

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Нечеткое псевдолинейное корректирующее устройство систем автоматического управления	

УДК 681.515

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8А21	Захаренко Илья Евгеньевич		

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 220400 Управление в технических системах
 Кафедра автоматизации и компьютерных систем

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
8А21	Захаренко Илье Евгеньевичу

Тема работы:

Нечеткое псевдолинейное корректирующее устройство систем автоматического управления	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 702/с от 04.02.2016 г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.16
--	----------

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, логический микроконтроллер “КРОСС 500” -Лабораторный стенд -Программные пакеты Isagraf и Master SCADA
---	--

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>	Анализ существующих корректирующих устройств систем автоматического регулирования и математического аппарата нечеткой логики; Исследование свойств псевдолинейного корректирующего устройства с запоминанием экстремума и систем управления с данным корректирующим устройством в ППП MathCad и MatLab; Программная реализация нечеткого регулятора на контроллере Кросс-500;
Перечень графического материала	Слайд 1. Название темы. Слайд 2. Цель и задачи. Слайд 3. Типы псевдолинейных корректирующих устройств. Слайд 4. Частотные характеристики. Корректирующего устройства с запоминанием экстремума. Слайд 5. Переходные процессы в САР с псевдолинейным корректирующим устройством и ПИД регулятором при разных коэффициентах корректирующего устройства. Слайд 6. Подстройка коэффициента корректирующего устройства для одного из вариантов свойств объекта. Слайд 7. Влияние корректирующего устройства на систему при нестационарном объекте управления. Слайд 8. Система управления с нечетким КУ. Слайд 9. Функции, принципы нечеткой логики. Слайд 10. Сравнение КУ с нечеткой логикой и со статическим коэффициентом. Слайд 11. Программная реализация в ППП Isagraf. Слайд 12. Визуализация программы в ППП Master SCADA. Слайд 13. Результаты.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко Валентин Сергеевич, ассистент каф. МЕН.
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

21.12.2015

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	Захаренко Илья Евгеньевич		

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

Институт кибернетики
Направление подготовки 220400 Управление в технических системах
Кафедра автоматики и компьютерных систем
Уровень образования – бакалавр
Период выполнения – весенний семестр 2014/2015 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)
06.06.2016 г.	Основная часть	75
30.05.2016 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
02.06.2016 г.	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
8А21	Захаренко Илье Евгеньевичу

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

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Матрица SWOT</i>
2. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
3. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

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
8А21	Захаренко Илья Евгеньевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8A21	Захаренко Илье Евгеньевичу

Институт		Кафедра	
Уровень образования	Бакалавриат	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	В выпускной квалификационной работе рассматривается процесс исследования нечеткого корректирующего устройства и его программной реализации. Используются для улучшения качества систем автоматического регулирования
--	--

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: - недостаточная освещенность рабочей зоны; - повышенный уровень электромагнитных излучений; - повышенная напряжённость электрического поля; - повышенная или пониженная влажность воздуха; - повышенный уровень шума. Анализ выявленных опасных факторов: - электрический ток (источником является ПК);
2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);	При выполнении работы влияние на атмосферу и гидросферу не происходит. Воздействие на литосферу – образование отходов при печати документов.

– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	
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 аудиторном помещении возможно ЧС техногенного характера – пожар (возгорание).
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.	Требования к организации оборудования рабочих мест с ПК 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 Ольга Алексеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8А21	Захаренко Илья Евгеньевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 86 с., 15 табл., 31 рис., 35 источников, 4 прил.

Ключевые слова: псевдолинейные корректирующие устройства, нечеткая логика, фаззификация, дефаззификация, база правил, нечеткое корректирующее устройство.

Объектом исследования является псевдолинейное нечеткое корректирующее устройство с запоминанием экстремума, применяемое в системах автоматического регулирования.

Цель работы – исследование свойств псевдолинейного корректирующего устройства, его программная реализация, как нечеткого корректирующего устройства.

В процессе работы проводился анализ корректирующих устройств, применение нечеткой логики и систем регулирования в условиях, когда свойства объекта управления в процессе работы САР менялись. Анализ проводился в ПП Matlab.

Результатом работы является предложенное, псевдолинейное, нечеткое КУ и его программная реализация в среде Isagraf для промышленных микропроцессорных контроллеров. Предложенное КУ позволяет улучшить качество регулирования. Проведено исследование свойств данного КУ и выработаны рекомендации по его применению.

СОКРАЩЕНИЯ

КУ – корректирующее устройство;

САУ – система автоматического управления;

ПИД регулятор – пропорционально-интегро-дифференциальный регулятор;

ЛП – лингвистические переменные;

ЛКУ – линейные корректирующие устройства;

САР – система автоматического регулирования;

ПКУ – псевдолинейное корректирующее устройство.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	15
1 Анализ корректирующих устройств систем автоматического регулирования	17
1.1 Линейные корректирующие устройства.....	18
1.2. Нелинейные корректирующие устройства	19
1.3. Псевдолинейные корректирующие устройства	21
1.3.1 Корректирующие устройства с амплитудным подавлением	22
1.3.2 Корректирующее устройство с фазовым опережением.....	23
1.3.3. Корректирующие устройства с отдельными каналами для амплитуды и фазы.....	24
1.3.4 Корректирующие устройства с запоминанием экстремума.....	25
2. Настройка ПИД-регулятора.	28
2.1 Метод Зиглера-Никольса	28
2.2 Ручной метод настройки, основанный на знании правил.....	29
2.3 Корневой метод.....	30
2.4 Метод затухающих колебаний.....	31
3 Оценка качества регулирования	32
4. Система автоматического управления с нечетким корректирующим устройством	33
4.1 Основы нечеткой логики	33
4.2 Структура САУ с нечетким КУ	34
5 Разработка и исследование в среде MATLAB свойств систем управления с корректирующим устройством.....	35
5.1 Исследование свойств системы автоматического регулирования с псевдолинейным корректирующим устройством с запоминанием экстремума.....	35
5.2 Система автоматического регулирования псевдолинейного корректирующего устройства с запоминанием экстремума.....	38
5.3 Сравнение корректирующего устройства с запоминанием экстремума и корректирующего устройства с фазовым опережением. ..	40
5.4 САУ с нечетким псевдолинейным корректирующим устройством с запоминанием экстремума.....	42

5.5 Сравнение нечеткого корректирующего устройства и корректирующего устройства со статическим коэффициентом.....	44
6 Программная реализация регуляторов в среде Isagraf для промышленного контроллера КРОСС	46
6.1.Назначение, состав и технические характеристики контроллера КРОСС.....	46
6.1.1 Назначение и область применения контроллера	46
6.1.2 Основные возможности контроллера	46
6.1.3 Модули котроллера.....	48
6.2.Программный пакет Isagraf	48
6.2.1 Описание программного пакета.....	49
6.2.2 Языки программирования, реализованные в ISaGRAF	49
6.2.3 Основные возможности ISaGRAF	49
6.3 Программа для системы автоматического регулирования с псевдолинейным корректирующим устройством.	50
6.4 Отладка и проверка работоспособности программ	52
6.4.1 Описание лабораторного стенда, используемого для программирования и проверки работоспособности программ	52
6.4.2.Результат проверки работы.	53
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	54
7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	54
7.1.1 SWOT – анализ.....	54
7.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	55
7.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	56
7.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	56
7.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ	57
7.4 Бюджет научно-технического исследования.....	58
7.4.1 Расчет материальных затрат	59

7.4.2 Расчеты затрат на специальное оборудование для научных работ	59
7.4.3 Расчет основной заработной платы исполнителей системы	59
7.4.4 Расчет затрат по дополнительной заработной плате	60
7.4.5 Расчет отчислений во внебюджетные фонды	61
7.4.6 Расчет накладных расходов	62
7.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	62
4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	63
5. Социальная ответственность	67
Введение	67
5.1. Производственная безопасность	67
5.1.1. Повышенное Электромагнитное излучение	67
5.1.2 Повышенные показатели микроклимата	68
5.1.3 Недостаточность освещенности рабочей зоны	69
5.1.4 Повышенный уровень шума	70
5.1.5 Психофизические факторы	71
5.1.6 Электробезопасность	72
5.2. Экологическая безопасность	72
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	73
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	74
5.4.1 Организационные мероприятия обеспечения безопасности рабочей зоны	75
Заключение	76
CONCLUSION	77
Список публикаций	78
Список использованных источников	79
Приложения	82

ВВЕДЕНИЕ

Широкая распространенность систем автоматического регулирования во всех сферах жизнедеятельности человека требует их постоянного усовершенствования. В связи с этим с каждым годом в области инженерии происходят новые и новые перемены, так как специалисты пытаются все вокруг автоматизировать, чтобы облегчить работу человеку.

Однако значительное количество ОУ обладает нестационарными (дрейфующими) во времени параметрами. В связи с этим регулятор с первичной настройкой не может обеспечить достижение цели управления в процессе всего функционирования ОУ. Таким образом присутствует необходимость постоянно или периодически подстраивать параметры ПИД-регулятора под изменяющиеся параметры ОУ так, чтобы выполнялась цель управления [1]. Решение этой проблемы достигается с помощью внедрения в систему псевдолинейных корректирующих устройств таких как:

- КУ с фазовым опережением;
- КУ с амплитудным подавлением;
- Двухканальное КУ (объединение свойств двух вышеперечисленных КУ);
- КУ с запоминанием экстремума.

В то же время известна эффективность этих корректирующих устройств (КУ) [2, 3, 4, 5, 6]. Они позволяют изменять характеристики САР в соответствии с предъявляемыми требованиями, такими как получение необходимого запаса устойчивости, улучшение качества переходных процессов, повышение точности системы, оптимизация по определенному критерию. Из этого следует, что имеется возможность применения данных устройств в качестве адаптивных.

В настоящее время широкое распространение получили системы управления с нечеткой логикой. Нечеткое управление основано на практическом применении знаний экспертов наладчиков САР, представленных в виде лингвистических переменных.

В данной работе исследована работа нечеткого псевдолинейного корректирующего устройства, параметры которого подстраиваются в соответствии с изменением свойств объекта управления.

1 Анализ корректирующих устройств систем автоматического регулирования

Под улучшением качества процесса регулирования, помимо повышения точности в типовых режимах, понимается изменение динамических свойств системы регулирования с целью получения необходимого запаса устойчивости и быстродействия. В этой проблеме основное значение имеет обеспечение запаса устойчивости. Поэтому для поддержания требуемой точности регулирования, изменяют параметры системы (коэффициенты усиления и постоянные времени) так, чтобы удовлетворять требованиям качества регулирования. Повышения запаса устойчивости системы, может осуществляться при помощи корректирующих средств.

К средствам коррекции относят, в частности, и корректирующие звенья с определенными передаточными функциями. Внесение в систему такого дополнительного элемента, который определенным образом будет корректировать свойства исходной автоматической системы. Если этот элемент достаточно сложен, то он называется корректирующим устройством.

