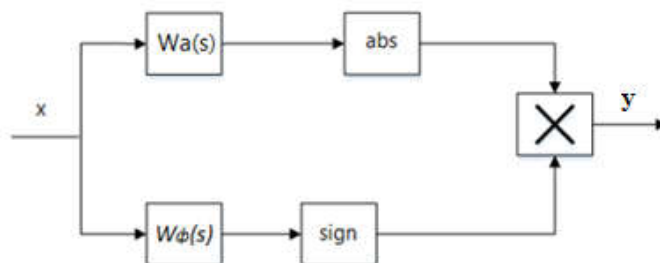


Рисунок 7 – Двухканальное ПКУ

Входной сигнал разветвляется и проходит по двум каналам. Верхний канал служит для формирования амплитудной характеристики и называется амплитудным, нижний – фазовый канал участвует в формировании фазовой

характеристики устройства. Выходная величина корректирующего устройства получается в результате перемножения выходных величин амплитудного и фазового каналов в блоке умножения.

Выбирая линейные элементы с соответствующими передаточными функциями, можно реализовать псевдолинейное корректирующее устройство с желаемыми, независимыми друг от друга амплитудой и фазовой частотными характеристиками [9].

Корректирующее устройство с запоминанием экстремума

Корректирующее устройство с запоминанием экстремума содержит в своем составе следующие блоки:

- блок пикового детектора (ПД). Данный блок предназначен для запоминаний экстремумов входного сигнала;
- нуль орган (НО). Блок нуль орган служит для сброса пикового детектора, при прохождении входного сигнала через значение нуля;
- блок масштабирования (МСШ). Блок, предназначенный для усиления, проходящего через него сигнала;
- блок определения знака сигнала sign ;
- блок определения модуля.

Структурная схема подобного корректирующего устройства с запоминанием экстремума представлена на рисунке 8. Здесь $X_1 = X_2 m$, m в данном случае является коэффициентом передачи блока масштабирования (МСШ).

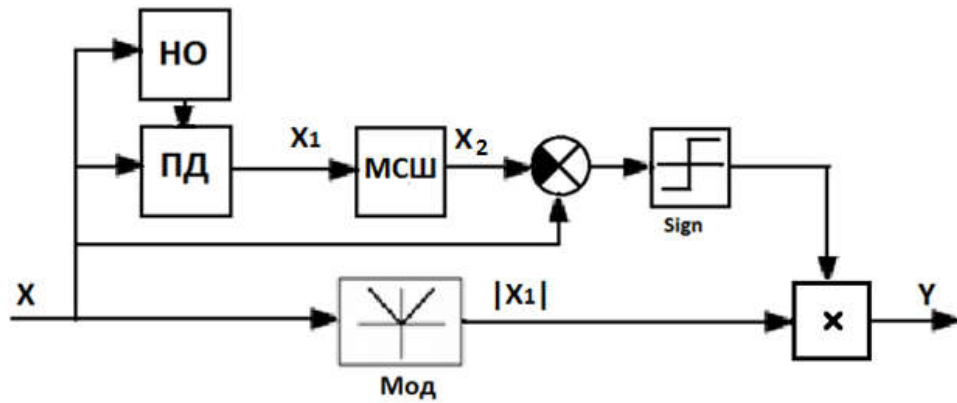


Рисунок 8 – Структурная схема КУ с запоминанием экстремума

Передаточная функция корректирующего устройства имеет вид:

$$W_{KY} = Me^{i\varphi}. \quad (13)$$

Амплитудно-частотная и фазово-частотная характеристики КУ с запоминанием экстремума имеют вид, представленный ниже:

$$A = \sqrt{[g(m)]^2 + [g'(m)]^2}, \quad (14)$$

$$\varphi = \arctg \frac{g'(m)}{g(m)}. \quad (15)$$

Здесь, $g(m)$ и $g'(m)$ соответствуют коэффициентам гармонической линеаризации

$$g(m) = 1 - \frac{2}{\pi} \arcsin(m) * \frac{2m\sqrt{1-m^2}}{\pi}, \quad (16)$$

$$g'(m) = \frac{2m^2}{\pi}. \quad (17)$$

Построим зависимость фазового сдвига φ от коэффициента передачи блока масштабирования m в пакете MathCad (рис. 9).

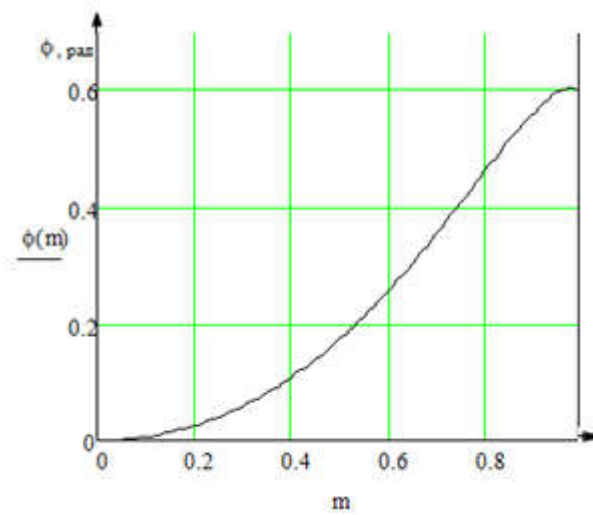


Рисунок 9 – График зависимости фазового сдвига от коэффициента передачи блока масштабирования

Фазовый сдвиг, при изменении коэффициента передачи m в пределах от 0 до 1, изменяется на величину не более 34 градусов.

3 Разработка и исследование в среде MatLab свойств систем автоматического регулирования с псевдолинейными корректирующими устройствами

3.1 Выбор метода настройки ПИД регулятора

На данный момент не существует конкретного метода для настройки ПИД-регуляторов. Есть несколько распространенных способов настройки, но не все они могут быть применимы из-за ряда некоторых условий. Поэтому необходимо внимательно подходить к процессу определения коэффициентов ПИД-регулятора. Ниже рассмотрим наиболее часто используемые методы.

Метод Циглера-Никольса

Циглером и Никольсоном было предложено два основных метода настройки ПИД-регуляторов. Первый основан на значениях параметров отклика объекта на единичный сигнал; второй метод основан на частотных характеристиках ОУ.

В таблице 1 представлены формулы для расчета коэффициентов регулятора

Таблица 1 – Формулы для расчета

Регулятор	Расчет по отклику на скачок			Расчет по частотным параметрам		
	K	Ti	Td	K	Ti	Td
П	$1/a$	-	-	$0,5/K180$	-	-
ПИ	$0,9/a$	$3L/K$	-	$0,4/K180$	$0,8T180/K$	-
ПИД	$1,2/a$	$0,9L/K$	$0,5L/K$	$0,6/K180$	$0,5T180/K$	$0,125T180/K$

Для получения параметров регулятора по первому методу используются два параметра: a и L .

Метод Циглера-Никольса дает параметры, далекие от оптимальных. Это объясняется не только упрощенностью самого метода (он использует только 2 параметра для описания объекта). К тому же никак не учитывает требования к запасу устойчивости системы, что является вторым его недостатком. Судя по медленному затуханию переходного процесса в системе, этот метод дает слишком малый запас устойчивости.

Во втором методе в качестве начальных данных для расчета применяет частоту ω_{180} , у которой сдвиг фаз (в разомкнутом контуре) достигает 180° , и модуль коэффициента передачи ОУ на этой частоте k_{180} . Если, зная параметр ω_{180} , сначала получают период колебаний системы $T_{180} = \frac{2\pi}{\omega_{180}}$, затем по таблице 1 определяются параметры ПИД-регулятора. Полученная точность настройки ПИД-регулятора и недостатки данных методов Зиглера - Никольса абсолютно одинаковы [6].

Ручной метод настройки регулятора, основанный на знании правил

Можно так же его назвать методом проб и ошибок. Зная принцип влияния каждого из коэффициентов на переходный процесс, можно постепенно найти оптимальные значения. Для начала настраивают пропорциональную составляющую исключая из системы интегральную и дифференциальную, затем настраивают интегральную и в последнюю очередь дифференциальную. Данную процедуру можно выполнить на основе базы правил, которые применяются для ручной настройки. Данные правила получены из теоретического анализ и опыта.

Они имеют следующие заключения [11, 12, 13]:

- увеличение коэффициента пропорциональности увеличивает быстродействие и снижает запасы устойчивости;
- с понижением интегральной составляющей ошибка регулирования в течении времени также уменьшается быстрее;

- уменьшение величины постоянной интегрирования уменьшает запасы устойчивости;
- увеличение дифференциальной составляющей повышает запасы устойчивости и быстродействие.

Перечисленные выше правила используются также для регуляторов, применяющих методы нечеткой логики.

Также заметим, что применение базы правил возможно только после начальной настройки регулятора по формулам. Возможно, что попытки настроить ПИД-регулятор без начального расчета коэффициентов могут быть безуспешными. Сформулированные выше правила справедливы только в окрестности оптимальной настройки регулятора.

В процессе подбора параметров регулятора были испробованы все вышеперечисленные правила настройки, которые дали примерно одинаковый результат, с небольшими отклонениями.

Корневой метод настройки регулятора

Границей устойчивости в области корней характеристического уравнения является мнимая ось, поэтому чем ближе корни характеристического уравнения располагаются к мнимой оси, тем ближе система находится к границе устойчивости, и значит, оценить запас устойчивости можно по расположению корней характеристического уравнения. Такой оценкой является степень устойчивости, определяемая расстоянием до мнимой оси ближайшего корня.

Другим показателем этой группы является степень колебательности – это модуль отношения действительной и мнимой части корня характеристического уравнения по сравнению с другими корнями. Для обеспечения запаса устойчивости необходимо чтобы степень колебательности в системе была больше или равна заданной. Таким образом, для определения параметров регулятора необходимо задать желаемые

корневые показатели, подставить их в характеристическое уравнение и решить систему[14].

Метод затухающих колебаний

Применение этого метода позволяет настраивать регуляторы без выведения системы на критические режимы работы. Принцип применения этого метода состоит в следующем.

В регуляторе оставляют только пропорциональную оставляющую, остальные зануляют, постепенно увеличивая K_p , добиваются переходного процесса отработки прямоугольного импульса по сигналу задания или возмущения с декрементом затухания $D = \frac{1}{4}$. Затем находят период колебаний T_k и значения постоянных интегрирования и дифференцирования регуляторов T_i , T_d .

Для ПИД-регулятора они будут рассчитываться по формулам:

$$T_i = \frac{T_k}{6}; T_d = \frac{T_k}{1.5}. \quad (18)$$

Далее после установки вычисленных значений T_i и T_d на регуляторе, экспериментально находят величину K_p для получения декремента затухания $D = \frac{1}{4}$. С этой целью производится дополнительная подстройка K_p для выбранного закона регулирования, что обычно приводит к уменьшению K_p на 20-30% [15].

Стоит добавить, что еще существуют множество методов настройки регуляторов, например такие как: метод определения настроек по номограммам, метод Чина-Хронеса-Ресвика, метод масштабирования, метод Куна, метод многомерного сканирования; они подробно описаны в [16].

В данной работе использовался метод Циглера-Никольса, таким образом были получены приближенные параметры настройки регулятора, затем использовался ручной метод настройки, так как во время

многочисленных исследований он показал себя наилучшим образом, к тому же при моделировании в системе Matlab мы располагаем возможностью проводить неограниченное количество экспериментов, что позволило провести оптимальную настройку классического ПИД-регулятора.

3.2 Анализ и исследование свойств модифицированного псевдолинейного ПИД-регулятора

В силу того, что классический ПИД-регулятор имеет ряд недостатков, таких как наличие фазового запаздывания и большая чувствительность к помехам, создаваемым в измерительном канале, он не всегда способен обеспечить хорошее качество регулирования.

Для предотвращения подобных недостатков прибегают к различным способам. Одними из таковых являются введение в регулятор фазопережающего фильтра или осуществление коррекции свойств самого ПИД-регулятора.

В данном разделе работы приведены исследования системы автоматического регулирования (САР) объектом управления второго порядка с применением модифицированного псевдолинейного ПИД-регулятора.

Структурная схема модифицированного псевдолинейного ПИД-регулятора представлена на рисунке 10.

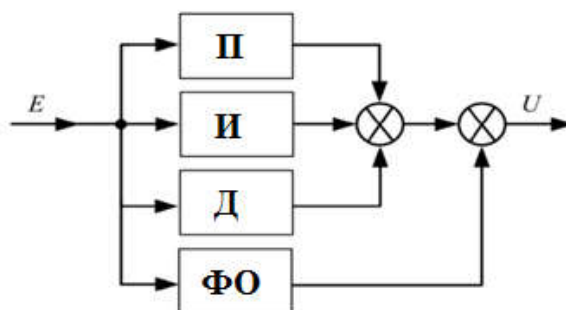


Рисунок 10 – Структурная схема модифицированного псевдолинейного ПИД-регулятора

В состав данного регулятора включено пропорциональное звено, интегральное звено, дифференциальное звено, а также звено с псевдолинейным корректирующим устройством с фазовым опережением.

Для более подробного исследования работы модифицированного псевдолинейного ПИД-регулятора в среде MatLab была реализована модель САР, представленная в приложении А.

Данная модель состоит из трех подсистем с одинаковыми ОУ. Первая подсистема содержит в себе классический ПИД-регулятор. Во второй подсистеме применяется модифицированный псевдолинейный ПИД-регулятор, в котором интегральная составляющая заменена интегратором Клэгга, структурная схема которого представлена на рисунке 11. Третья подсистема содержит в себе описанный выше модифицированный псевдолинейный регулятор (рис. 10).