По способу включения в систему, корректирующие устройства делятся на последовательные (рисунок 1(а)), параллельные (рисунок 1(в)), встречно-параллельные (рисунок 1(б)) [2].

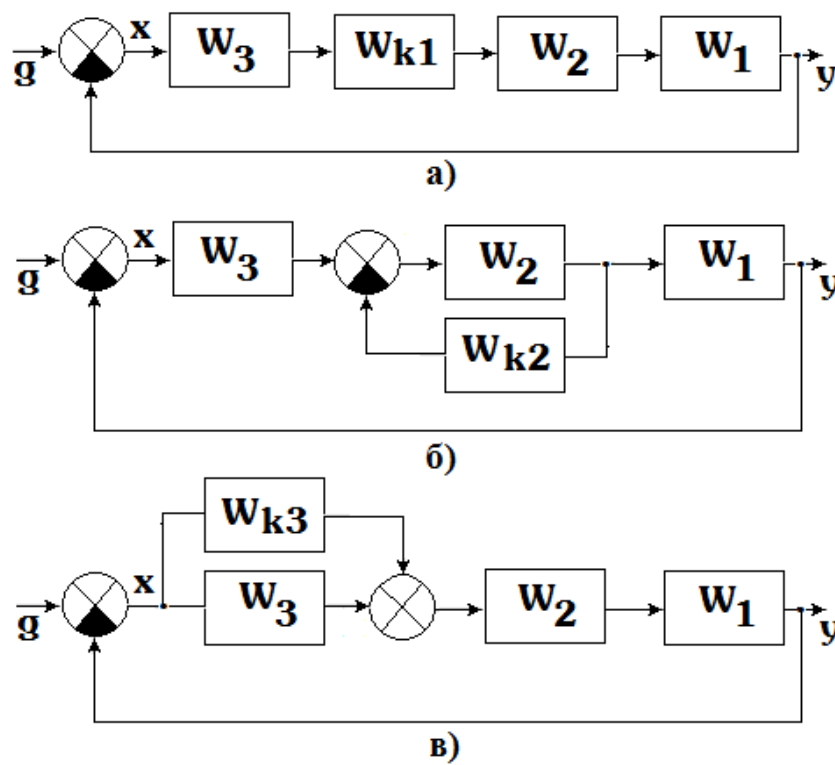


Рисунок 1 – Способы включения КУ в систему управления

Звенья параллельного типа удобно применять в тех случаях, когда необходимо осуществлять сложный закон регулирования с введением интегралов и производных от сигнала ошибки.

В настоящее время применяются линейные корректирующие устройства (ЛКУ), нелинейные корректирующие устройства и псевдолинейные корректирующие устройства (ПКУ) [2, 7, 8].

1.1 Линейные корректирующие устройства

В системах автоматического управления широко используются линейные корректирующие устройства, преимуществом которых являются простота и эффективность в реализации, но имеют ограниченные возможности в получении высоких показателей качества и точности процессов управления. Линейные корректирующие устройства широко используются в различных системах автоматического регулирования (САР).

В процессе синтеза ЛКУ могут применяться два основных подхода. В первом случае, используются корректирующие устройства определенного типа, в зависимости от цели использования. Примеры данных устройств приведены ниже:

- интегрирующее звено первого порядка, используется для повышения точности управления, за счет повышения степени астатизма;
- пропорционально-дифференцирующее звено первого порядка, используется для повышении запасов устойчивости;
- интегро-дифференцирующее звено, также используется для повышения запасов устойчивости;
- апериодическое звено, применяется для фильтрации высокочастотных помех.

Во втором подходе, синтез ЛКУ основан на использовании желаемых логарифмических частотных характеристик, по которым имеется возможность определять частотные характеристики параллельных или последующих корректирующих устройств.

В виду недостатков ЛКУ в системах управления в настоящее время широко применяются нелинейные КУ.

1.2. Нелинейные корректирующие устройства

Линейные корректирующие устройства имеют ряд достоинств и широко применяются для улучшения динамических свойств как линейных, так и нелинейных автоматических систем. Вместе с тем линейным корректирующим устройствам присуще и недостатки. К ним, в частности, следует отнести и жесткую зависимость между амплитудным и фазовыми частотными характеристиками.

Рассмотрим несколько разновидностей нелинейных корректирующих устройств, приведенных в [9].

1. Четырехполосники 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.

Схемы включения НКУ в систему управления представлены на рисунке 2. Схема *а* соответствует последовательному включению нелинейного четырехполосника (выделен на рисунке штриховыми линиями) в систему управления; схемы *б* и *в* — схемы параллельного включения нелинейных четырехполосников.

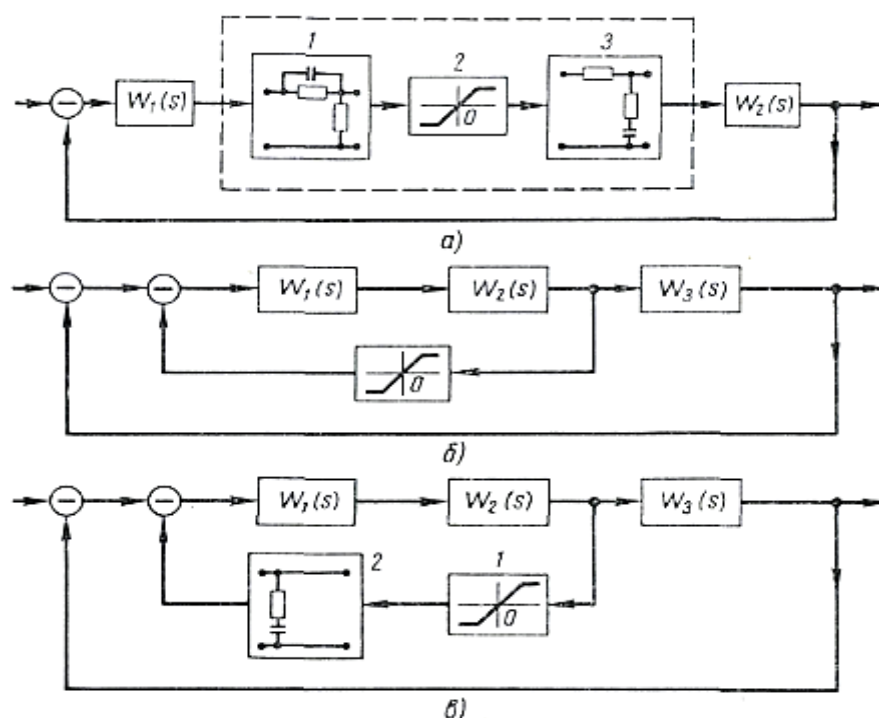


Рисунок 2 – Схемы включения НКУ

2. Нелинейные корректирующие устройства, использующие элементы неизменяемой части САУ, применяются в самонастраивающихся САУ или в системах с перестройкой структуры[10].

1.3. Псевдолинейные корректирующие устройства

Среди нелинейных корректирующих устройств можно выделить класс таких устройств, эквивалентные амплитудно-фазовые характеристики которых не зависят от амплитуды входного сигнала и являются только функциями частоты. У этих устройств отсутствует жесткая связь между амплитудной и фазовой характеристиками, как это имеет место у линейных корректирующих устройств. На этом основании нелинейные корректирующие устройства данного класса можно рассматривать как псевдолинейные [10]. Возможность формирования амплитудной и фазовой характеристик псевдолинейных корректирующих устройств независимо друг от друга открывает широкие возможности изменения частотных характеристик САУ в желаемом направлении. Также эта особенность используется при построении схем псевдолинейных корректирующих устройств (ПКУ).

ПКУ могут быть реализованы в виде двухканальных, 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 каналов.

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

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

Рассмотрим каждое из устройств подробнее.

1.3.1 Корректирующие устройства с амплитудным подавлением

ПКУ с амплитудным подавлением представляет собой комбинацию последовательно соединенных блоков низкочастотного фильтра, арифметических блоков умножения, модуля, взятие функции $\text{sign } x$ (рисунок 3).

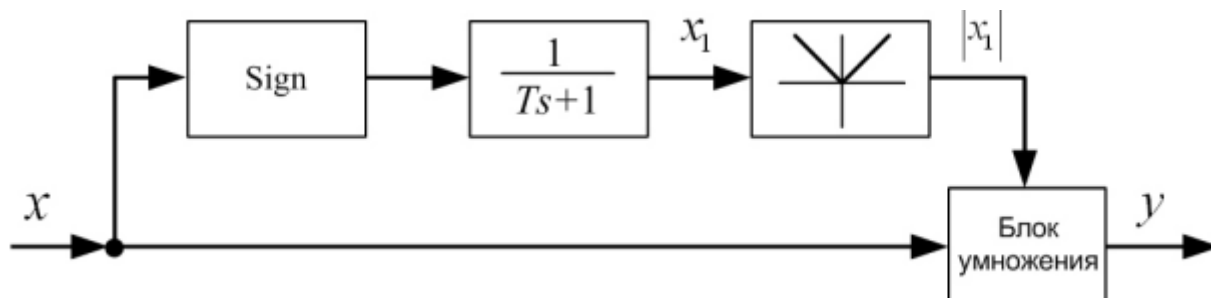


Рисунок 3 – Структурная схема ПКУ с амплитудным подавлением

Данное устройство имеет два канала и работает следующим образом. Входной сигнал поступает одновременно в оба канала. Верхний канал состоит из блока сигнатуры, фильтра низких частот и блока выделения модуля сигнала. По нижнему каналу сигнал проходит без изменения.

Сигнал на выходе из КУ получается в результате умножения выходных сигналов из обоих каналов:

$$y = |x_1| \cdot x . \quad (1)$$

Работа данного 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.

Известно, что в первом приближении результирующий эффект данного КУ аналогичен апериодическому звену первого порядка с

неизменным коэффициентом передачи, который равен единице, но отличается от него значительно меньшим фазовым запаздыванием [11].

Коэффициенты гармонической линеаризации нелинейного фильтра в данном случае:

$$a = \frac{2}{\pi A} \int_0^\pi [|x_1| A \sin(\omega t)] \sin(\omega t) d(\omega t), \quad (2)$$

$$b = \frac{2}{\pi A} \int_0^\pi [|x_1| A \sin(\omega t)] \cos(\omega t) d(\omega t). \quad (3)$$

Тогда амплитудно-фазовая характеристика данного КУ имеет вид:

$$W(j\omega) = \frac{8}{\pi^2 \sqrt{1+\omega^2 T^2}} \left(1 + \frac{1}{3} e^{-2j \cdot \arctg \omega T} \right). \quad (4)$$

1.3.2 Корректирующее устройство с фазовым опережением

На рисунке 4 представлена схема псевдолинейного корректирующего устройства, с помощью которого возможно получить фазовое опережение без какого-либо изменения амплитуды.

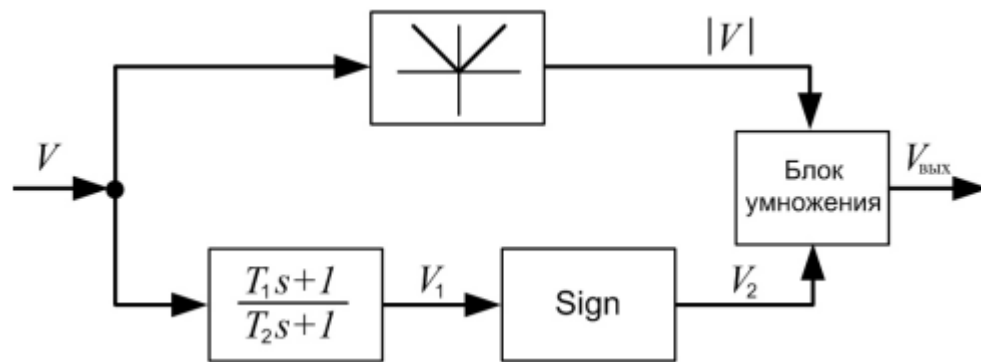


Рисунок 4 – Структурная схема КУ с фазовым опережением

Данное устройство имеет два канала и работает следующим образом. Входной сигнал поступает одновременно в оба канала. Верхний канал состоит из блока усиления сигнала и блока выделения модуля сигнала. Нижний канал состоит из интегро-дифференцирующего звена и блока сигнатуры. Выходной сигнал устройства получается в результате перемножения выходных сигналов этих каналов.

Коэффициенты гармонической линеаризации фазового корректора имеют следующий вид [10]:

$$a = \frac{1}{\pi} \cdot (1 - 2 \arctg \frac{\omega(T_1 - T_2)}{1 + \omega^2 T_1 T_2} + \sin(2 \arctg \frac{\omega(T_1 - T_2)}{1 + \omega^2 T_1 T_2})), \quad (5)$$

$$b = \frac{1}{\pi} \cdot (1 + \cos(2 \arctg \frac{\omega(T_1 - T_2)}{1 + \omega^2 T_1 T_2})). \quad (6)$$

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

$$W_{\phi}(s) = \frac{T_1 s + 1}{T s + 1}. \quad (7)$$

Фазовое опережение, которое создается данным звеном, имеет вид:

$$\varphi(\omega) = \arctan(\frac{T_1 * \omega * (1 - \nu)}{1 + \omega^2 * T^2 * \nu}), \quad (8)$$

$$\text{где } \nu = \frac{T_1}{T}.$$

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.

1.3.3. Корректирующие устройства с отдельными каналами для амплитуды и фазы

Данное корректирующее устройство позволяет получать различные амплитудно-фазовые соотношения, т.е. относительно независимо формировать амплитудную и фазовую характеристики. Эти характеристики не зависят от амплитуды входного сигнала. Соответствующим образом меняя параметры линейных фильтров, входящих в устройство, можно получать желаемые характеристики.

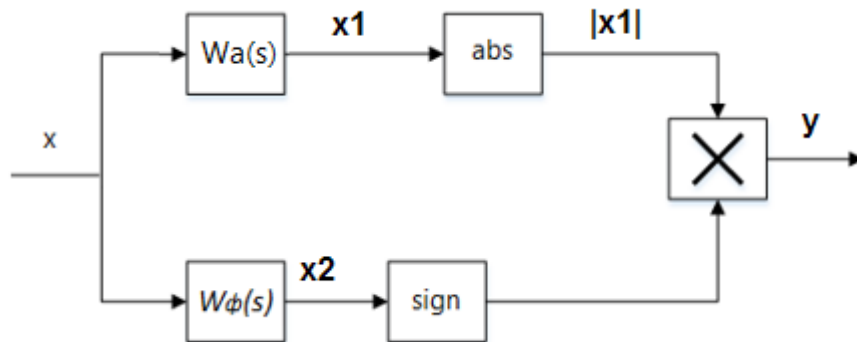


Рисунок 5 – Структурная схема Двухканального псевдолинейного корректирующего устройства

Входной сигнал разветвляется и проходит по двум каналам. Верхний канал служит для формирования амплитудной характеристики и называется амплитудным, нижний - фазовый канал, он участвует в формировании фазовой характеристики устройства. Выходная величина корректирующего устройства получается в результате перемножения выходных величин амплитудного и фазового каналов в блоке умножения.

1.3.4 Корректирующие устройства с запоминанием экстремума.

На рисунке 6 изображена структурная схема запоминающего устройства с запоминанием экстремума.

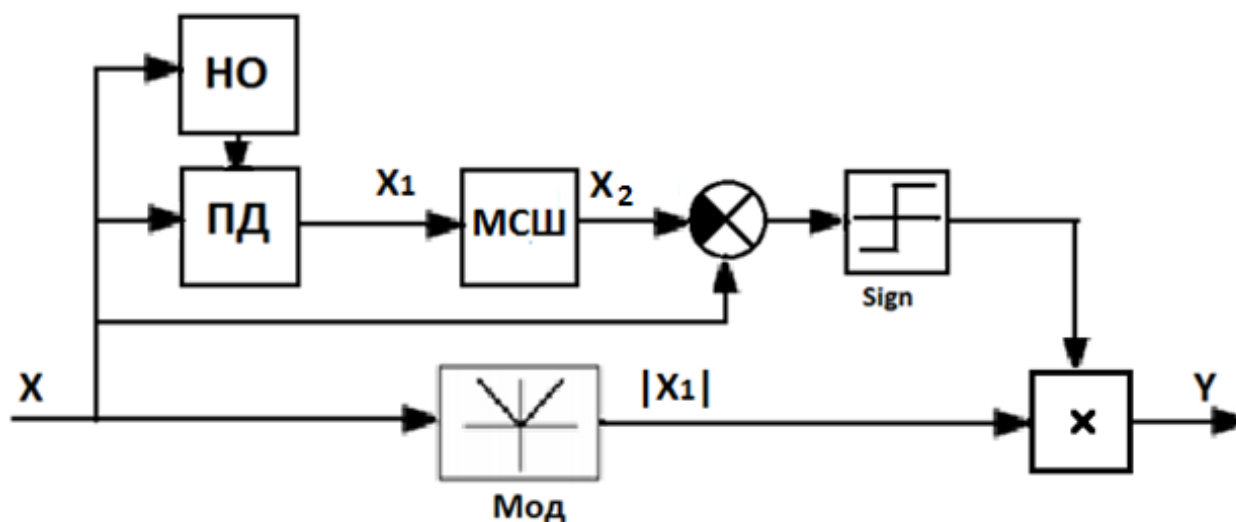


Рисунок 6 – Структурная схема КУ с запоминанием экстремума

Корректирующее устройство состоит из блоков:

ПД- пиковый детектор – предназначен для запоминания экстремума входного сигнала;

НО- нуль орган - сброс ПД, при переходе вх. Сигнала через 0;

МСШ - блок масштабирования (усилитель сигнала);

Sign - блок определения знака сигнала;

Мод – блок определения модуля.

$X_2 = X_1 * m$, где m – коэффициент блока МСШ.

Передаточная функция КУ:

$$W_{КУ} = M e^{j\varphi}, \quad (9)$$

Амплитудно-частотная характеристика КУ:

$$A = \sqrt{[g(m)]^2 + [g'(m)]^2}. \quad (10)$$

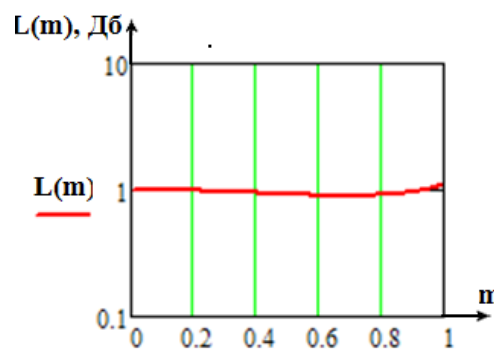


Рисунок 7 – Амплитудно-частотная характеристика корректирующего устройства с запоминанием экстремума

Фазово-частотная характеристика КУ:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{g'(m)}{g(m)}. \quad (11)$$

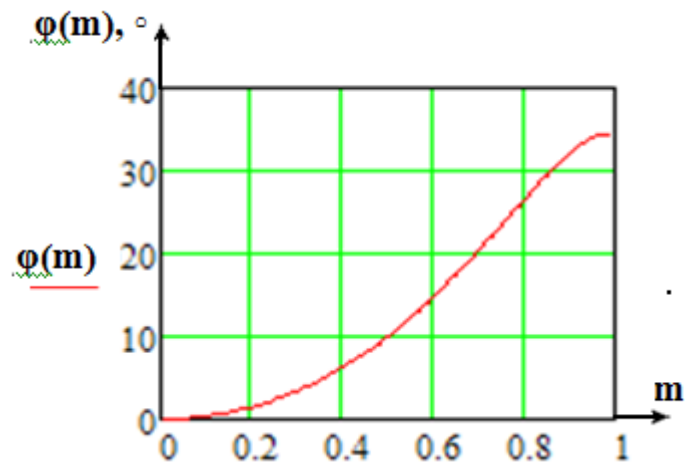


Рисунок 8 –Фазово-частотная характеристика корректирующего устройства с запоминанием экстремума

Где $g(m)$ и $g'(m)$, действительная и мнимая части уравнения.

$$g(m) = 1 - \frac{2}{\pi} \arcsin(m) * \frac{2m\sqrt{1-m^2}}{\pi}, \quad (12)$$

$$g'(m) = \frac{2m^2}{\pi}. \quad (13)$$

2. Настройка ПИД-регулятора.

Классический ПИД-регулятор характеризуется следующим уравнением:

$$u(t) = P + I + D = K_p e(t) + T_i \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (14)$$

где P – пропорциональная составляющая, I – интегральная составляющая, D – дифференциальная составляющая.

На данный момент не существует единого метода настройки ПИД-регуляторов. Есть несколько распространенных способов настройки, но не все они могут применяться в некоторых условиях, поэтому нужно внимательно подходить к процессу определения коэффициентов ПИД-регулятора. Ниже рассмотрим наиболее часто используемые методы.

2.1 Метод Зиглера-Никольса

Зиглер и Никольс предложили 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

	Расчет по отклику на скачок			Расчет по частотным параметрам		
Регулятор	K	T_i	T_d	K	T_i	T_d
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.

Второй метод 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 Циглера - Никольса абсолютно одинаковы [6].

2.2 Ручной метод настройки, основанный на знании правил

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 правила справедливы только в окрестности оптимальной настройки регулятора.

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 анализа и опыта.

Они имеют следующие заключения [13,14]:

- 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.

2.3 Корневой метод

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 [15].