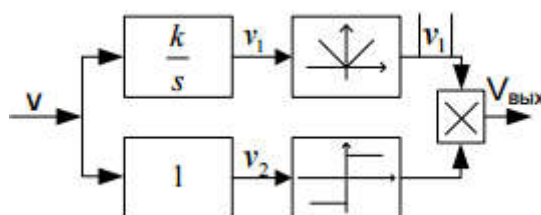


Рисунок 11 – Структурная схема интегратора Клэгга

В системе применяется ОУ второго порядка с передаточной функцией вида:

$$W_o(s) = \frac{K_o}{T_2^2 s^2 + T_1^2 s + 1}, \quad (19)$$

где K_o - статический коэффициент передачи ОУ, T_2, T_1 - постоянные времени. Параметры данного объекта управления имеют значения: $K_o = 8$; $T_2 = 10$; $T_1 = 6$.

Для изучаемого ОУ параметры регулятора были рассчитаны методом Циглера-Никольса, чтобы обеспечить в системе апериодический переходный

процесс. Рассчитанные коэффициенты регулятора принимают значения: $K_p = 0.8$; $K_i = 1.2$; $K_d = 0.13$. Для исследования свойств всей системы регулирования параметры модифицированного псевдолинейного ПИД-регулятора приняли равными параметрам классического регулятора. Значения параметров настройки звена с фазовым опережением равны: $T_1 = 5$ с; $T_2 = 1$ с.

Приведем графики переходных процессов системы с принятыми ранее параметрами ОУ и параметрами регулятора на рисунке 12.

На рисунке 13 представлены кривые переходных процессов САР с изменившимися параметрами ОУ. Параметры ОУ приняли значения: $K_0 = 15$; $T_2 = 8$; $T_1 = 2.5$. Обозначив через 1 – график переходного процесса САР с классическим ПИД-регулятором, через 2 – кривая переходного процесса с управляемым интегратором и фазопережающим фильтром, 3 – переходный процесс в САР с применением интегратора Клэгга и фазопережающего звена.

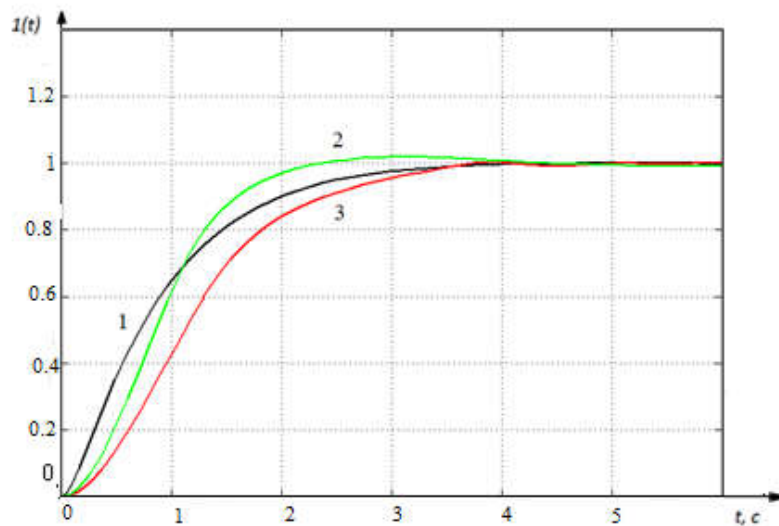


Рисунок 12 – Кривые переходного процесса с исходными параметрами ОУ

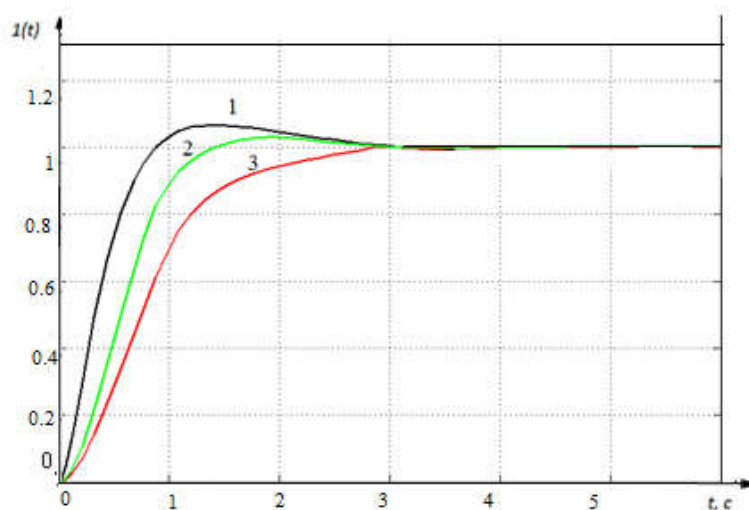


Рисунок 13 – Кривые переходного процесса с измененными параметрами ОУ

В таблице 2 приведены показатели качества переходных процессов при измененных параметрах ОУ системы.

Таблица 2 – Показатели качества при измененных параметрах ОУ

№	Тип регулятора	$\sigma, \%$	t, c
1	Классический ПИД-регулятор	9.09	4.45
2	Модифицированный ПИД-регулятор с фазопережающим звеном	4.7	3
3	Модифицированный ПИД-регулятор с включенным в свой состав интегратор Клэгга	0	3.5

Данные показывают, что переходная характеристика модифицированного псевдолинейного ПИД-регулятора, при измененных параметрах САУ, показала наиболее лучшее качество регулирования по сравнению с классическим ПИД-регулятором.

3.3 Исследование свойств САР с корректирующим устройством с запоминанием экстремума

В данном разделе работы проведено исследование свойств зависимости фазового сдвига в САР с ПКУ с запоминанием экстремума при изменении коэффициента передачи в блоке масштабирования.

Для исследования был выбран ОУ второго порядка, имеющий передаточную функцию вида:

$$W_o(s) = \frac{K_o}{T_2^2 s^2 + T_1^2 s + 1}, \quad (20)$$

где K_o - статический коэффициент передачи ОУ, T_2, T_1 - постоянные времени. Параметры данного объекта управления имеют значения: $K_o = 8$; $T_2 = 10$; $T_1 = 6$. Предварительно была произведена настройка ПИД-регулятора. Оптимальные параметры данного регулятора были приняты равными значениям: $K_p = 0.8$; $K_i = 0.13$; $K_d = 1.2$.

Данное корректирующее устройство с запоминанием экстремума включается в САР параллельно ПИД-регулятору и характеризуется тем, что способно вносить положительный фазовый сдвиг, который не зависит от частоты. Тем самым позволяет формировать на выходе сигнал на определенном временном интервале, позволяющий улучшить качество переходного процесса.

Для данного исследования в Simulink Matlab была создана система, состоящая из генератора ступенчатого сигнала Step, ПИД-регулятора, ОУ второго порядка, ПКУ с запоминанием экстремума и блока получения реакции системы на единичное ступенчатое воздействие. Система представлена в приложении Б.

Произведем ряд экспериментов, при котором будем изменять коэффициент передачи корректирующего устройства k (рис. 14).

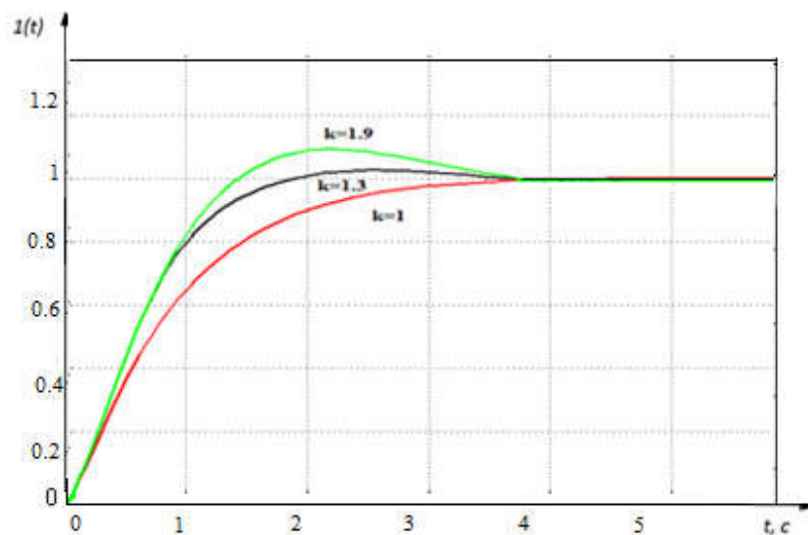


Рисунок 14 – Переходный процесс САР с ПКУ с запоминанием экстремума при различных значениях коэффициента k

Из графика видно, что при изменении коэффициента корректирующего устройства наблюдается изменение переходного процесса в системе, а именно изменение фазового сдвига и увеличение значения перерегулирования. Изменение фазового сдвига происходит в пределах значений от 1 до 1.8. Изменение коэффициента на величину, превышающую значение 1.8, никак не влияет на качество регулирования системы.

3.4 Исследование свойств САР с фазопережающим КУ и КУ с запоминанием экстремума

Для начальной настройки ПИД-регулятора воспользуемся ОУ второго порядка с передаточной функцией, используемой ранее

$$W(s) = \frac{8}{10s^2 + 6s + 1}. \quad (21)$$

Соответственно, коэффициенты регулятора будут теми же: $K = 0.8$, $T_i = 0.13$, $T_d = 1.2$.

Соберем в Simulink Matlab систему, состоящую из нескольких подсистем: 1 – система с классическим регулятором, 2 – система с

фазоопережающим КУ, 3 – система с корректирующим устройством с запоминанием экстремума. Разработанная схема представлена в приложении В.

Здесь, значение постоянной времени T корректирующего устройства, с которым САР начинает работать принято равным 2 с.

Кривой 1 соответствует переходная характеристика САР без применения ПКУ, кривой 2 с применением устройства с запоминанием экстремума опережением, 3 – с применением фазоопережающего КУ (рис. 15).

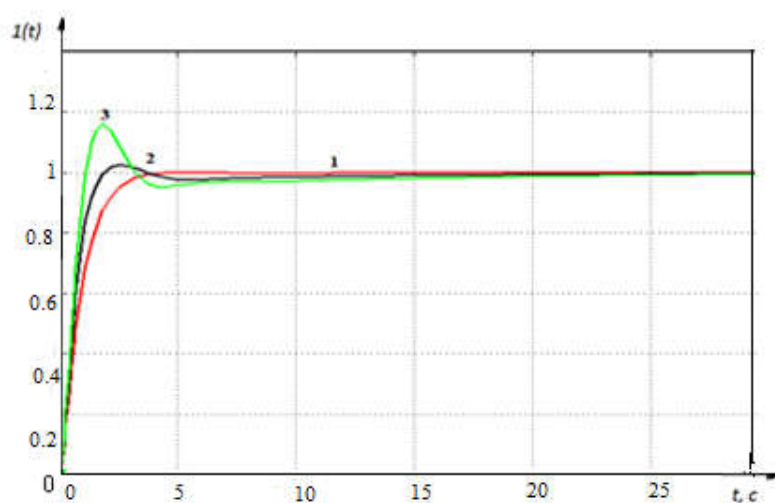


Рисунок 15 – Переходные характеристики САР

Теперь, произведем исследование реакции системы на изменение параметров ОУ в системе без применения КУ, с предварительно настроенным ПИД, и системы с КУ и тем же самым ПИД-регулятором. Параметры ОУ второго порядка примем равными: $K_0 = 10$; $T_2 = 13$; $T_1 = 3$ (рис. 16).

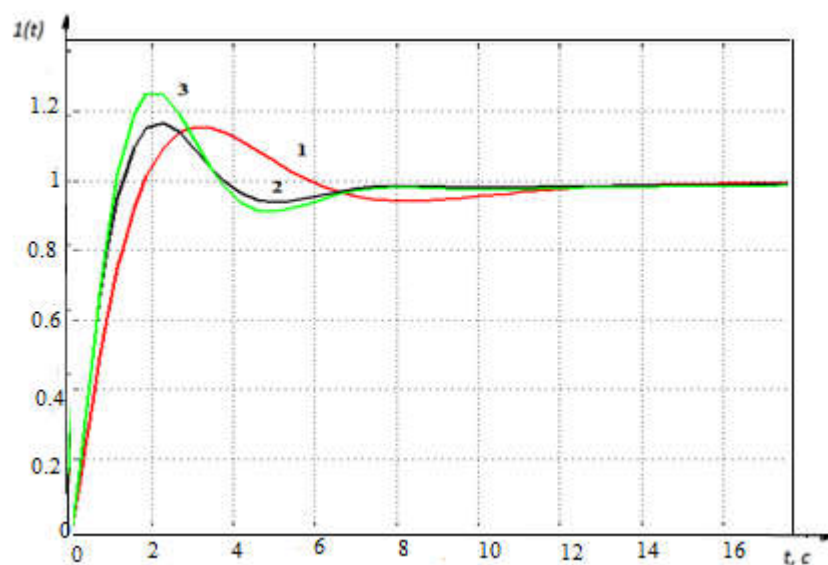


Рисунок 16 – Переходные характеристики САР с измененными параметрами ОУ

Таблица 3 – Показатели качества при изменении значений ОУ

№	Тип регулятора	$\sigma, \%$	t, c
1	Классический ПИД-регулятор без КУ	13	17.8
2	ПИД-регулятор с фазопережающим звеном	26.2	13.7
3	ПИД-регулятор с КУ с запоминанием экстремума	14.5	13.2

По полученным данным можно сделать вывод, что применение ПКУ с фазовым опережением и запоминанием экстремума эффективно работает в системах, за счет сокращения времени регулирования. Перерегулирование в системах с КУ больше, чем в системах с классическим ПИД-регулятором, но не превышает допустимых значений.