2.4 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 составляющую, 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:

$$T_i = \frac{T_k}{6}, T_d = \frac{T_k}{1.5}. \quad (15)$$

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% [16].

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 [17].

В данной работе использовался метод Циглера-Никольса, таким образом были получены приблизительные настройки регулятора, затем использовали 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 вывести систему

на критический уровень работы и провести оптимальную настройку ПИД-регулятора.

3 Оценка качества регулирования

Выбор критерия качества регулирования зависит от цели, для которой используется регулятор. Целью может быть:

- поддержание постоянного значения параметра (например, температуры);
- слежение за изменением уставки или программного управления .

Прямые оценки качества определяются непосредственно по переходной характеристике по каналу управления или возмущения [26].

К основным прямым оценкам относятся следующие:

- перерегулирование (σ);
- время регулирования (t_p);
- статическая ошибка E ;
- декремент затухания ε ;
- число колебаний (n), которое имеет переходная характеристика за время регулирования t_p ;
- время нарастания переходного процесса (t_H);
- время достижения первого максимума ($t_{\max}$).

В качестве критерия, по которому в дальнейшем будет оцениваться качество САУ, выберем абсолютное значение сигнала ошибки и скорость изменение ошибки. Этот выбор можно обосновать простотой реализации как при моделировании нечеткой адаптивной системы среде Matlab Simulink, так и на промышленных контроллерах.

4. Система автоматического управления с нечетким корректирующим устройством

4.1 Основы нечеткой логики

Основными понятиями теории нечеткой логики являются понятие нечеткого множества, лингвистическая переменная, функция принадлежности и правило нечеткой логики.

- Нечеткое множество и функция принадлежности.

Математически нечеткое множество определяется как множество упорядоченных пар вида $\langle x, \mu^T(x) \rangle$, где x является элементом универсума X $x \in X$, а функция $\mu^T(x)$ определяет степень принадлежности элемента x (лингвистической переменной) к нечеткому множеству (терму) T в форме численного значения в диапазоне $0 \div 1$ [20].

- Лингвистические переменные и фаззификация.

Лингвистической называется переменная, значениями которой являются не числа, а слова в естественном или формальном языке. Процедура преобразования значений базовой переменной в лингвистическую переменную, характеризующуюся функцией принадлежности, называется фаззификацией.

- Правило нечеткой логики.

Под правилом нечеткой логики понимается конструкция, в которой предпосылки и заключения подразумевают использование лингвистических переменных, и характеризует связь входа системы с выходом. Общая форма представления правил нечеткой логики такова: если A_1 и/или A_2 и/или... и/или A_m то B_1 и/или B_2 и/или... и/или B_n .

- Операции над нечеткими множествами: Наиболее распространенными операциями являются отношения вложения, дополнительного нечеткого множества (дополнения), пересечения и объединения нечетких множеств.

$$\begin{aligned}
A \subset B &\rightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad \forall x \in X, \\
\mu_{\bar{A}}(x) &= 1 - \mu_A(x) \quad \forall x \in X, \\
\mu_{A \cap B}(x) &= \mu_A(x) \cap \mu_B(x) \quad \forall x \in X, \\
\mu_{A \cup B}(x) &= \mu_A(x) \cup \mu_B(x) \quad \forall x \in X.
\end{aligned}$$

Операция пересечения может быть вычислена по одной из следующих формул:

- по правилу Min: $\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min}\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$;
- по правилу Lukasiewicz: $\mu_{A \cap B}(x) = \text{Max}\{0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1\}$;
- по правилу Prod: $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \mu_B(x)$.

Операция объединения может быть вычислена по одной из следующих формул:

- по правилу Max: $\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max}\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$;
- по правилу Sum: $\mu_{A \cup B}(x) = \text{Min}\{1, \mu_A(x) + \mu_B(x)\}$;
- непосредственное суммирование:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \mu_B(x).$$

- Дефаззификация.

Под дефаззификацией понимается процесс преобразования нечеткого набора значений выводимых лингвистических переменных к точным.

4.2 Структура САУ с нечетким КУ

В настоящей работе будет исследована система автоматического регулирования с псевдолинейным корректирующим устройством.

Структурная схема системы с псевдолинейным нечетким регулятором приведена в приложении А.

Псевдолинейный нечеткий регулятор включает в свой состав нечеткое ПКУ, последовательно соединенное с классическим ПИД-регулятором. Подстройка параметров ПКУ осуществляется по модулю ошибки и скорости изменения ошибки.

На вход регулятора поступает необходимое для решения конкретной задачи число входных сигналов. В нечетком регуляторе происходит

процедура фазификации, т.е. исходя из текущего значения четкого сигнала, на основании известных функций принадлежности каждому сигналу четкого вектора присваивается определенное входное значение. Программа нечеткого логического вывода (FIS-структура) на основании нечеткой базы знаний ставит в соответствие каждому входному вектору значений выходной нечеткий вектор, являющийся результатом нечеткого логического вывода. Значениям лингвистических переменных, составляющих выходной вектор, на основании функций принадлежности ставятся в соответствие определенные четкие значения, образующие выходной четкий вектор, т. е. происходит процедура дефазификации [19].

В данной работе используются ПКУ с запоминанием экстремума.

5 Разработка и исследование в среде MATLAB свойств систем управления с корректирующим устройством

5.1 Исследование свойств системы автоматического регулирования с псевдолинейным корректирующим устройством с запоминанием экстремума

Данное КУ будет изменять свои свойства при изменении коэффициента масштабируемости. Найдем область допустимых значений для данного коэффициента. Исследуем воздействия КУ на гармонический сигнал.

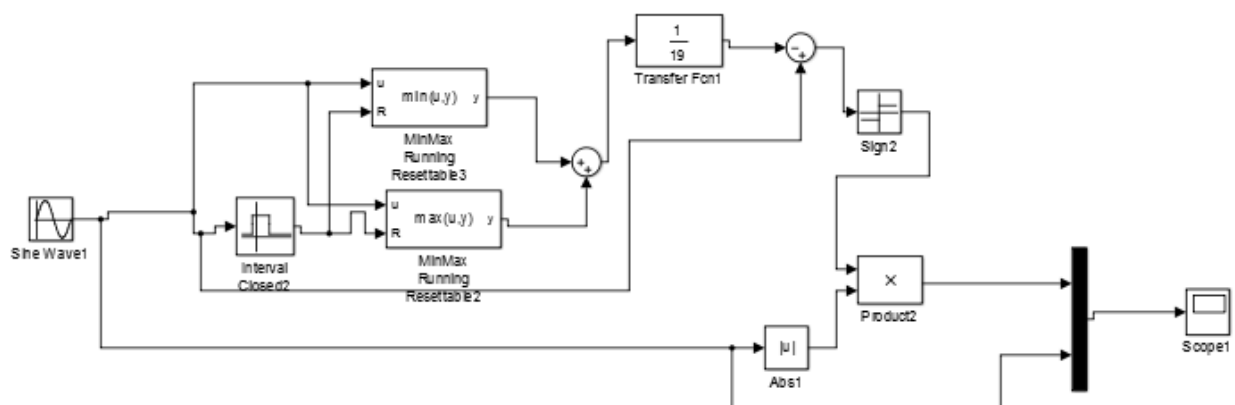


Рисунок 9 – Схема нечеткого КУ в ПП Matlab

На рисунках 10,11,12,13 приведены графики воздействия КУ на гармонический сигнал при различных коэффициентах КУ, где $K_{\text{КУ}} = \frac{1}{m}$.

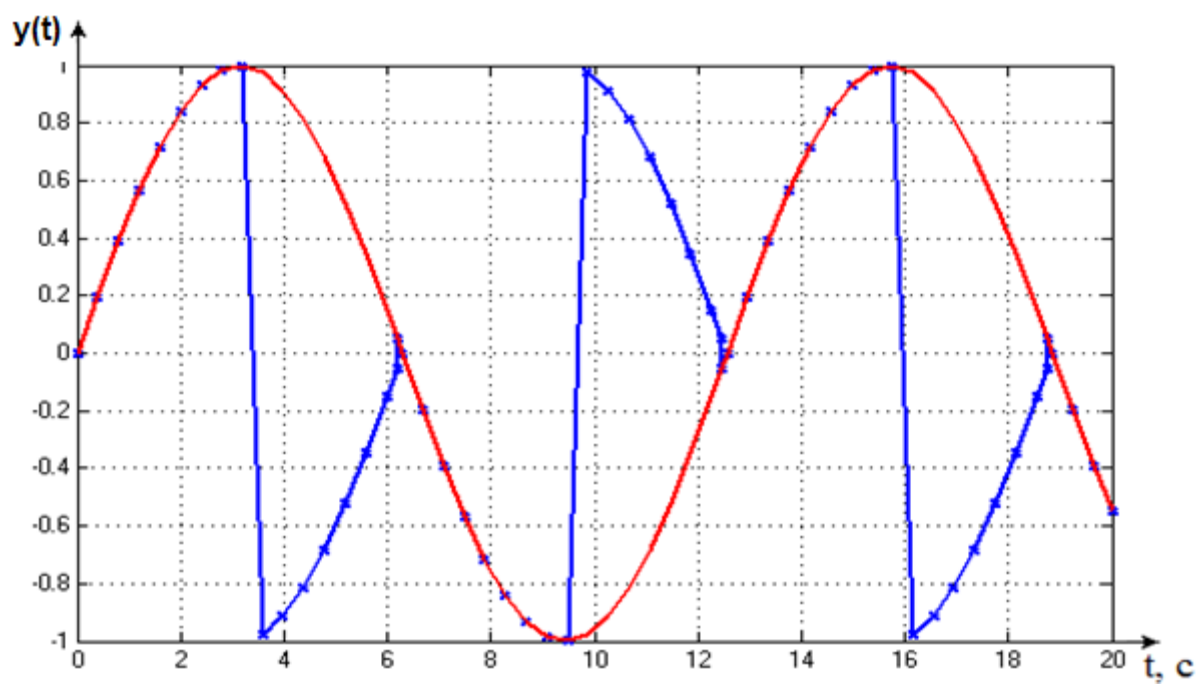


Рисунок 10 – Вид сигнала на выходе КУ, при $K=1,01$

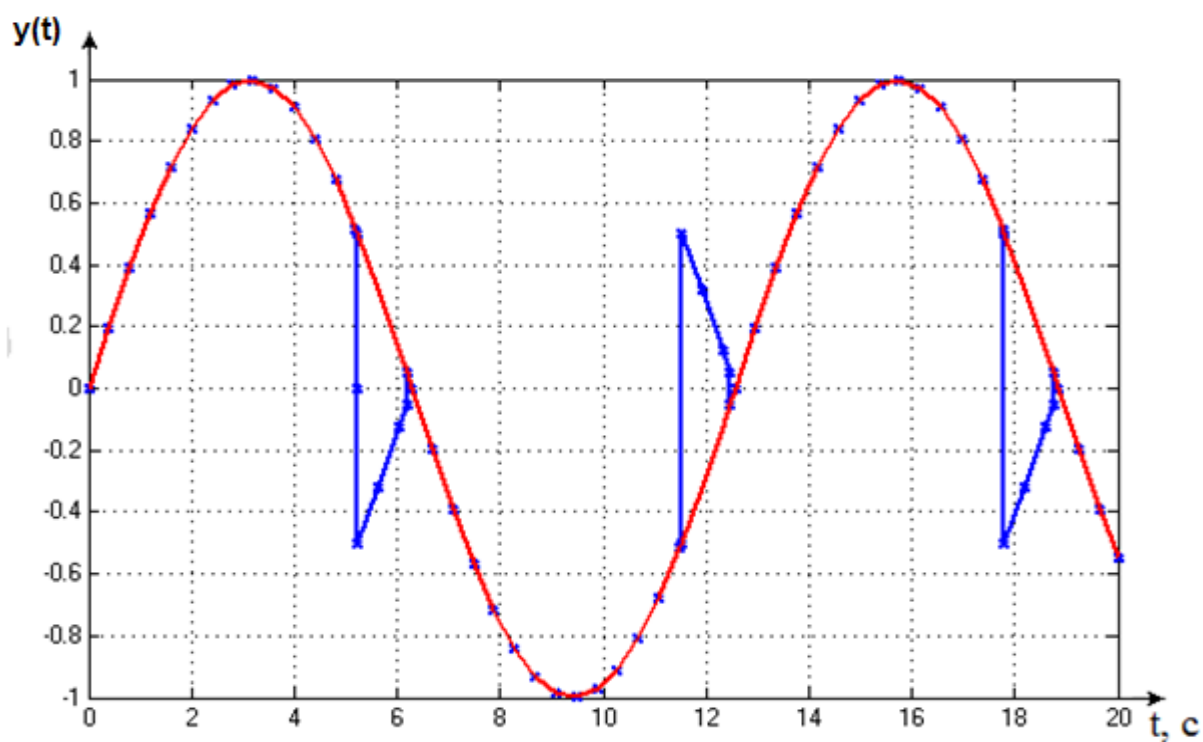


Рисунок 11 – Вид сигнала на выходе КУ, при $K=2$

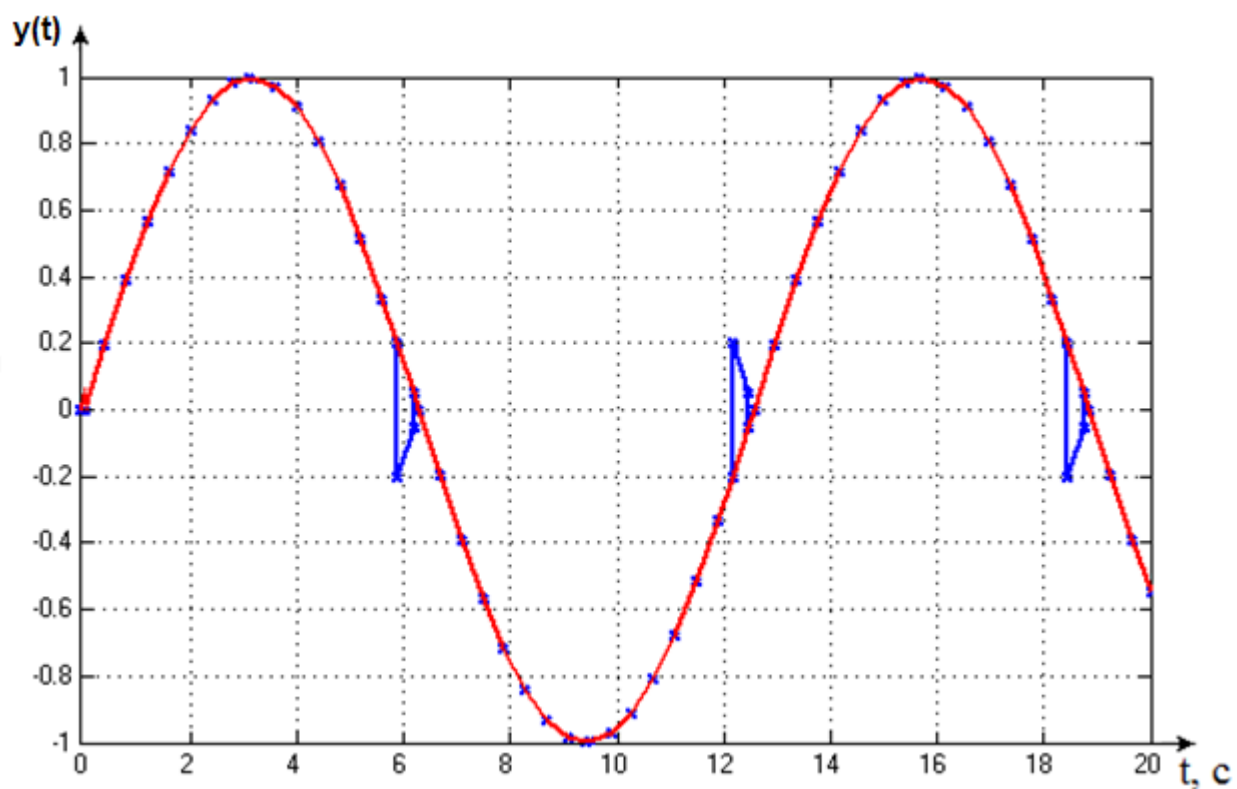


Рисунок 12 – Вид сигнала на выходе КУ, при $K=5$

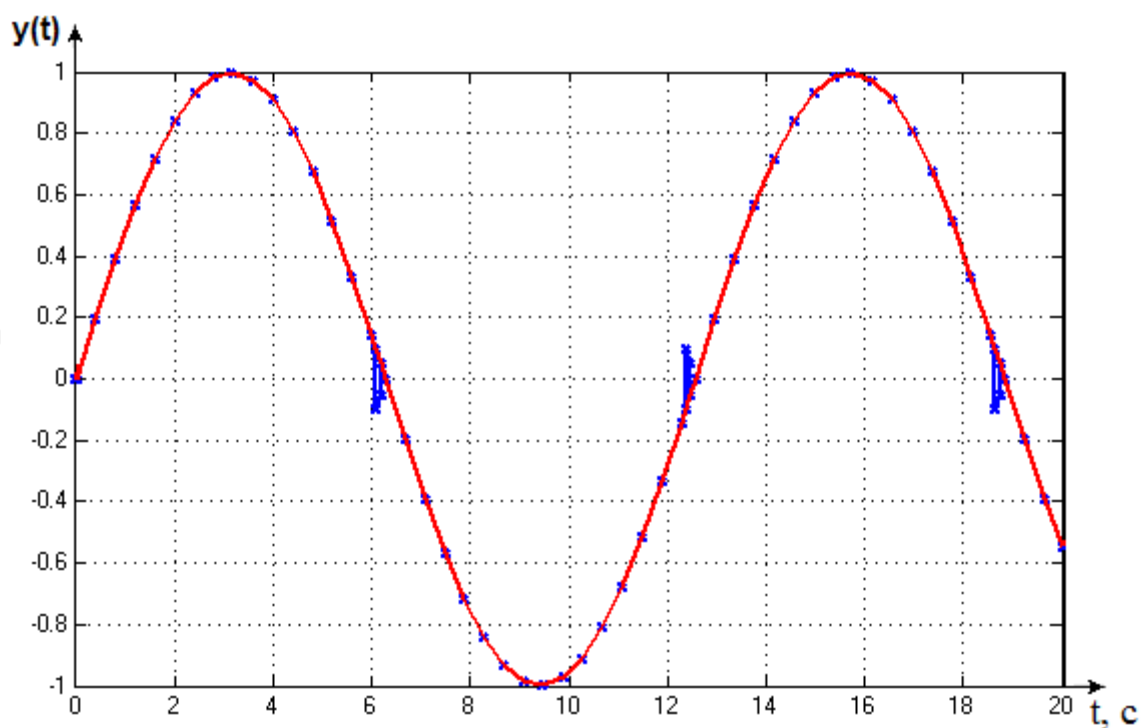


Рисунок 13 – Вид сигнала на выходе КУ, при $K=10$

Вывод: Область допустимых значений коэффициента КУ, лежит в промежутке от 1,01 до 10. Наилучшие показатели КУ, лежат в промежутке $K_{ку}=[1,01;2]$.

5.2 Система автоматического регулирования псевдолинейного корректирующего устройства с запоминанием экстремума

Схема моделирования САР с применением нечеткого псевдолинейного корректирующего устройства с запоминанием экстремума и нечеткой логики приведена на рисунке 14.

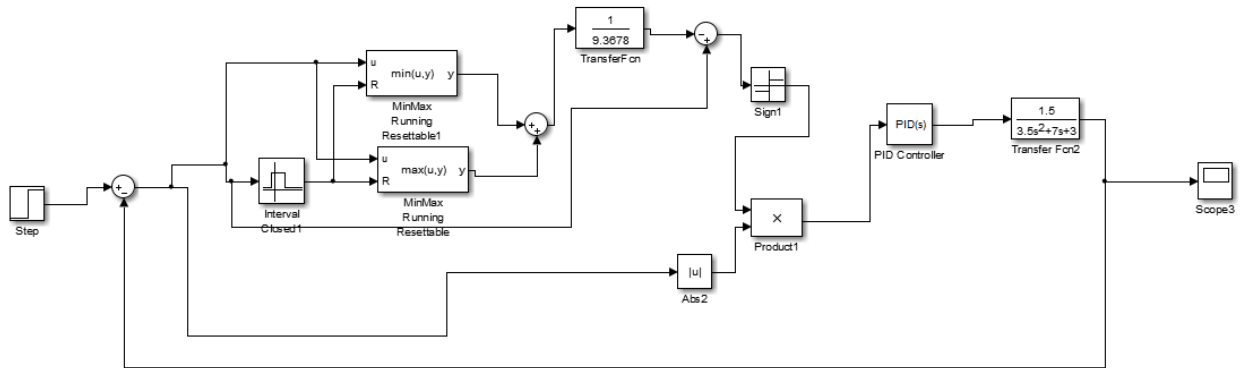


Рисунок 14 – Схема моделирования САР с псевдолинейным нечетким КУ

На рисунках 15,16 приведены графики переходных процессов при различных коэффициентах КУ. Передаточная функция объекта

управления: $W_{0y1}(s) = \frac{8}{8s^2+4s+3}$ – апериодическое звено второго порядка.

$W_{0y2}(s) = \frac{8}{4s+3}$ – апериодическое звено первого порядка.