4 Анализ принципов построения нечётких ПИД-регуляторов

Управление системами на основе теории нечётких множеств предпочтительно применять при недостаточном знании объекта управления. Принцип работы регулятора, основанного на нечеткой логике, заключается в следующем:

1. На вход регулятора должно поступать необходимое количество входных сигналов для решения конкретной задачи. Данное количество входных сигналов образуют некоторый вектор четких значений.

2. На следующем шаге происходит процедура фаззификации, которая заключается в том, чтобы на основании известных функций принадлежности каждому сигналу четкого вектора присвоить определенное входное значение, так называемый терм. Таким образом, получаем входной нечеткий вектор. Значения, входящие в этот вектор, будут являться лингвистическими переменными.

3. На основании нечеткой базы знаний программа нечеткого логического вывода ставит в соответствие каждому вектору выходной нечеткий вектор, который и будет являться результатом нечеткого логического вывода.

4. Термам данных лингвистических переменных ставят в соответствие конкретные четкие значения на основании функций принадлежности, образующих некоторый выходной четкий вектор. Другими словами, происходит процедура дефаззификации.

5. Сигналы, формирующие выходной вектор, поступают в схему, содержащую регулятор, для дальнейшей реализации процесса управления. Можно сказать, что первой задачей будет являться определение лингвистических переменных, составление терм-множеств и определение функций принадлежности.

4.1 Нечёткий регулятор

В данном разделе рассмотрено исследование свойств системы автоматического регулирования с нечётким регулятором, включающим в свой состав нечеткое псевдолинейное корректирующее устройство с запоминанием экстремума и классический ПИД-регулятор.

На рисунке 17 приведена структурная схема системы с подобным нечётким псевдолинейным регулятором.

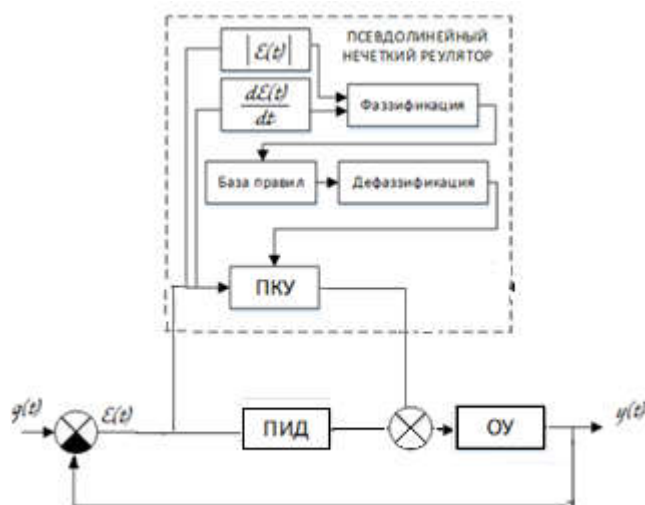


Рисунок 17 – Структурная схема нечёткого псевдолинейного регулятора

В представленном нечётком псевдолинейном регуляторе содержится классический ПИД-регулятор, который параллельно соединен с ПКУ с запоминанием экстремума и подстройка параметров такого ПКУ осуществляется в зависимости от модуля ошибки и скорости изменения ошибки.

Блок фаззификации включает в себя функции принадлежности входных переменных. Такими входными переменными являются модуль ошибки регулирования $\varepsilon(t)$ и скорость изменения ошибки регулирования $\frac{d\varepsilon(t)}{dt}$. Лингвистическая переменная « $\varepsilon(t)$ » содержит следующие термы: Zero

– нулевая ошибка, Small – ошибка мала, Medium – средняя ошибка, Big – большая ошибка (рис. 18).

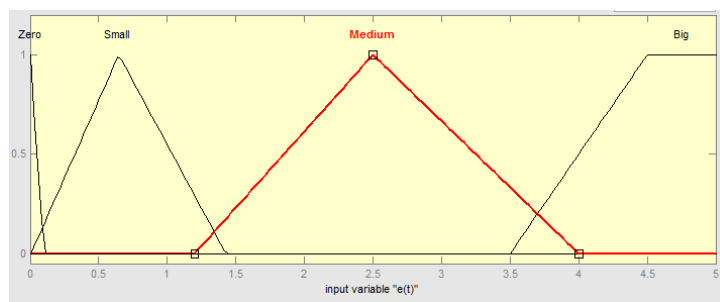


Рисунок 18 – Функции принадлежности входных переменных модуля ошибки

В лингвистическую переменную « $\frac{d\varepsilon(t)}{dt}$ », определяющую скорость изменения ошибки, входят термы следующие термы: Negative – отрицательная скорость изменения, Zero – нулевая скорость изменения, Positive – положительная (рис. 19).

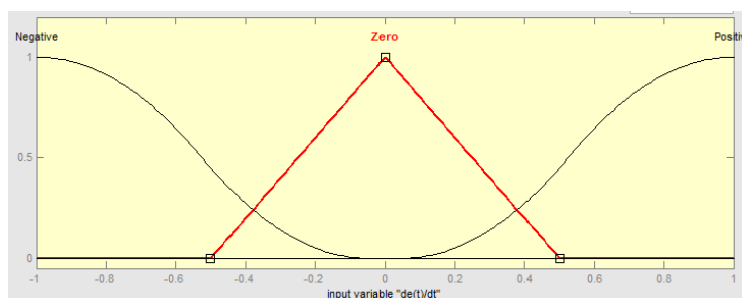


Рисунок 19 - Функции принадлежности входных переменных скорости изменения ошибки

Для блока дефаззификации выходными переменными будет являться постоянная времени T_1 . Для данной выходной переменной «Т» определены следующие терм-множества: TSmall – малая, TMedium – средняя, TBig – большая, TVBig – очень большая (рис. 20).

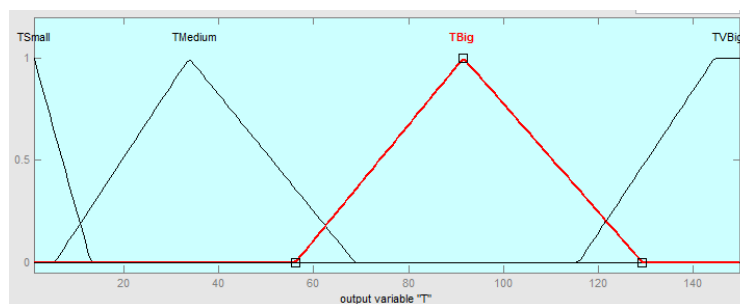


Рисунок 20 - Функции принадлежности выходной переменной постоянной времени

После определения функций принадлежности, необходимо сформировать базу правил, на основе которой будет происходить формирование выходной переменной. Нечёткая база правил представляет собой группу правил типа «если – то», которая определяет связь между заданными входными и выходными лингвистическими переменными регулятора. Такая взаимосвязь между переменными представлена на рисунке 21.

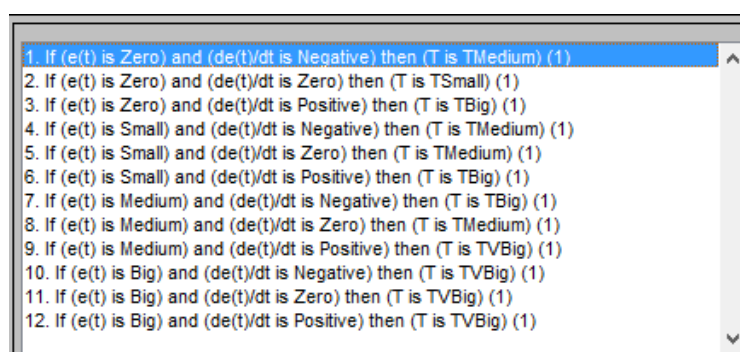


Рисунок 21 – База правил для системы с нечётким регулятором

Для проверки работоспособности подобного нечеткого регулятора проведем исследования в пакете Simulink среды MatLab. Схема моделирования включает в себя ОУ второго порядка с передаточной функцией вида:

$$W_o(s) = \frac{K_o}{T_2^2 s^2 + T_1^2 s + 1}, \quad (22)$$

где K_o - статический коэффициент передачи ОУ, T_2, T_1 - постоянные времени. Параметры данного объекта управления имеют значения: $K_o = 8$; $T_2 = 10$; $T_1 = 6$.

S-Function, входящая в состав САР используется для автоматической подстройки постоянной времени псевдолинейного корректирующего устройства. Работа данной функции осуществляется по написанному М-файлу.

Схема моделирования САР с псевдолинейным нечетким регулятором и ПКУ с запоминанием экстремума представлена в приложении Г.

На рисунке 22 представлено семейство кривых переходного процесса в данном САР. Коэффициенты ПИД-регулятора во всех случаях принимают одинаковые значения параметров: $K_p = 1.5$; $K_i = 1.1$; $K_d = 0.13$. Параметры ОУ остаются неизменными.

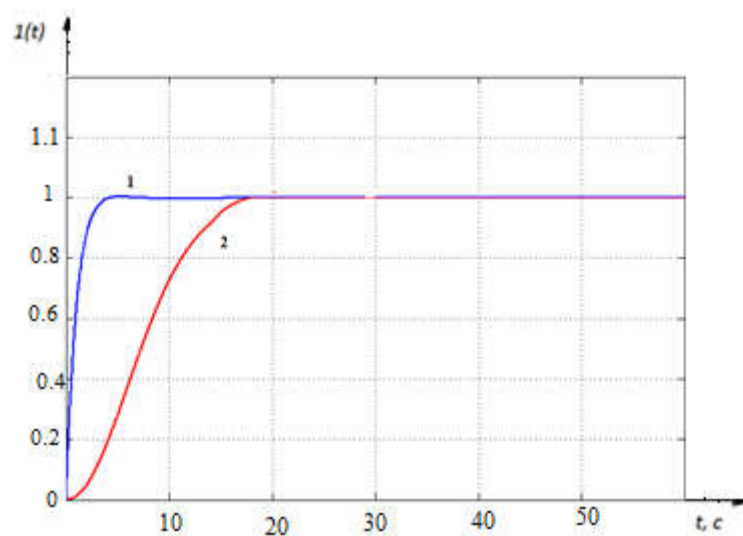


Рисунок 22 – Семейство кривых переходного процесса САР

Кривая 1 соответствует системе с применением классического регулятора, параметры которого были предварительно настроены, кривая 2 показывает переходную характеристику нечёткого псевдолинейного регулятора.

Далее посмотрим, как отреагирует система на изменение параметров ОУ. Первоначальные значения ОУ: : $K_0 = 8$; $T_2 = 10$; $T_1 = 6$. Измененным параметрам соответствуют значения: : $K_0 = 3.5$; $T_2 = 10$; $T_1 = 2$. Значения параметров для ПИД-регулятора остались прежними. Семейство переходных процессов для САР с измененными параметрами представлены на рисунке 23.

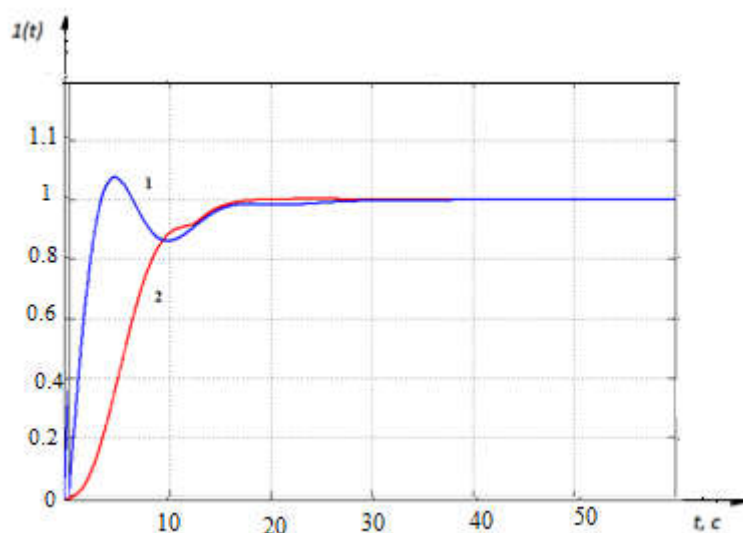


Рисунок 23 - Семейство кривых переходного процесса САР с измененными параметрами ОУ

Как видно из рисунка 23, классический ПИД-регулятор отреагировал на изменение параметров ОУ, в системе наблюдаются колебания, возросло время перерегулирования до 9.1 %, время установившегося процесса равно 28 с. Псевдолинейный ПИД-регулятор с нечёткой логикой показал хорошую способность подстраиваться под данные изменения, практически не изменив качество регулирования. Перерегулирование равно нулю, время установившегося процесса равно 19 с.

5 Программная реализация регулятора в среде Isagraf для промышленного контроллера КРОСС

5.1. Назначение, состав и технические характеристики контроллера КРОСС

Контроллер КРОСС предназначен для измерения электрических сигналов датчиков, формирования выходных сигналов, передачи, обработки, хранения информации о ходе технологического процесса при создании открытых систем АСУ ТП в различных отраслях промышленности: энергетике, металлургии, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, пищевой и др.[17].

Промышленный контроллер КРОСС предназначен для построения АСУ ТП следующих типов:

- локальные, автономные системы автоматизации;
- распределенные системы, а также для модернизации и реконструкции существующих систем автоматизации .

Контроллер КРОСС выполняет следующие функции:

- Измерение сигналов, поступающих от датчиков.
- Первичная обработка сигналов.
- Регулирование.
- Выполнение функциональных преобразований (математических, динамических, логических и других).
- Хранение программ во flash – памяти и в энергонезависимом ОЗУ.
- Реализация функции сигнализации и защиты.
- Программно – логическое управление.

Контроллер имеет проектно – компонуемый состав:

1. Базовый монтажный блок.

В этот блок устанавливается микропроцессорный модуль, submodule Ethernet, модули интерфейсной связи ИСК 1 (для связи с модулями УСО) и модуль питания.

2. Модули ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов.
3. Терминальные блоки, предназначенные для подключения входных и выходных сигналов к модулям УСО.
4. Гибкие соединители (плоские кабели).

Функциональные и технические характеристики

1. Контроллер позволяет реализовать информационный обмен с другими контроллерами и компьютерами через локальную сеть Ethernet (наличие ModBus), а также с компьютерами через последовательный RS232, а также обслуживает сопряжение контроллера с различными SCADA-системами посредством OPC - сервера.

2. В контроллере используется многозадачная ОС OS-9 реального времени, обеспечивающая:

- a) гарантированное время реакции на программные и аппаратные прерывания. Система работает в режиме жесткого реального времени;
- b) многозадачность;
- c) надежную файловую систему;
- d) наличие службы времени;
- e) развитую сетевую поддержку и другие механизмы реального времени.

3. Объем памяти Flash – 1 мБ, ОЗУ – 1,5мБ. Часы РВ – сек, мин, час, года.

4. Важной характеристикой является быстродействие – более 0.01 с. Время сохранения технологической программы при отключении питания – 5 суток.

5. Интерфейсы:

- a) 2*RS232. Главный интерфейс поддерживает обмен – «полный модем» (сеть). Подключение через разъем RJ 45.

- b) Ethernet – протокол TCP/IP, скорость обмена 10 Мбайт, гальваническая изоляция, тип разъема RJ 45.
- c) SPI – выполняет обмен между модулями ЦБ (центрального блока) и модулями УСО (устройств связи с объектами, то же самое что модули ввода/вывода). 2 интерфейсных канала в модуле ИСК – связь модулей УСО с центральным процессором. Скорость обмена с частотой 1МГц, тип разъема IDC на 10 контактов, гальваническая изоляция отсутствует.

6. Базовый микропроцессор фирмы MotorolaMC68302, являющийся стандартом для промышленных средств автоматизации.

7. Технологические и процедурные языки программирования: система IsaGraf, которая соответствует международному стандарту МЭК 1131-3.

8. Программирование контроллера осуществляется с помощью системы ISaGRAF, которая состоит из исполнительной части, которая загружается в контроллер WorkBench и функциональной, которая устанавливается на компьютере. Данная система содержит следующие языки программирования: FBD, язык релейной логики (LD), ST, IL, язык управляющих последовательностей (SFC). Язык функциональных блоков может быть расширен библиотекой алгоритмов P-130. Также в состав ПО входит конфигуратор, который выступает в роли эмулятора пульта настройки.

Интерфейс RS232 модуля используется для прямого подключения к компьютеру. При этом можно осуществить диагностику неисправности модуля, установить номер контроля для организации обмена. Обратиться к модулю можно напрямую через центральный процессор и реализовать те же самые функции. Для связи с функциями используются специальная сервисная программа, которые называются конфигуратор.

Кроме перечисленных функций, конфигуратор предлагает включить или выключить дискретные фильтры, контролировать дискретные входные/выходные сигналы. В модулях ввода сигнала с термосопротивлений и термопар устанавливается специальная градуировка [17,19].

5.2. Программный пакет Isagraf

ISaGRAF — комплекс программного обеспечения для автоматизации процессов управления, который применяется в самых различных областях техники и использует стандарт IEC 61131.

В ISaGRAF заложена методология структурного программирования, позволяющая пользователю представить автоматизируемый процесс в наиболее легкой и понятной форме. Стандартом МЭК 61131-3 определяется пять языков: три графических (SFC, FBD, LD) и два текстовых (ST, IL). Помимо этих языков, ISaGRAF предлагает язык блок-схем (FlowChart). Все эти языки программирования интегрированы в единую инструментальную среду и работают с едиными объектами данных. Более подробно остановимся на языке FBD.

Язык функциональных блочных диаграмм (FBD) - графический язык. Он позволяет программисту строить сложные процедуры, используя существующие функции из библиотеки ISaGRAF и связывая их вместе при помощи графических диаграмм.

FBD диаграмма описывает функцию между входными переменными и выходными переменными. Функция описывается как множество элементарных функциональных блоков. Входные и выходные переменные связываются в блоки при помощи линий связи. Выход функционального блока может быть также связан с входом другого функционального блока.

Вся функция FBD программы построена из стандартных элементарных функциональных блоков из библиотеки ISaGRAF. Каждый функциональный блок имеет фиксированное количество входных точек связи и фиксированное количество выходных точек связи. Функциональный блок представляется одиночным прямоугольником. Входы соединяются с левым краем. Выходы соединяются с правым краем. Элементарный функциональный блок реализует одну функцию между входами и выходами. Имя функции,

реализуемой блоком, пишется на символе прямоугольника. Каждый вход или выход блока имеют определенный тип [20,21].

Входные переменные FBD программы должны быть связаны с точками входа функционального блока. Тип каждой переменной должен быть тем же что и тип соответствующего входа. Входом FBD блока может быть константа, любая внутренняя, входная или выходная переменная.

Выходные переменные FBD программы должны быть связаны с точками выхода функционального блока. Тип каждой переменной должен быть тем же что и тип соответствующего выхода. Выходом FBD блока может быть внутренняя или выходная переменная или имя программы (только для подпрограмм). Когда выходом является имя редактируемой подпрограммы, оно представляет присвоение возвращаемого значения подпрограммы (возвращаемого в вызывающую программу). Входные и выходные переменные, входы и выходы функциональных блоков соединены линиями связи. Линии могут быть использованы для соединения двух логических точек диаграммы:

- входной переменной и входа функционального блока;
- выхода функционального блока и входа другого блока;
- выхода функционального блока и выходной переменной.

Связи ориентированы, это означает, что данные передаются с левого конца к правому. Левый и правый концы связи должны быть одного типа.

5.3. Программа для системы автоматического регулирования с псевдолинейным регулятором

В данном разделе работы реализована работа ПИД-регулятора с псевдолинейным КУ с запоминанием экстремума в среде Isagraf на языке FBD. В приложении Д представлена программа, реализованная в Isagraf.

Рассмотрим более подробно реализацию каждой части логической схемы в среде программирования Isagraf.

При построении ПИД-регулятора, имеющий алоговый выход, был использован блок anal_pid. В данном блоке помимо формирования ПИД закона регулирования, происходит вычисление сигнала рассогласования. Входные и выходные значения данного блока представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Входы/выходы блока anal_pid

Вход/выход	Тип	Обозначение	Назначение
Вход	REAL	Xzdn	Вход задания
Вход	BOO	Csb	Включение статической балансировки
Вход	BOO	Cdb	Включение динамической балансировки
Вход	REAL	Vdb	Скорость динамической балансировки
Вход	REAL	Xin	Вход параметра
Вход	REAL	Xdlt	Зона нечувствительности
Вход	REAL	Kp	Коэффициент пропорциональности
Вход	REAL	Ti	Постоянная времени интегрирования
Вход	REAL	Kd	Коэффициент времени дифференцирования
Вход	REAL	Xmax	Уровень ограничения по максимуму
Вход	REAL	Xmin	Уровень ограничения по минимуму
Вход	BOO	Czb	Сигнал запрета сигнала в направлении «Больше»
Вход	BOO	Czm	Сигнал запрета сигнала в направлении «Меньше»
Вход	BOO	Cruch	Включение ручного режима
Вход	REAL	Xruch	Сигнал ручного задания
Выход	REAL	Y	Основной выход
Выход	REAL	Yeps	Сигнал рассогласования
Выход	REAL	Yzdn	Сигнал текущего задания
Выход	BOO	Dmax	Ограничение по максимуму
Выход	BOO	Dmin	Ограничение по минимуму

Блок, реализованный в среде Isagraf представлен на рисунке 24.

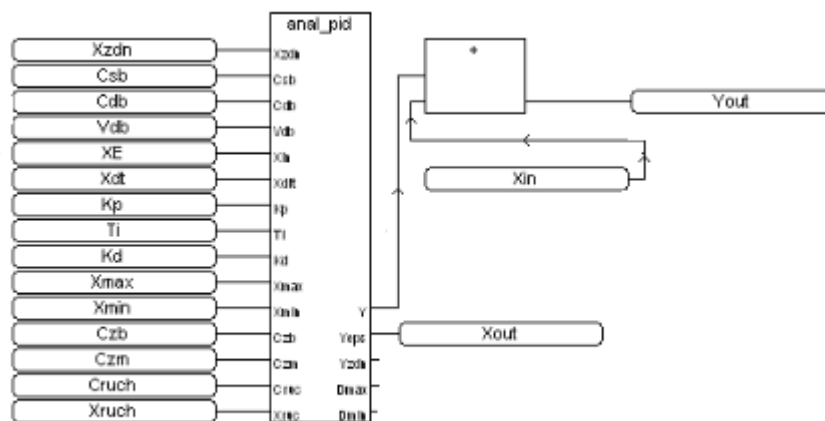


Рисунок 24 – Блок anal pid

Для реализации КУ с запоминаем экстремума создана ветвь, параллельно подключенная к блоку ПИД-регулятора с использованием блока экстремума eks. Данный блок применяется для поиска максимальных и минимальных значений, меняющихся во времени сигнала, и их фиксации. Входной сигнал подается на сигнальный вход алгоритма X и, пройдя через фильтр нижних частот, поступает на вход узла выделения экстремума. На выходах алгоритма $Y_{\max}$, $Y_{\min}$ фиксируется последнее соответственно максимальное и минимальное значение сигнала X_0 , которое сравнивается с нулем. Также в ветвь входят abs – блок выделения модуля, sma – блок суммирования с масштабированием, для получения взвешенной суммы двух сигналов. Применяется для введения в систему статической коррекции.

КУ с запоминаем екстремума представлено на рисунке 25.

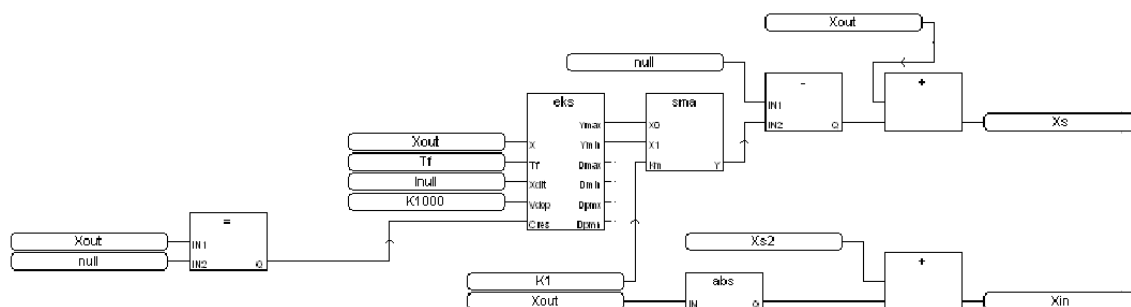


Рисунок 25 – Ветвь с корректирующим устройством с запоминанием экстремума

Блок аналогового ввода-вывода сигналов изображен на рисунке 26 и представляет собой стандартный блок Isagraf Craio.

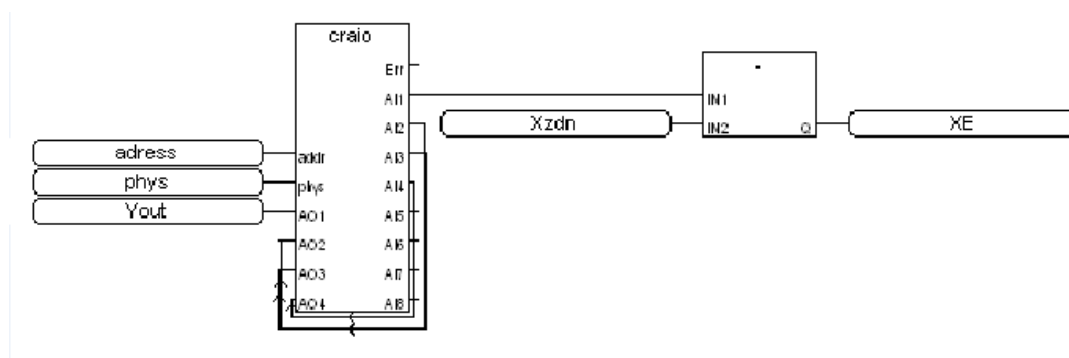


Рисунок 26 – Блок аналогового ввода-вывода

5.4 Отладка и проверка работоспособности программ

5.4.1 Описание лабораторного стенда, используемого для программирования и проверки работоспособности программ

Проверка работоспособности программы составленной для псевдолинейного ПИД-регулятора осуществляется на учебном лабораторном комплексе, расположенным в лаборатории АСУ ТП кафедры автоматизации и компьютерных систем ТПУ. Данный лабораторный комплекс состоит из микропроцессорного контроллера КРОСС, аналогового вычислительного комплекса АВК-6 и персонального компьютера с ОС WindowsNT. В свою очередь, контроллер КРОСС состоит из центрального блока, блока питания, трех модулей УСО (аналогового, дискретного и термопреобразовательного) и соответствующих им терминальных блоков. В состав центрального блока входит центральный процессор, модуль локальной сети ETHERNET (субмодуль SM2-ETH) и модуль питания. Центральный блок контроллера (ЦБ1) связан с модулями УСО шиной SPI-1. Внешние связи могут подключаться к модулям УСО через терминальные блоки, которые содержат клеммные колодки. Модуль УСО АЮ1-8/4 поддерживает связь с объектом управления (АВК-6) через терминальный блок Т1-АЮ. Структурная схема комплекса приведена в приложении Е.