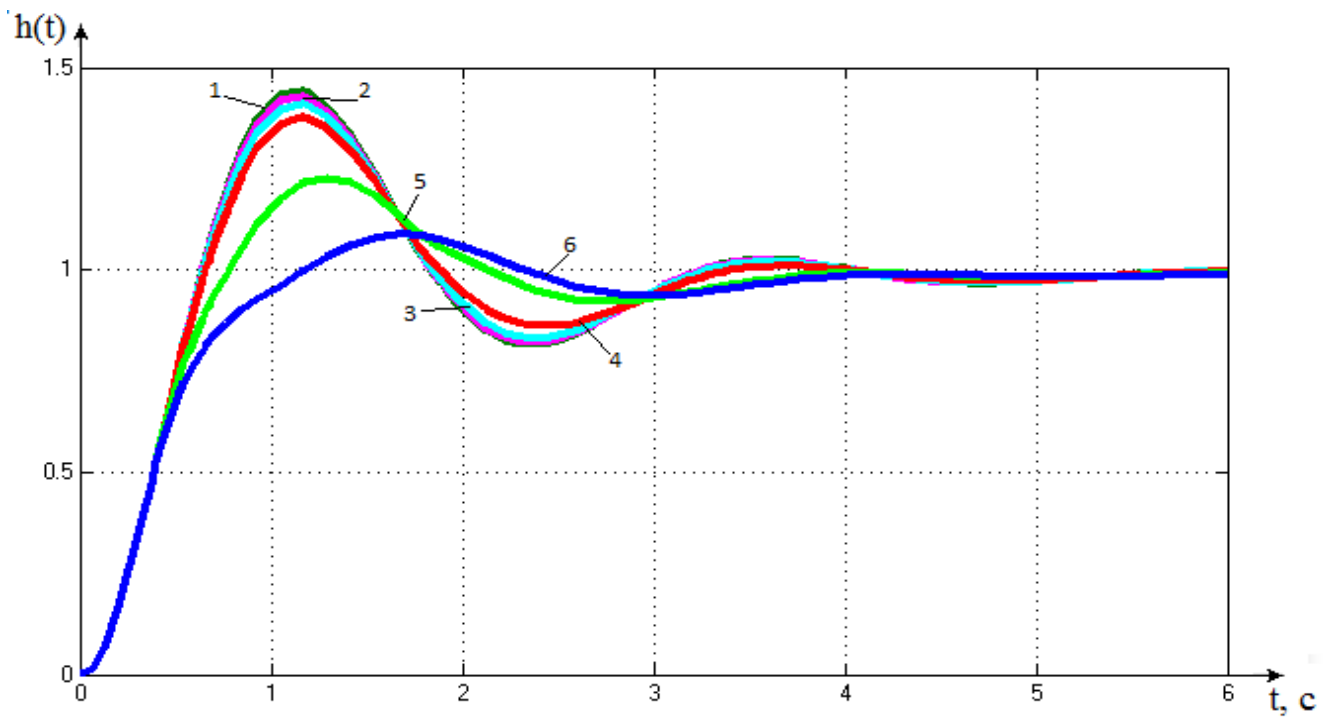


Рисунок 15 –Переходные процессы системы автоматического регулирования с псевдолинейным корректирующим устройством при различных коэффициентах (при $K = 8$; $T_1^2 = 8$; $T_2 = 4$; $T_3 = 3$)

Обозначение графиков: 1- ПП САР без КУ; 2- ПП САР с КУ при $K_{КУ} = 8$; 3- ПП САР с КУ при $K_{КУ} = 6$; 4- ПП САР с КУ при $K_{КУ} = 4$; 5- ПП САР с КУ при $K_{КУ} = 2.3$; 6- ПП САР с КУ при $K_{КУ} = 1.9$.

При $K_{КУ} = 1.9$ система выходит на критическое состояния с лучшими показателями регулирования.

По графику видно, что уменьшения $K_{КУ}$, приводит к уменьшению перерегулирования.

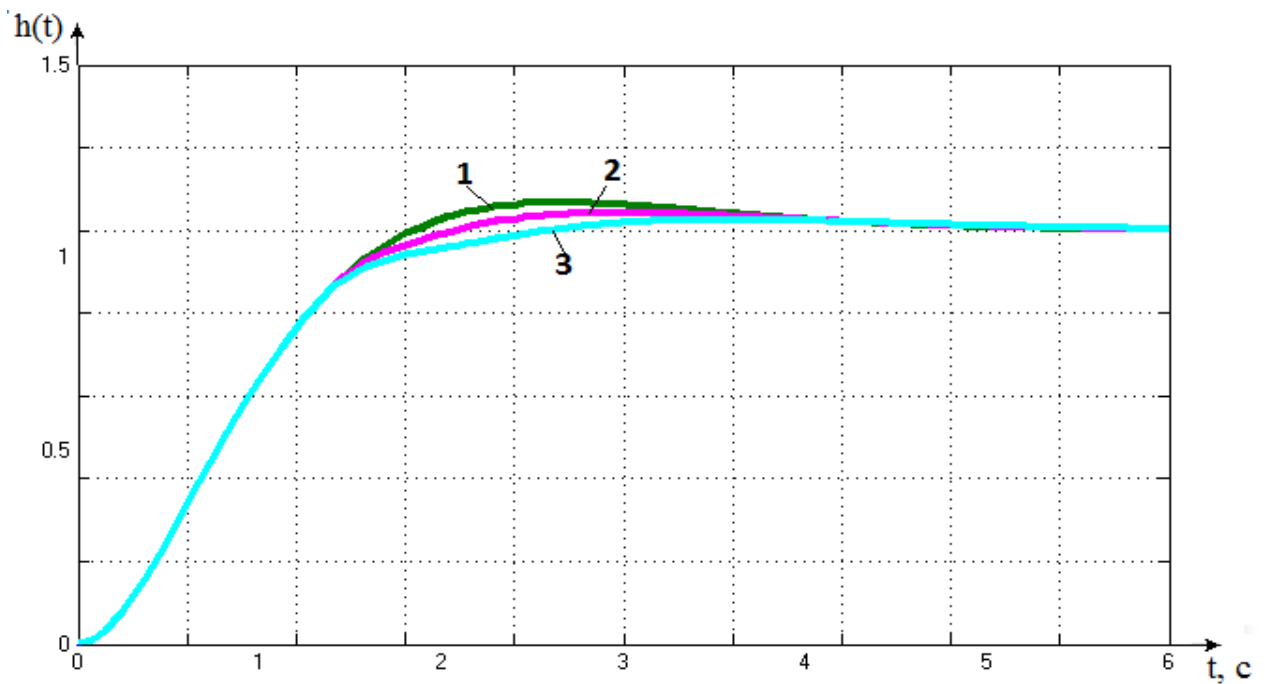


Рисунок 16 –Переходные процессы САР с псевдолинейным корректирующим устройством при различных коэффициентах КУ (при $K_{0y} = 8; T_1 = 4; T_2 = 3$)

Обозначение графиков: 1- ПП САР без КУ; 2- ПП САР с КУ при $K_{ку} = 8$; 3- ПП САР с КУ при $K_{ку} = 6$.

Вывод: По графикам видно, что уменьшения $K_{ку}$, приводит к уменьшению перерегулирования и улучшению качества переходного процесса у объектов первого и второго порядка.

5.3 Сравнение корректирующего устройства с запоминанием экстремума и корректирующего устройства с фазовым опережением.

На рисунке 17 представлены графики переходных процессов САР без КУ, САР с КУ с фазовым опережением (описание данного корректирующего устройства представлено в теоритической части) , САР с КУ с запоминанием экстремума, с ОУ представленных в предыдущей части.

$$W_{0y1} = \frac{8}{8S^2 + 4S + 3}.$$

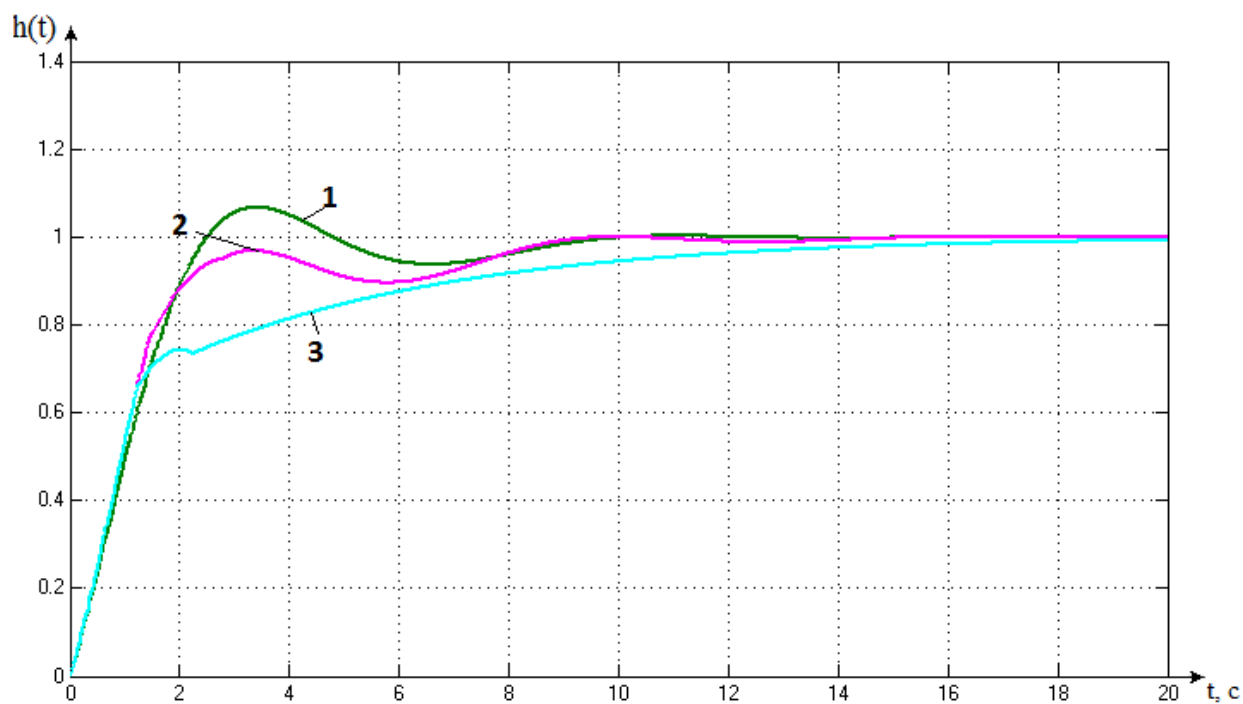


Рисунок 17. Переходные процессы САР (при $K = 8$; $T_1^2 = 8$; $T_2 = 4$; $T_3 = 3$) с разными корректирующими устройствами

Обозначение графиков: 1 - сигнал системы без корректирующего устройства 2- Коррекция с помощью КУ с запоминанием экстремума $K_{зэку} = 4,2$; 3 - Коррекция с помощью КУ с фазовым опережением $T_{фоку} = 5c$.