Питание комплекса производится от сети переменного тока 220 В (50 Гц) через автоматический выключатель. Блок питания LOK 4601-2R/P выдает на контроллер постоянное напряжение 24 В, которое преобразуется модулем питания KP-DC24V1 в 5 В, питающего шину SPI-1.

Комплекс аналоговый вычислительный АВК-6 предназначен для исследования путем математического моделирования динамических процессов и систем автоматического управления (САУ). АВК-6 применяется в инженерной практике, а также как техническое средство при изучении курсов физико-математических и общетехнических дисциплин.

5.4.2.Результат проверки

При подключении к контроллеру КРОСС программы Isagraf, описанной выше, и меняя значение задания, можем увидеть на рисунке 27, что характеристика довольно быстро принимает нужное значение и регулятор справляется с регулированием.

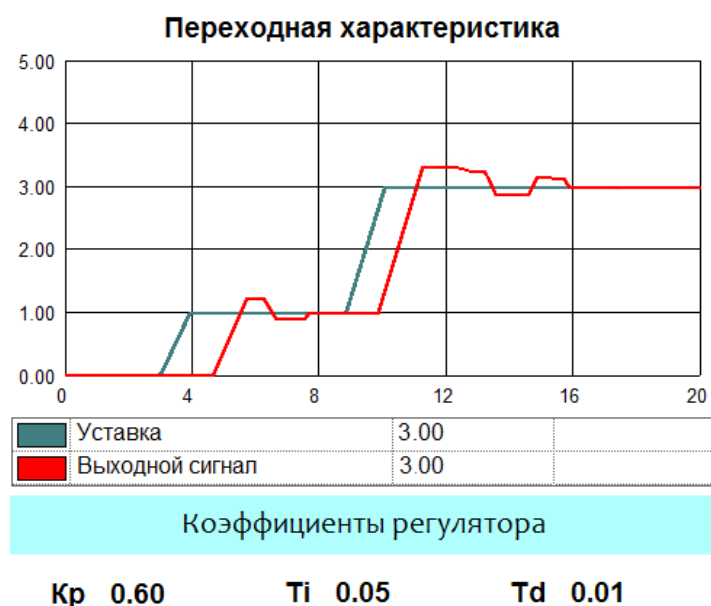


Рисунок 27 – Переходная характеристика САУ с псевдолинейным ПИД-регулятором

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Технико-экономическое подтверждение научно-исследовательских работ ведется с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на их реализацию, а также уровня их научной и технической результативности.

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

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями псевдолинейных нечетких регуляторов могут быть как физические, юридические лица, так и коммерческие организации разных отраслей промышленности.

В таблице 5 приведена сегментация рынка по типу промышленных регуляторов и их частоте применения в промышленности для автоматизации различных технологических процессов.

Таблица 5 – Карта сегментирования рынка услуг по разработке регуляторов

		Вид регулятора		
		Классический ПИД-регулятор	Нечеткий ПИД-регулятор	Псевдолинейный Нечеткий ПИД-регулятор
Отрасль промышленности	Нефтегазовая	Среднее использование	Узкое использование	Узкое использование
	Машиностроение	Широкое использование	Среднее использование	Узкое использование
	Электроэнергетика	Узкое использование	Среднее использование	Узкое использование

Широкое использование
Среднее использование
Узкое использование

По данной таблице видно, что псевдолинейные нечеткие регуляторы находят узкое применение в промышленности, в то время как большое

распространение получили классические ПИД-регуляторы. Это связано со сложностью реализации нечеткой логики, так как требуются глубокие знания специалистом технологического процесса для составления оптимальной базы правил.

6.1.2 SWOT – анализ

SWOT – анализ применяется для оценки сильных и слабых сторон научно-исследовательских достижений, а также их возможности и угрозы.

В таблице 6 приведен анализ влияния сильных и слабых сторон на приведенные возможности и угрозы.

Таблица 6 – SWOT анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: 1. Удобство в эксплуатации: использование нечеткой логики в СУ позволяет уменьшить вмешательство оператора в процесс управления. 2. Функциональная мощность: обработка неполной информации, моделирование человеческих знаний, выдача обоснованных решений, высокие показатели качества регулирования. 3. Конкурентоспособность продукта: новая методика управления. 4. Высоко квалифицированный научный труд.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: 1. Отсутствие прототипа научной разработки. 2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров. 3. Уровень проникновения на рынок.
Возможности: 1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ для быстрого внедрения на рынок.	Использование инновационной структуры ТПУ позволит повысить конкурентоспособность псевдолинейных нечетких регуляторов и ускорить	Появление дополнительного спроса на новый продукт может привести к отсутствию у потенциальных потребителей

2. Появление дополнительного спроса на новый продукт. 3. Разработка более адаптивной методики управления в промышленной среде	выход на рынок. Возможно появление дополнительного спроса на новый продукт благодаря использованию высококвалифицированного научного труда. Привлекательность функциональных возможностей позволяет разрабатывать более эффективные методики управления объектом.	квалифицированных кадров.
Угрозы: 1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.	Отсутствие спроса на новые технологии производства может замедлить срок выхода регуляторов на рынок и понизить квалификацию научного труда. Развитая конкуренция производителей может привести к снижению конкурентоспособности продукта.	Отсутствие спроса на новые технологии производства может привести к отсутствию прототипа научной разработки, отсутствию потенциальных потребителей.

6.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

На этапе разработки научного исследования, рассмотрим несколько вариантов исполнения нового продукта.

Регулярное исследование всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования, предполагает использование морфологического подхода.

Таблица 7 – Морфологическая матрица для псевдолинейного нечеткого регулятора

		1	2	3
A	Корректирующее устройство	КУ с амплитудным подавлением	КУ с фазовым опережением	КУ с запоминаем экстремума
B	Нечёткая логика	Нечёткое ПКУ	Нечеткий ПИД	

C	Параметры фаззификации	Ошибка регулирования	Модуль ошибки регулирования	Скорость ошибки регулирования
E	ПО	IsaGraf	Simatic Step 7	SimaticStep 7
		1	2	3
D	Контроллер	КРОСС	SIMATICS7 - 400	Siemens
F	Визуализация	MasterSCADA	TraceMOD 5	TraceMOD 6

При разработке научного исследования, возможны следующие варианты исполнения:

1. A2B1C23D1E1F1 – Псевдолинейный нечеткий регулятор с классическим ПИД-регулятором дополненный нечетким ПКУ с фазовым опережением, реализованный на контроллере КРОСС в среде программирования IsaGraf.
2. A1B1C23D1E1F1 – Псевдолинейный нечеткий регулятор с классическим ПИД-регулятором дополненный нечетким ПКУ с амплитудным подавлением, реализованный на контроллере КРОСС в среде программирования IsaGraf.
3. A2B2C2D1E1F1 – Псевдолинейный нечеткий регулятор с нечетким ПИД-регулятором дополненный ПКУ с амплитудным подавлением, реализованный на контроллере КРОСС в среде программирования IsaGraf.

6.3 Планирование научно-исследовательских работ

6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо оптимально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

На данном этапе составляется полный перечень проводимых работ, и определяются их исполнители и оптимальная продолжительность.

Для выполнения данной работы необходим небольшой штат исполнителей, состоящий из научного руководителя проекта (НР) и инженера (И), а так же не предполагает высоких затрат. Значит, что при составлении плана комплекса работ будет использоваться линейный метод.

Весь перечень работ разделен на следующие этапы:

- подготовительный;
- исследование и анализ предметной области;
- разработка программного обеспечения;
- оформление документации.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

№	Перечень работ	Исполнители
Подготовительный этап		
1	Составление задания, постановка целей и задач	НР
2	Поиск литературы	И, НР
3	Ознакомление с пакетом программирования контроллера Кросс – Isagraph	И
4	Ознакомление со SCADA-системой MasterSCADA	И
5	Ознакомление со OPC-сервером для контроллера КРОСС	И
Исследование и анализ предметной области		
6	Исследование псевдолинейных корректирующих устройств	И, НР
7	Исследование и анализ структуры нечетких регуляторов	И, НР
8	Исследование и анализ псевдолинейных нечетких регуляторов	И, НР
Разработка программного обеспечения		
9	Разработка программного обеспечения Проектирование фаззи-ПИД регулятора на контроллере КРОСС	И
10	Проведение экспериментальных исследований	И, НР
11	Редактирование и отладка программы	И, НР
12	Реализация спроектированной системы в MasterSCADA	И
13	Редактирование и отладка программ	И, НР
14	Анализ результатов работы	И, НР
Оформление документации		
15	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	И
16	Социальная ответственность	И
17	Составление и оформление пояснительной записки	И, НР
18	Защита дипломного проекта	И

6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (23)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \cdot 1.2, \quad (24)$$

где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб.дн.,

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.,

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

6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переводится в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (25)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях, T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях, $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (26)$$

где $T_{\text{кал}}$ – календарные дни ($T_{\text{кал}} = 365$); $T_{\text{вых}}$ – выходные дни в году; $T_{\text{пр}}$ – праздничные дни в году.

$$T_K = \frac{365}{365 - 118} = 1,47.$$

В таблице 8 приведена длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

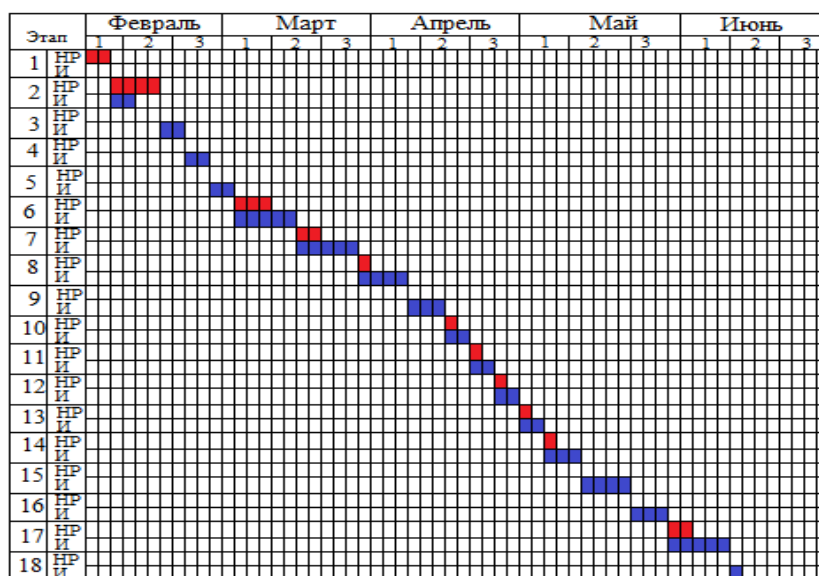
Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Исполнитель	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
					$T_{\text{рд}}$		$T_{\text{кд}}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{\text{ож}}$	НР	И	НР	И
1	НР	1	2	1,4	1,68	0	3	0
2	И, НР	5	8	6,2	7,44	2,8	11	4
3	И	2	4	2,8	0	3,36	0	5
4	И	2	4	2,8	0	3,36	0	5
5	И	2	4	2,8	0	3,36	0	5
6	И, НР	7	10	8,2	5,72	9,84	9	15
7	И, НР	7	10	8,2	4,8	9,84	7	15
8	И, НР	5	8	6,2	1,68	7,44	3	11
9	И	3	6	4,2	0	5,04	0	8
10	И, НР	2	4	2,8	1,68	3,36	3	5
11	И, НР	2	4	2,8	1,68	3,36	3	5
12	И	2	4	2,8	0	3,36	0	5

13	И, НР	2	4	2,8	1,68	3,36	3	5
14	И, НР	3	6	4,2	1,68	5,04	3	8
15	И	5	8	6,2	0	7,44	0	11
16	И	2	6	3,6	0	4,32	0	7
17	И, НР	7	10	8,2	3,36	9,84	5	15
18	И	1	2	1,4	0	1,68	0	3
Итого:		60	104		31,4	86,8	50	132

На основе таблицы 9 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта (таблица 10).

Таблица 10 – Календарный план график проведения НИР



6.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В состав затрат на создание проекта включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание разработки. Расчет сметной стоимости на выполнение разработки производится по следующим статьям затрат:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;

- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

6.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам и приведена в таблице 11.

Таблица 11 – Материальные затраты НТИ

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Тетрадь	52	1 шт.	52
Бумага для принтера формата А4	250	1 уп.	250
Ручка шариковая	28	2 шт.	56
Карандаш	15	1 шт.	15
Итого:			373

Расходы на материалы составили $Z_{\text{мат}} = 373$ рубля.

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

Затраты на дополнительное приобретение приборов для проведения исследований не производились.

6.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, а также премии, входящие в фонд заработной

платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{ср/день}} = \frac{Z_{\text{месяц}}}{F_{\text{дн}}}. \quad (27)$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в Таблице 1.8. При расчете учитывалось, что в году 247 рабочих дня и, следовательно, в месяце 20,58 рабочих дня. Также был принят во внимание районный коэффициент $K_{\text{РК}} = 1,3$ и премиальный коэффициент для НР равный 0,3.

Таблица 12 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	25 000	1214,77	32	1,6	62196,22
И	15 000	728,86	87	1,3	82434,40
Итого:					144630,62

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили $Z_{\text{осн}} = 144630,62$ рублей.

6.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (28)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
НР	62196,22	–
И	82434,40	–
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	$k_{\text{внеб}} = 27,1\%$	
Итого:	39194,899 руб.	

6.4.5 Накладные расходы

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

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (29)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (16%).

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (39194,899 + 144630,62 + 373) = 29471,76 \text{ рублей.}$$

6.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Расчёт бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	373
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	144630,62
3. Отчисления во внебюджетные фонды	39194,899
4. Накладные расходы	29471,76
5. Бюджет затрат НТИ	213670,279

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

В настоящее время все чаще возникает вопрос об эффективности работоспособности систем. На большинстве производств постоянно происходит модернизация оборудования для уменьшения времени производства и, соответственно, уменьшения финансовых затрат.

Все системы автоматического управления, применяемые на производствах, состоят из различных участков – звеньев, каждое из которых, выполняет свои необходимые функции. Результат данной разработки характеризуется улучшением функционирования основного звена системы автоматического управления.

В частности, изменяется принцип действия регулятора системы. Вместо традиционных ПИ, ПИД - регуляторов предлагается использовать регулятор на базе нечеткой логики с использованием псевдолинейного корректирующего устройства. Данное объединение устройств позволяет существенно повысить эффективность регулирования, т.е. уменьшается колебательность системы, время реагирования системы, тем самым обеспечивается снижение времени цикла технологического процесса и повышение эффективности системы автоматического управления.

Выполнение научно-исследовательских работ оценивается уровнями достижения экономического, научного, научно-технического и социального эффектов.

Научный эффект характеризует получение новых научных знаний и отображает прирост информации, предназначенной для внутринаучного потребления. Научно-технический эффект характеризует возможность использования результатов в других проектах и обеспечивает получение информации, необходимой для создания новой техники. Экономический эффект характеризуется выраженной в стоимостных показателях экономией живого общественного труда. Социальный эффект проявляется в улучшении условий труда.

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (30)$$

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

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

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

$$I_{\text{финр}} = \frac{213670,279}{200000} = 1,06.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в 0,06 раз.

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (31)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Таблица 15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии объекта исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Уровень новизны	0,4	4	2	3
2. Теоретический уровень	0,1	2	2	2
3. Возможность реализации	0,5	4	4	4
ИТОГО	1	3,8	3	3,4

$$I_{p-исп1} = 4 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,5 = 3,8;$$

$$I_{p-исп2} = 2 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,5 = 3;$$

$$I_{p-исп3} = 3 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,5 = 3,4.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}. \quad (32)$$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}. \quad (33)$$

Таблица 16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,06	1,06	1,06
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,8	3	3,4

3	Интегральный показатель эффективности	3,58	2,83	3,2
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,26	0,8	1,1

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

7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В рамках выпускной квалификационной работы исследуется и моделируется нечёткий псевдолинейный ПИД-регулятор с использованием различных программных средств. Работа над проектом осуществляется с использованием персонального компьютера в учебной аудитории, расположенной на кафедре «Автоматики и компьютерных систем» в десятом учебном корпусе Томского политехнического университета. Данная модель регулятора будет применяться в системах автоматического управления для улучшения качества различных технологических процессов.

7.1 Производственная безопасность

Таблица 17 - Опасные и вредные факторы при выполнении работ за ПЭВМ

Источники к фактора	Факторы		Нормативные документы
	Вредные факторы	Опасные факторы	
Работа с ПЭВМ	1.Отклонение показателей микроклимата; 2.Превышение уровня шума и вибрации; 3.Недостаточная освещенность рабочей зоны; 4.Превышение показателей электромагнитного излучения; 5.Психофизические факторы.	1.Электрический ток	1.Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96[1]; 2.Предельно допустимые значения уровня шума установлены ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности[2]; 3.Превышение показателей электромагнитного излучения по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и

			нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»[3]; 4.ГОСТ 12.1.019-85 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты[4].
--	--	--	---

7.1.1 Повышенные показатели микроклимата

По степени физической тяжести работа инженера-программиста относится к категории лёгких работ по СанПиН 2.2.4.548-96. В соответствии с временем года и категорией тяжести работ определены параметры микроклимата согласно требованиям СанПиН 2.2.4.548 – 96[1]. Данные требования приведены в таблице 14.

Таблица 18 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата по СанПиН 2.2.4.548 – 96.

Период года	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптим альная	Допустимая на рабочих местах				Оптим альная	Допу стима я	Опти мальн ая, не более	Допус тимая, не более
		Верхняя		Нижняя					
		Пост.	Не пост.	Пост.	Не пост.				
Холодный	22 – 24	25	26	21	18	40 – 60	75	0,1	0,1
Теплый	23 – 25	28	30	22	20	40 – 60	70	0,1	0,1

В помещении, где производится работа температура и влажность воздуха поддерживается в заданных в таблице пределах. Кроме того, имеется автоматическая система кондиционирования, очищающая и нагревающая (охлаждающая) воздух, поступающий в аудиторию.

Таким образом, нет необходимости в принятии дополнительных мер для создания благоприятных условий.

7.1.2 Недостаточность освещенности рабочей зоны

По санитарно-гигиенических нормам СанПиН 2.2.4.548 – 96 [1] рабочее место должно иметь естественное и искусственное освещение. При работе должен быть отчетливо виден процесс деятельности, без напряжения зрения и прямого попадания лучей источника света в глаза.

Работа за компьютером относится к IV разряду зрительной работы средней точности СП 52.13330.2011. Наименьший размер объекта различения составляет 0.5 – 1 мм. По нормам госта СП 52.13330.2011 [5] рекомендуемая освещенность помещения для данного разряда 400 лк (таблица 19).

Таблица 19 – Нормы освещенности по госту СП 52.13330.2011

Разряд зрительной работы	Характеристика	Подразряд	Освещенность (комбинированная система), Лк	Освещенность (общая система), Лк
IV	Средней точности	Б	500	200

Требования к освещению рабочих мест, оборудованных персональным компьютером, показаны в таблице 20 в соответствии с нормами госта СП 52.13330.2011 [5].

Таблица 20 – Требования к освещению на рабочих местах по госту СП 52.13330.2011

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%

7.1.3 Повышенный уровень шума

Продолжительное воздействие шума может привести к ухудшению слуха или даже к его полной потере, снижает работоспособность.

Стандарт 2.2.4/2.1.8.562 – 96 [6] распространяется на технологическое оборудование, машины и другие источники шума, которые создают в воздушной среде все виды шумов.

Предельно допустимые нормы по госту 12.1.003-83 [7] уровня шума для рабочих мест приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Допустимые уровни звукового давления и уровня звука на рабочих местах по госту 12.1.003-83

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в активной полосе частот, Гц								Уровни звука, дБ
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
А	71	61	54	49	45	42	40	38	50

А – помещение конструкторских бюро, лаборатории для теоретических работ.

Возможные способы снижения шума:

1. Звукоизоляция помещений смежных с шумным производственным участком.
2. Акустический экран
3. Средства индивидуальной защиты (наушники, беруши).
3. прочистка вентилятора от пыли или заменить полностью.

7.1.4 Повышенное Электромагнитное излучение

При работе компьютера вокруг него образуется электромагнитное поле, деионизирующее окружающую среду, что делает воздух сухим, слабо ионизированным.

Согласно СанПиН 2.22.542-96 [8] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг монитора по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц ÷ 2 кГц – 25 В/м;
- в диапазоне частот 2 кГц ÷ 400кГц – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц ÷ 2 кГц – 250 нТл;
- в диапазоне частот 2 кГц ÷ 400кГц – 25 нТл.

Возможные способы защиты от ЭМИ:

- использование жидкокристаллический монитор, т.к. его излучение значительно меньше, чем у мониторов с электроннолучевой трубкой.
- расположение монитора и системного блока компьютера максимально удаленно от оператора.
- сокращение времени работы за компьютером и увеличение количества перерывов в работе.
- применение ионизаторов воздуха для увеличения количества легких отрицательных ионов в воздухе.

7.1.5 Психофизические факторы

Основную часть времени разработчик-программист проводит за работой на персональном компьютере, в следствие чего может ухудшиться зрения, а также возникнуть проблемы со здоровьем в результате неправильной рабочей позы.

Необходимо отрегулировать настройки персонального компьютера, чтобы не было негативного влияния на зрение работника. Для этого необходимо [9]:

- настроить монитор дисплея на приемлемый для глаз уровень яркости;
- увеличить шрифт для удобного чтения;
- настроить контрастность и насыщенность цветовой гаммы, чтобы избежать переутомления глаз во время длительной работы за ПЭВМ

Также рабочее место должно быть максимально удобным, т.к. в результате неправильного расположения тела могут возникнуть проблемы с шейными и поясничным отделами позвоночника. Для организации правильной рабочей позы, а также организации отдыха работника необходимо соблюдать требования, описанные в документе СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [3]:

- расстояние от экрана монитора до глаз должно составлять 60-70 см;
- высота, ширина и глубина рабочего стола должна быть комфортной;
- рабочий стул должен находиться в удобном, отрегулированном положении по высоте и углам спинки;
- экран монитора должен быть антибликовым;
- каждые 2 часа во время непрерывной работы нужно делать небольшие перерывы;

- весь период работы за компьютером не должен превышать 6 часов.

Несоблюдение вышеуказанных правил может привести к получению работником травмы или развития заболевания. Поэтому на предприятии должен проводиться плановый медицинский осмотр всех работников для контроля за состоянием здоровья сотрудников.

7.1.6 Электробезопасность

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

Согласно с СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03 [3] рабочие места с ПЭВМ должны быть оборудованы защитным занулением; подача электрического тока в помещение должна осуществляться от отдельного независимого источника питания; необходима изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль; должны быть предусмотрены защитное отключение, предупредительная сигнализация и блокировка.

Помещение, в котором расположено рабочее место, относится к категории без повышенной опасности, и соответствует установленным условиям согласно с ГОСТ 12.1.019–85 [4]:

- напряжение питающей сети 220 В, 50 Гц;
- относительная влажность воздуха 50%;
- средняя температура около 24°C;
- наличие непроводящего полового покрытия.

7.2 Экологическая безопасность

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы загрязнения атмосферы не происходило, т.к. никаких выбросов в воздух не происходило, также никакого влияния не оказывается на гидросферы, в связи с отсутствием сбросов в водоем.

Утилизация люминесцентных ламп: Такие лампы нельзя выкидывать в мусоропровод или уличные контейнеры, а нужно отнести в свой районный ДЕЗ (Дирекция единичного заказчика) или РЭУ (Ремонтно-эксплуатационное управление), где есть специальные контейнеры. Там они принимаются бесплатно, основанием должна служить утилизация в соответствии с Управлением Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека [10]

Загрязнение литосферы может происходить бытовыми отходами. Наиболее рациональным способом защиты от этого является переработка мусора. Основным отходом в процессе работы была макулатура, ее утилизация происходит на станции вторсырья.

7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией является возникновение пожара, так как на рабочем месте располагается большое количество ЭВМ. В соответствии с нормами пожарной безопасности [11], помещения с ЭВМ относятся к категории В (пожароопасные).

Основные причины возникновения возгораний:

- нарушение правил эксплуатации электрического оборудования, эксплуатация его в неисправном состоянии;
- перегрузка электрических сетей;
- применение неисправных осветительных приборов, электропроводки и устройств, дающих искрение, замыкание и т.п.;
- курение в неустановленных местах.

Для предупреждения возгораний в помещении необходимо соблюдать следующие мероприятия:

- соблюдать установленный режим эксплуатации электрических сетей, компьютеров и других устройств;
- соблюдать противопожарные нормы и правила при установке оборудования;
- проводить технические осмотры и планово-предупредительные ремонты оборудования и технических средств противопожарной защиты и пожаротушения (огнетушители) согласно утвержденного графика.

В помещении должен быть установлен углекислотный огнетушитель типа ОУ-5 для тушения пожаров.

При возникновении пожара здание необходимо покидать в соответствии с планом эвакуации, которые размещены на каждом этаже.

7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

При разработке проектных решений в вычислительных центрах не обязателен режим сокращенного рабочего дня, достаточно установление перерывов в работе.

Работа в вычислительном центре относится к классу 2 – допустимые условия труда, при которых уровень факторов среды и трудового процесса, не превышает уровней, установленных гигиеническими нормативами для рабочих мест, а возможные изменения функционального состояния организма восстанавливаются во время регламентированного отдыха или к началу следующей смены. В связи с этим дополнительных льгот и компенсаций работникам этой области не предусмотрено.