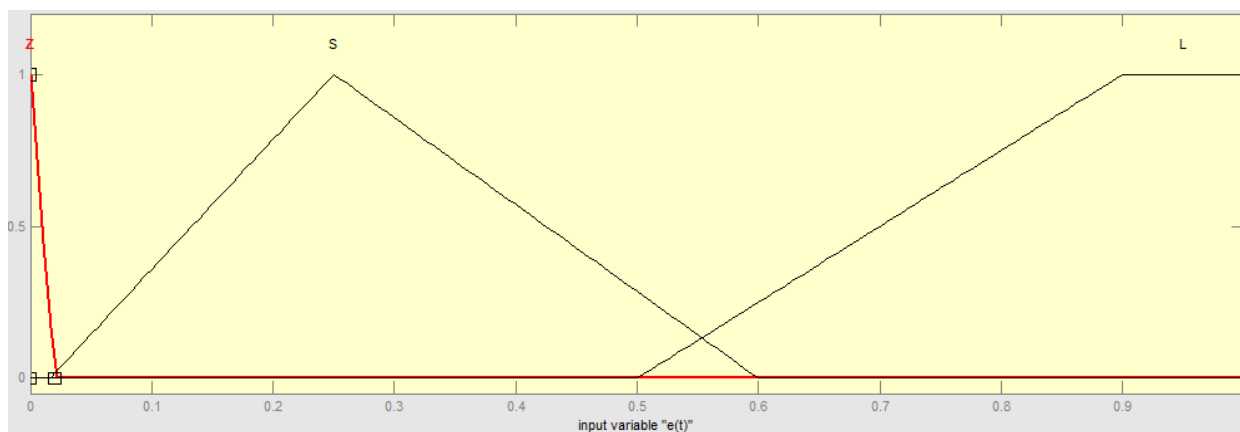


Рисунок 19 – Области входных значений модуля ошибки регулирования «E»

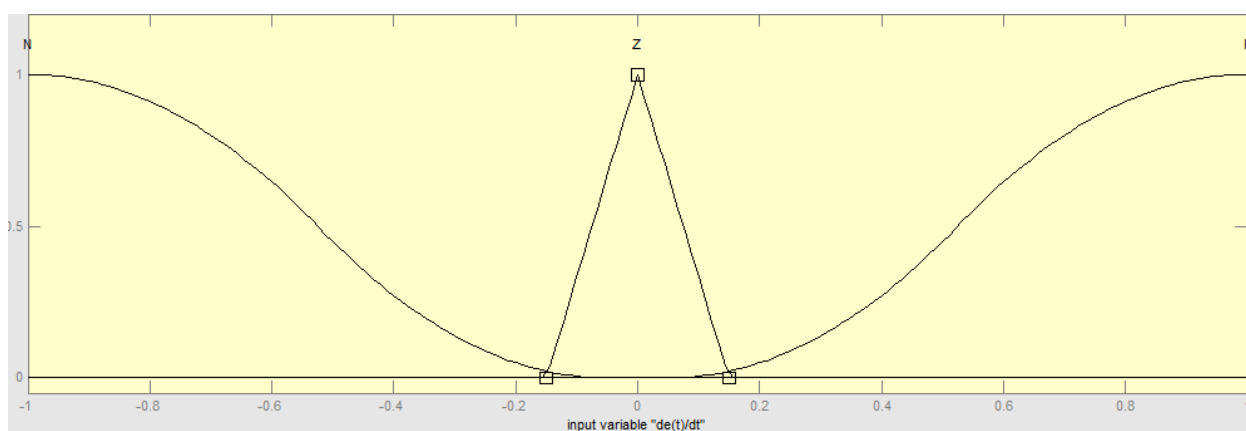


Рисунок 20 – Области входных значений скорость изменения ошибки регулирования «V»

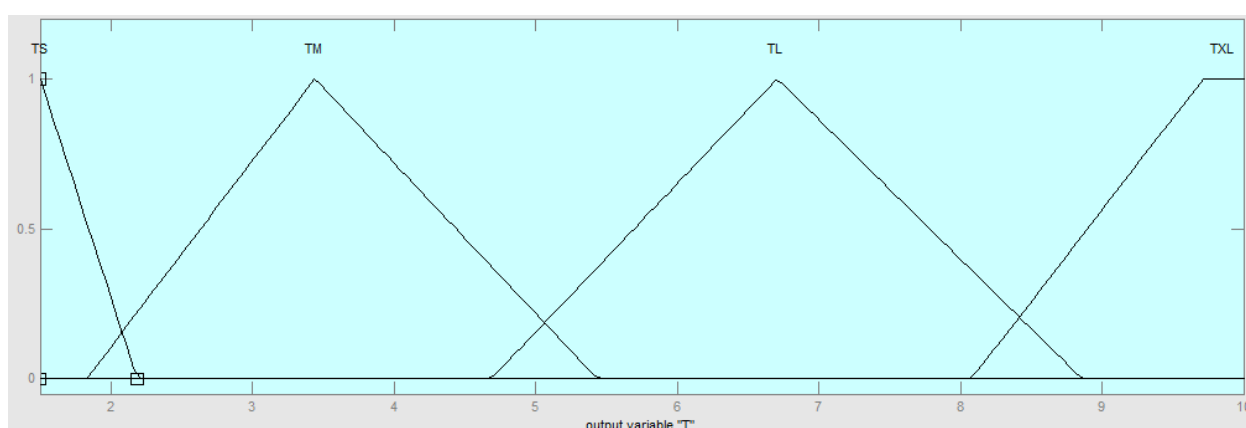


Рисунок 21 – Области выходных значений «Т»

Нечеткий вывод осуществляется на основе базы правил, которые представлены на рисунке 22.

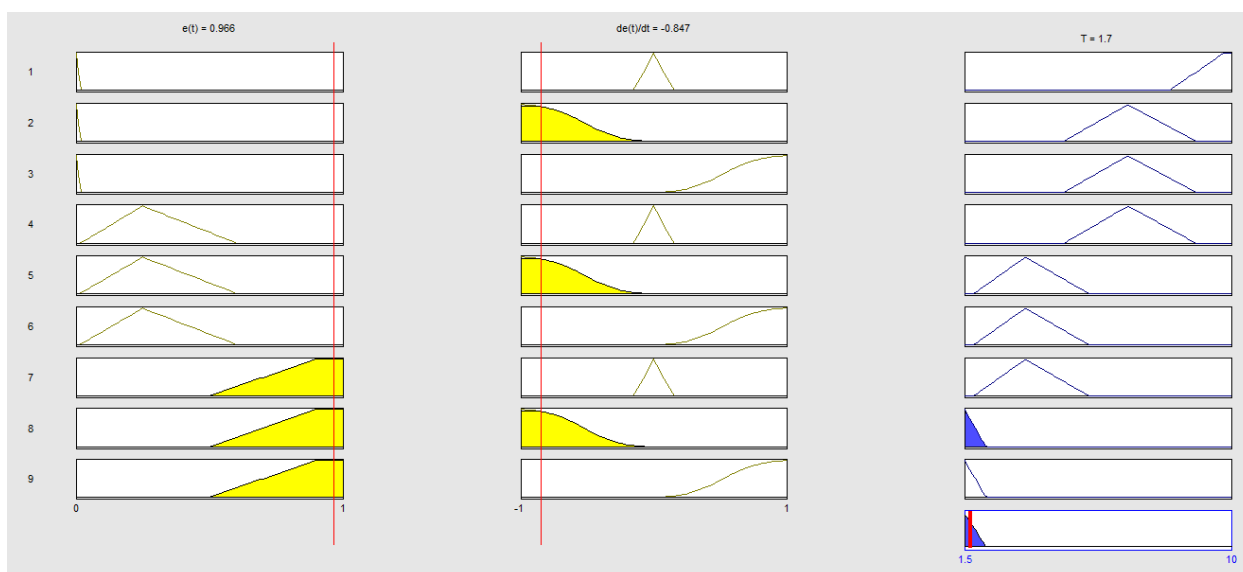


Рисунок 22 - База правил для блока нечеткой логики

В данной схеме для автоматической подстройки коэффициента в блоке масштабируемости КУ, используется S-Function, которая работает по написанному специальным образом М-файлу. Листинг файла приведен в приложении Б.

5.5 Сравнение нечеткого корректирующего устройства и корректирующего устройства со статическим коэффициентом

На графиках 13, 14, изображены переходные процессы САР с ПКУ с запоминанием экстремума с нечеткой логикой и САР с ПКУ с запоминанием экстремума со статическим коэффициентом КУ.

$$W_{0y1}(s) = \frac{1,5}{8s^2 + 7s + 3}.$$

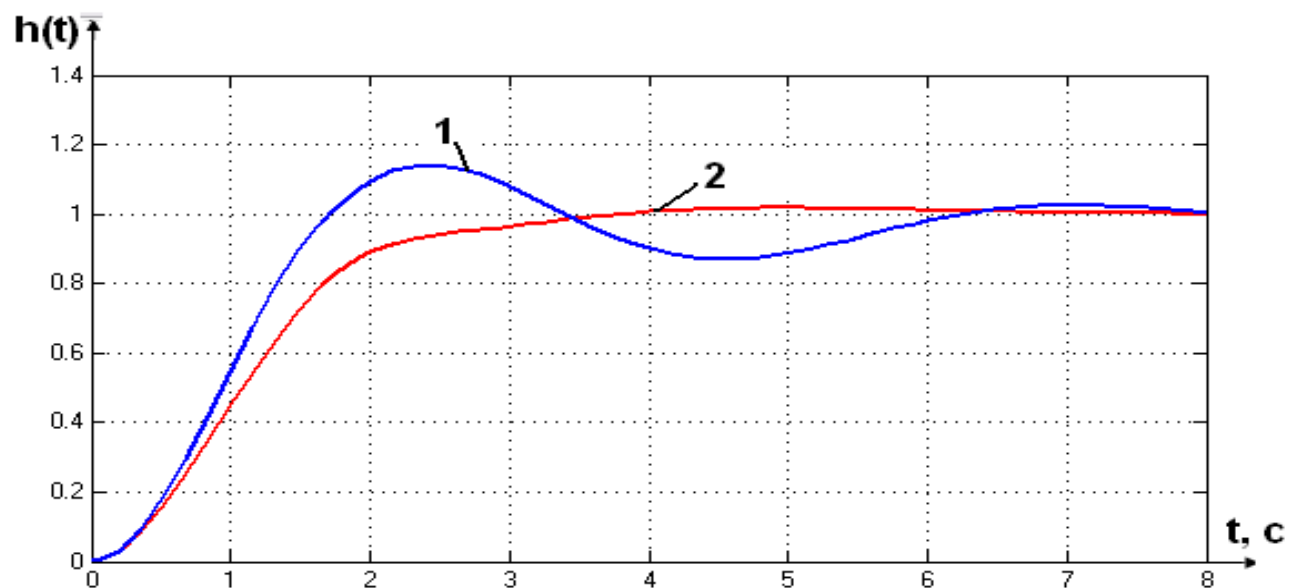


Рисунок 23- Графики переходных процессов САР с КУ с нечеткой логикой и со статическим коэффициентом ($K_{ку}=5$). (при $K = 8$; $T_1^2 = 8$; $T_2 = 4$; $T_3 = 3$)

Вывод: По графикам видно, что КУ с нечеткой логикой дает лучшие показатели регулирования, чем КУ со статическим коэффициентом.