Органы, регулирующие соблюдение федерального законодательства и нормативных правовых актов: Федеральная инспекция труда, Государственная экспертиза условий труда Федеральная служба по труду и занятости населения (Минтруда России Федеральная служба по

экологическому, технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор, Госэнергонадзор, Госатомнадзор России) Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Госсанэпиднадзор России)).

Экологический контроль является важным звеном организационно-правового механизма охраны окружающей среды. Экологический контроль – система мероприятий, направленная на предотвращение, выявление и пресечение нарушения законодательства в области охраны окружающей среды. Общественный экологический контроль проводится профсоюзными и общественными организациями и объединениями.

7.4.1 Организационные мероприятия обеспечения безопасности рабочей зоны

При выполнении выпускной квалификационной работы основная нагрузка приходится на центральную нервную систему, так как происходит умственная работа. При проектировании необходимо организовать комфортные условия для полноценной работы.

По нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03 [3] на протяжении рабочего дня должны быть регламентированы перерывы для качественной работы. Время перерывов в течение рабочей смены устанавливается с учетом её длительности, вида и категории трудовой деятельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы были исследованы свойства псевдолинейных корректирующих устройств на основе которых разработан, исследован и программно реализован на контроллере КРОСС псевдолинейный нечеткий регулятор.

Проведено исследование свойств САР нечеткими регуляторами с псевдолинейным корректирующим устройством с запоминанием экстремума и с псевдолинейным корректирующим устройством с фазовым опережением. Исследование проведено для САР объектами второго порядка.

Результаты исследования показали, что применение данных корректирующих устройств позволяет улучшить качество САР при изменении свойств и параметров объекта управления, а также позволяет обеспечить устойчивость САР при изменении параметров объекта управления в широких пределах. Наилучшие качества при этом обеспечивает корректирующее устройство с запоминанием экстремума.

Разработаны практические рекомендации по применению псевдолинейного нечеткого регулятора с корректирующим устройством с запоминанием экстремума. Основными из которых являются следующие.

Корректирующее устройство с запоминанием экстремума вносит положительный фазовый сдвиг, зависящий от коэффициента передачи блока масштабирования и не зависящий от частоты. Изменение параметра настройки корректирующего устройства позволяет осуществить подъем ЛФЧХ САР и тем самым повысить запас устойчивости и качества системы.

Программная реализация псевдолинейного нечеткого регулятора была реализована на контроллере КРОСС в программном пакете IsaGraf на языке программирования FBD. Данная программа может быть использована для улучшения качества регулирования объектами второго порядка путем включения этой программы в используемую для конкретного объекта

программу регулирования. При этом никаких финансовых и аппаратных затрат не требуется.

CONCLUSION

As a result of the final qualifying work have been developed, researched and implemented software is pseudo-linear fuzzy controller, in the PLC CROSS.

Research was conducted with the automatic control system of the pseudo-linear correction device with extremum remembering and pseudo-linear correcting device with a phase advance to the second-order object.

Results of research showed that use of the offered regulators allows to improve quality of automatic control system at change of parameters of control object, and also allows to provide stability of automatic control system at change of parameters of control object over a wide range.

Practical recommendations are developed about use of pseudo-linear fuzzy controller. Are basic of which: the pseudo-linear correcting device with a phase advance allows to reduce regulation time for 10-20%. Corrective device with extremum remembering phase shift depending on the gain scaling unit and does not depend on the frequency. If control object has delay, it is recommended to use the classical PID- controller added with fuzzy PKU with amplitude suppression. It allows to keep stability in system and to raise a stability margin.

Software implementation pseudolinear fuzzy controller was implemented in a software package IsaGraf in a programming language FBD. This program can be used for improvement of quality of regulation by objects of the second order by inclusion of this program in the program of regulation used for concrete object. Thus any financial and hardware expenses it isn't required.

Список использованных источников

1. Захаренко, И. Е. Псевдолинейная коррекция в системах автоматического регулирования [Электронный ресурс] / И. Е. Захаренко, Н. С. Сипкова, В. Н. Скороспешкин; науч. рук. В. Н. Скороспешкин // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск.
2. Лурье. Б.Я. Классические методы автоматического управления. Спб.: БХВ-Петербург, 2004.
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTECH. – С.Пб.: ВHV-Санкт-Петербург, 2003. – 736 с.
4. Искандеров Г.М. Нечеткие логические регуляторы в системе управления // Сборник трудов научно технической конференции “Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону”.-Ставрополь: СевКавГТУ.-2001.С.154-158.
5. В.Д. Бобко, Ю.Н. Золотухин, А.А. Нестеров «О нечеткой динамической коррекции параметров ПИД-регуляторов» [Электронный ресурс]. URL: <http://cholar.google.com>.
6. Александров А.Г., Паленов М.В. Состояние и перспективы развития адаптивных ПИД-регуляторов в технических системах / Труды участников конференции УКИ'12 / Научное издание. Электрон. текстовые дан. - М.:ИПУ РАН, 2012. М.: ИПУ РАН, 2012. С. 1577-1587.
7. Шубладзе А.М., Гуляев С.В., Шубладзе А.А. Оптимальные автоматически настраиваемые общепромышленные регуляторы // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002. №10. С. 30-33.

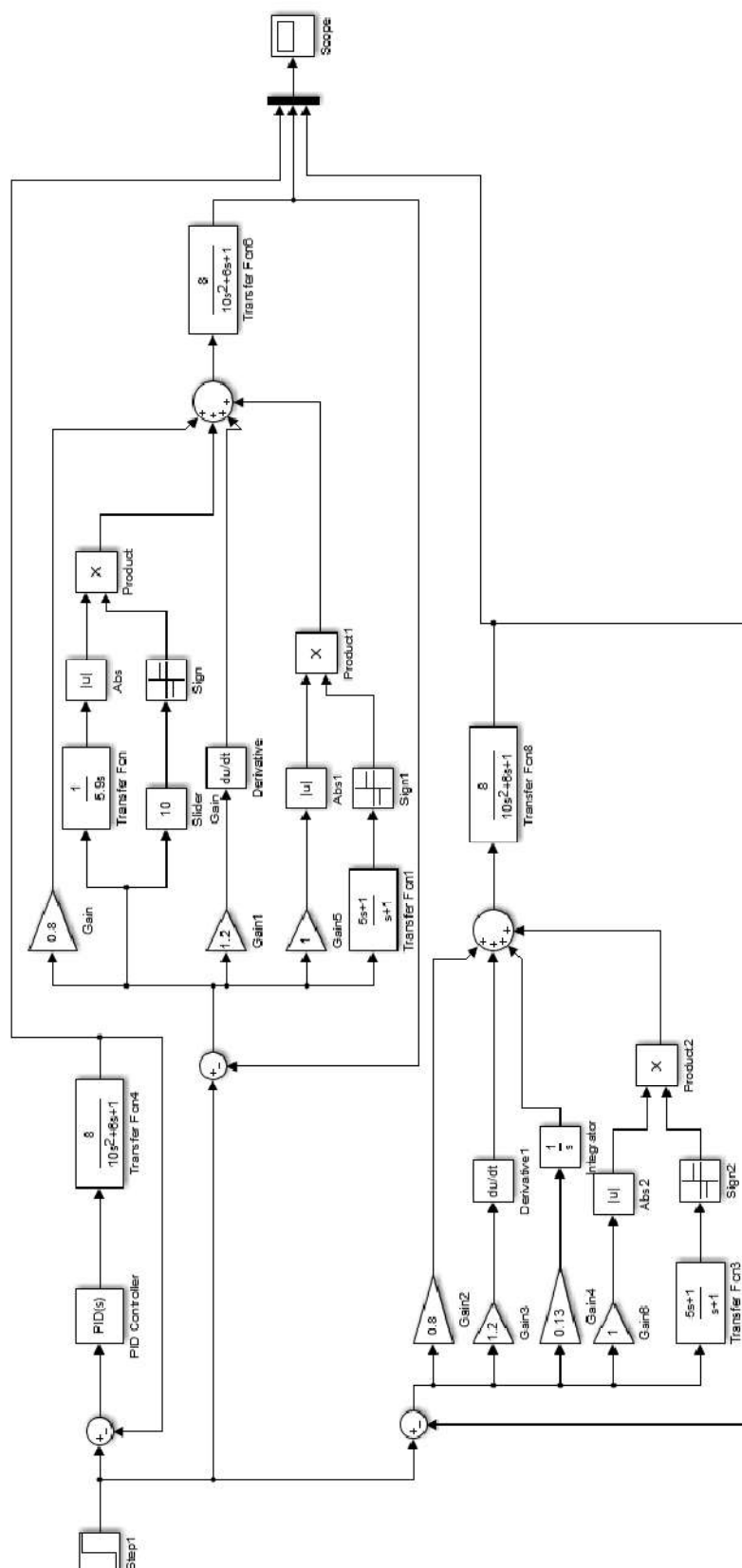
8. Ушкин И.С., Шумилкин А.А., Адилов Р.М. Использование ПИД-регуляторов в системах автоматического управления // Успехи современного естествознания, №7, 2011, с. 226.
9. Денисенко В. ПИД – регуляторы: принципы построения и модификации. Ч. 1.//Современные технологии автоматизации. – 2006. - №4. – с. 66-74.
10. Денисенко В. ПИД – регуляторы: принципы построения и модификации. Ч. 2.//Современные технологии автоматизации. – 2007. - №1. – с. 78-88.
11. Энциклопедия АСУ ТП [Электронный ресурс]. URL: http://bookasutp.ru/Chapter5_3.aspx.
12. Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования. – Киев: Выща школа, 1989. – 431 с.
13. Хлыпало Е.И. Нелинейные корректирующие устройства в автоматических системах. Л.: Энергия, 1973. — 344 с. 105: Хлыпало Е.И. Расчет и проектирование нелинейных корректирующих устройств в автоматических системах,- Л.: Энергоиздат, 1982. 272 с.
14. Нелинейные корректирующие устройства в системах автоматического управления./ Ю.И.Топчеев. М.: Машиностроение, 1971. - 466 с.
15. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / под ред. Н.Д. Егупова; изд. 2-е, стереотипное. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. - 744 с.
16. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы: учеб. пособие / И.В. Мирошник. СПб.: Питер, 2005. - 334 с.
17. Ким Д.П. Теория автоматического управления: учеб. пособие. Т. 1: Линейные системы. / Д. П. Ким. М.: Физматлит, 2007. - 312 с.
18. Корилов А.М. Основы теории управления: учеб. пособие / А.М. Корилов; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. Томск: Изд-во НТЛ, 2002. - 391 с.

19. Библиотека специалиста по КИПиА [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kipiasoft.su/>.
20. Лазарева Т. Я., Мартемьянов У.Ф. Основы теории автоматического управления: Учебное пособие. 2-е изд. перераб. и доп. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2004. - 352 с.
21. Бурцева Ю.С.Беспоисковый метод расчета настроек регуляторов на минимум квадратичного критерия: Дис...канд. тех. наук. – М, 2014 – 156 с.
22. Функциональная аппаратура и метрологическое оборудование. Промышленный контроллер КРОСС [Электронный ресурс] // ООО «Эвилар», 2005-2013 URL: http://evilar.ru/product/kip/meteo-oborud/PROMYSHLENNYJ_KONTROLLER_KROSS.html
23. ОАО «Завод Электроники и Механики». Контроллеры КРОСС, ТРАССА, Р-130 ISa. Руководство по эксплуатации: Часть 1. Чебоксары, 2009. 102с.
24. Рейзман А.Я. Исследование и разработка малоканальных контроллеров для систем цеховой автоматики: Дис... канд. Тех. Наук. – М., 2004. – 262 с.
25. Инструментальная система для программирования контроллеров, ISaGRAF [Электронный ресурс] // Средства и системы компьютерной автоматизации, 2001 URL: <http://asutp.ru/?p=400016>
- Программирование контроллеров (ISaGRAF) [Электронный ресурс] // Технические средства управления, 2012 URL: http://www.fh7.ru/pep_kontrollers
27. СанПиН 2.22.542-96 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. М.: Госкомсанэпиднадзор, 1996.
28. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

29. Словари и энциклопедии [Электронный ресурс]. URL: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_medicine/
30. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
31. СП 52.13330.2011 Свод правил. Естественное и искусственное освещение.
32. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
33. ГОСТ 12.1.003-83 Шум Общие требования безопасности, 1983.
34. ГОСТ 12.1.019–85 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты, 1985.
35. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды: учебник для вузов. – М.: Изд-во Юрайт, 2013. – 671с.
36. НПБ 105-95. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, утв. Приказом ГУ ГПС МВД РФ от 31.10.95 № 32.
37. Постановление от 30 декабря 2003 г. N 794 О Единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_159106/

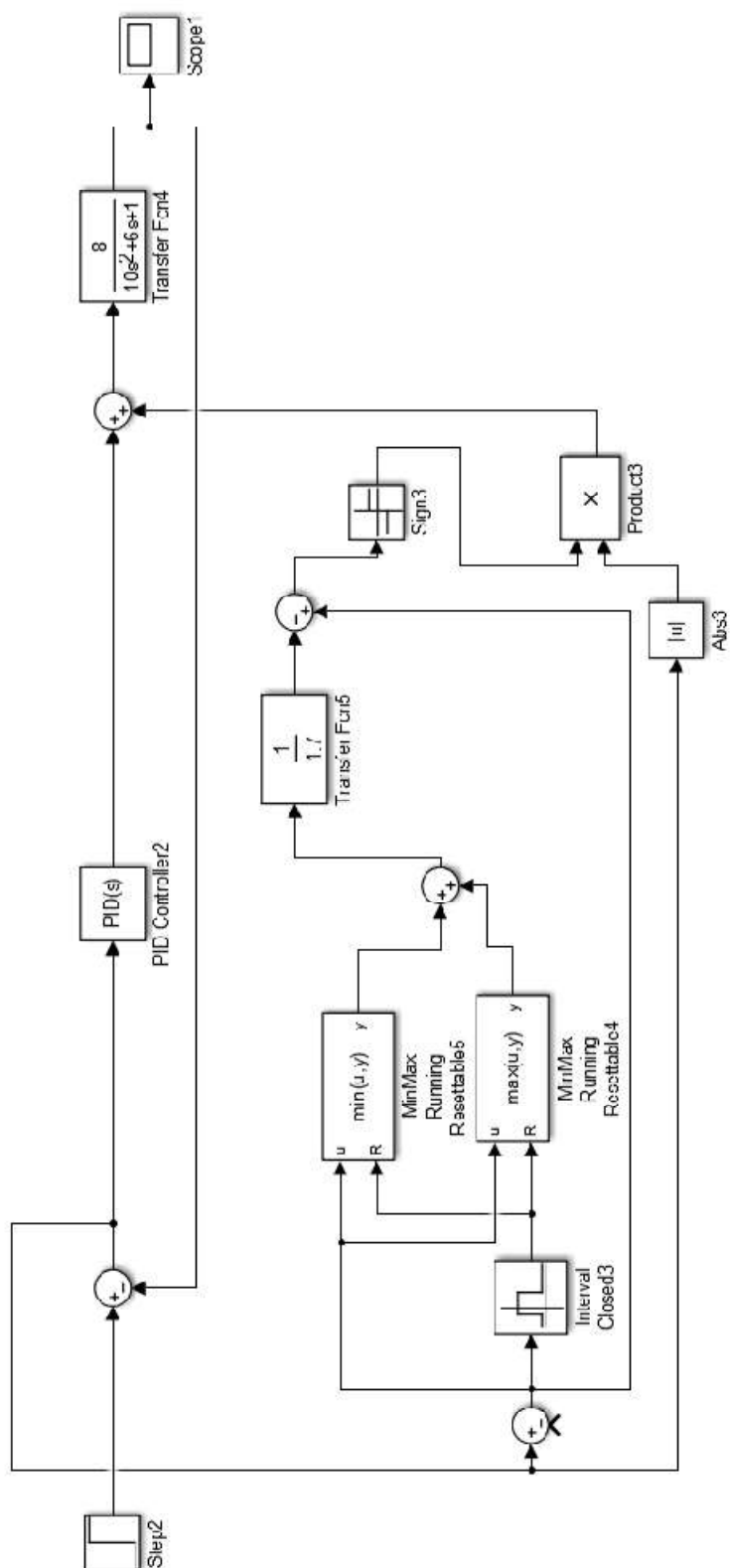
Приложение А (Обязательное)

Структурная схема модифицированного ПИД-регулятора



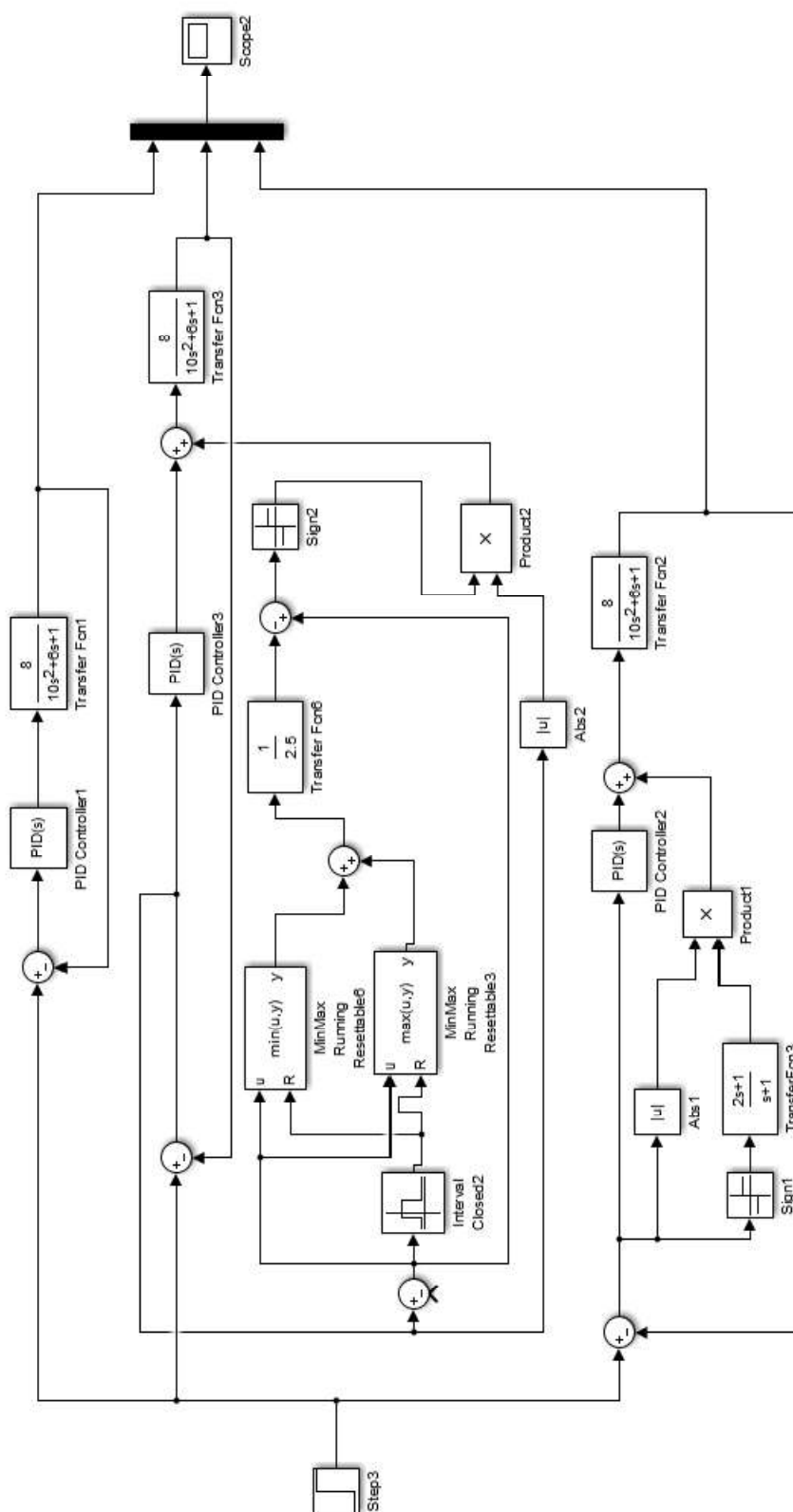
Приложение Б (Обязательное)

САР с КУ с запоминанием экстремума



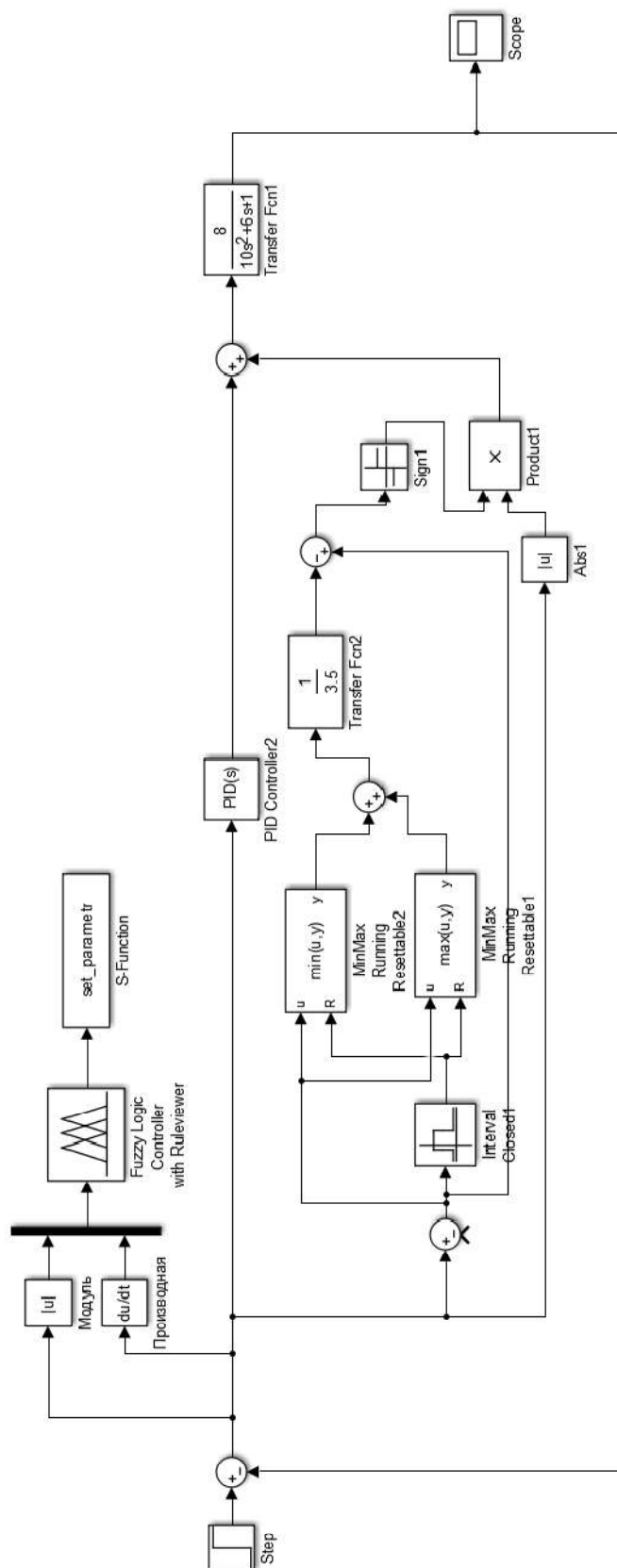
Приложение В (Обязательное)

САР с КУ с запоминанием экстремума и фазопережающим КУ

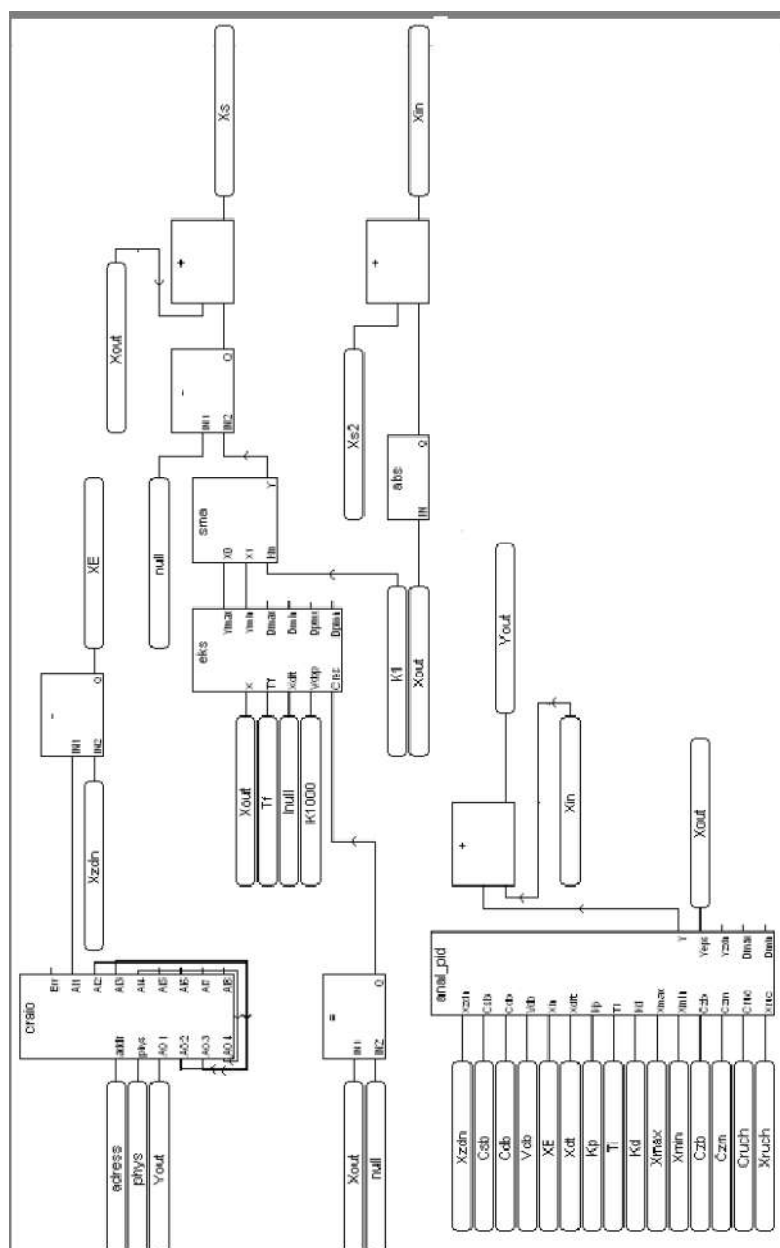


Приложение Г (Обязательное)

САР с нечетким ПИД-регулятором



Программа реализованная в Isagraf для контроллера «Кросс»



Приложение Е (Обязательное)

Структурная схема лабораторного стенда