6 Программная реализация регуляторов в среде Isagraf для промышленного контроллера КРОСС

6.1. Назначение, состав и технические характеристики контроллера КРОСС

6.1.1 Назначение и область применения контроллера

Контроллер КРОСС используется для общепромышленного применения в различных отраслях промышленности – энергетической, пищевой, металлургической, стекольной, цементной и т.д. Контроллер также может использоваться как автономное средство для управления объектами малой и средней сложности.

В составе АСУ ТП контроллер может использоваться для обслуживания взрывопожароопасных объектов, в том числе химических, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. При этом контроллер устанавливается во взрывобезопасном помещении.[34]

6.1.2 Основные возможности контроллера

Программное обеспечение контроллера позволяет пользователю:

- выполнять широкий круг алгоритмических задач: статических и динамических преобразований, регулирования, вычисление алгебраических и тригонометрических функций, защиты, учета, программно-логического управления, регистрации и архивации данных и т.п.;
- обеспечить возможность контроля, тестирования и управления каналов ввода-вывода в автономном режиме и с помощью компьютера, при этом обеспечивается возможность переноса, тиражирования программ;
- достичь снижения затрат на разработку и отладку программ пользователя за счет простоты и удобства программирования, их переноса и документирования, независимости от способов построения и работы устройств ввода-вывода.

Поддержка промышленных сетей и возможность обмена данными в реальном масштабе времени, использование процедурных, технологических

языков программирования (системы ISaGRAF) и операционной системы реального времени OS-9 позволяют:

- сопрягать контроллер с различными SCADA-системами через стандартные средства межзадачного обмена;
- использовать общую технологию программирования контроллеров различных фирм и переносить технологические программы пользователя;
- подключать контроллер к глобальной информационной сети Internet, с помощью встроенного Web-сервера.

В контроллере применена интеллектуальная подсистема ввода-вывода.

Все модули устройств связи с объектом (УСО) контроллера имеют встроенный бортовой микропроцессор, выполняющий асинхронно и независимо по отношению к центральному процессору различные функции по диагностике оборудования и обработке сигналов. Такой подход позволяет:

- повысить надежность контроллера за счет непрерывной самодиагностики и сокращения объема аппаратуры модулей;
- повысить живучесть контроллера за счет автономного выполнения различных функций и децентрализации;
- уменьшить время цикла и увеличить производительности контроллера за счет сокращения нагрузки на центральный процессор по объему вычислений и интенсивности обменов данными с модулями УСО;
- расширить номенклатуру модулей (модули микроконтроллера, модули ввода-вывода, модули контроля и управления исполнительными органами);
- обеспечить простоту и переносимость технологических программ, снижение затрат на их разработку и отладку за счет их независимости от способов построения и работы датчиков, исполнительных органов, аппаратуры ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов;

- предусмотреть возможность контроля, управления и тестирования модуля в автономном режиме с помощью компьютера через последовательный порт модуля с интерфейсом RS-232 или с помощью переносного пульта настройки;[34]

6.1.3 Модули контроллера

Модули ввода-вывода осуществляют автономное, без участия центрального процессора, управление в циклическом режиме процедурами аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования, ввода-вывода, а также предварительную обработку сигналов (линеаризация, фильтрация, заводская и ли автоматическая калибровка), широтно-импульсное модулирование импульсных выходных сигналов, непрерывную диагностику (обрыв, короткое замыкание) входных аналоговых каналов, установку выходов в заданное состояние в аварийных ситуациях. Коэффициенты калибровки аналоговых входов и линеаризационных характеристик наиболее распространенных датчиков заносятся в память модуля в процессе его производства, чем обеспечивается взаимозаменяемость модулей во время их эксплуатации. Тип датчика, требуемые состояния выходов в аварийных ситуациях, коэффициенты фильтрации, и т.п. заносятся в память модуля пользователем при настройке модуля на условия эксплуатации. В контроллере КРОСС имеется возможность подключения модулей ввода-вывода контроллера SMART2 компании PEP Modular Computers.

Модули управления и контроля исполнительными органами осуществляют автономное выполнение всех процедур управления и контроля арматурой по одной команде от центрального процессора «открыть» или «закрыть», в том числе широтно-импульсное модулирование сигналов для исполнительных механизмов постоянной скорости. Программы управления заносятся в модуль при его производстве, а различные коэффициенты (время хода, длительность импульса, нормальные состояния концевых выключателей, требуемое состояние органа в аварийных ситуациях и т.п.)

заносятся в память модуля пользователем при настройке модуля на условия эксплуатации[34]

6.2. Программный пакет Isagraf

6.2.1 Описание программного пакета

Программный пакет Isagraf - инструментальная система, соответствующая стандарту МЭК. Система состоит из двух частей:

- система разработки ISaGRAF Workbench;
- система исполнения ISaGRAF Target.

Система разработки представляет собой набор Windows-приложений, интегрированных в единую инструментальную среду и работающих под ОС Win 95/98/NT.

Ядро ISaGRAF реализует поддержку стандартных языков программирования, типового набора функций и функциональных блоков и драйверов ввода/вывода. Задача связи обеспечивает поддержку процедуры загрузки пользовательского ISaGRAF-приложения со стороны программируемого контроллера, а также доступ к рабочим переменным этого приложения со стороны отладчика системы разработки ISaGRAF. Взаимодействие систем исполнения и разработки осуществляется по протоколу MODBUS, что дает возможность доступа к данным контроллера не только отладчику ISaGRAF, но и любой системе управления данными и визуализации (SCADA). Драйверы устройств сопряжения с объектом организуют прозрачный доступ к аппаратуре ввода/вывода. Функции пользователя реализуют алгоритмы функций и процедуры, не представленные в стандартном варианте поставки системы ISaGRAF. [35]

6.2.2 Языки программирования, реализованные в ISaGRAF

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.

SFC - графический язык последовательных функциональных схем (Sequential Function Chart).

FBD - графический язык функциональных блок-схем (Function Block Diagram).

LD - графический язык диаграмм релейной логики (Ladder Diagram).

ST - язык структурированного текста (Structured Text).

IL - язык инструкций (Instruction List).

FlowChart - графический язык блок-схем.

6.2.3 Основные возможности ISaGRAF

Основные возможности пакета ISaGRAF:

- поддержка всех пяти языков стандарта МЭК 61131-3 плюс реализация языка Flow Chart как средства описания диаграмм состояний. При этом ISaGRAF позволяет смешивать программы и процедуры, написанные на разных языках, а так же вставлять кодовые последовательности из одного языка в коды, написанные на другом языке;

- наличие многофункционального отладчика, позволяющего во время работы прикладной задачи просматривать состояние программного кода, переменных, программ и многое другое;

- поддержка различных протоколов промышленных сетей;

- наличие дополнительных интерактивных редакторов для описания переменных, констант и конфигураций ввода/вывода;

- встроенные средства контроля за внесением изменений в программный код ISaGRAF-приложения и печати отчетов по разработанному проекту с большой степенью детализации, включая печать таблиц перекрестных ссылок для программ и отдельных переменных;

- полное документирование этапов разработки. Помимо общих существуют специфические функции, реализованные на конкретных аппаратно-программных платформах, реализуемые фирмами-поставщиками. Так, например, фирма PER Modular Computers (Германия) реализовала и интегрировала в среду ISaGRAF поддержку ряда промышленных сетей (PROFIBUS, CAN) и пользователь, имея одну систему разработки ISaGRAF, может не только запрограммировать логику работы контроллера, но и задать потоки данных между контроллерами.[35]

6.3 Программа для системы автоматического регулирования с псевдолинейным корректирующим устройством.

Реализация САР с ПКУ сделана на контроллере КРОСС 500, с помощью ПП Isagraf, так как библиотека компонентов данного ПП, очень схожа с ПП Matlab. Используя структурную схему ПКУ с запоминанием экстремума (рис. 6), смоделируем его в ПП Isagraf поблочно.

Нуль-орган – блок сравнения. Ошибка сравнивается с числом ноль и если это истина, то будет подан сигнал на сброс блока Eks.

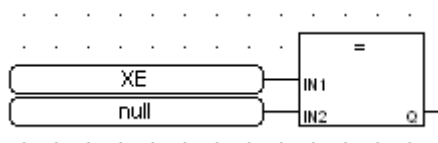


Рисунок 24 - Блок сравнения

Пиковый детектор – блок Экстремум (Eks). Блок применяется для поиска и фиксации максимального и /или минимального значения меняющегося во времени сигнала.

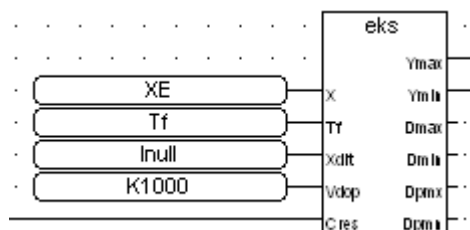


Рисунок 25 – Блок экстремума

Блок масштабирования – Блок суммирования с масштабированием. Данный блок выполняет две функции суммирование сигналов с выхода блока Eks и усиливает полученную сумму на заданный коэффициент m.

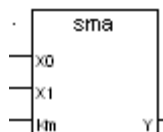


Рисунок 26 - Блок суммирования с масштабированием

Блок определение знака – функция на языке ST. Данная функция полностью реализовывает стандартный блок определения знака.

```

| IF Xs>null THEN
Xs2:=L1;
END_IF;

IF Xs<null THEN
Xs2:=L2;
END_IF;

IF Xs=null THEN
Xs2:=null;
END_IF;

```

Рисунок 27 - Функция, реализующая блок определения знака

Блок абсолютного значения – блок abs. Сигнал выхода данного блока является модуль входного сигнала.

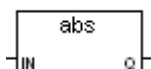


Рисунок 28 - Блок абсолютного значения

Блок умножения – блок масштабирования. Производит умножение двух входных сигналов.

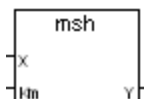


Рисунок 29 - Блок масштабирования

Вся программная реализация показана в приложении В.

6.4 Отладка и проверка работоспособности программ

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

Реализация псевдолинейного нечеткого КУ осуществляется на учебном лабораторном комплексе, расположенном в лаборатории АСУ ТП кафедры автоматики и компьютерных систем ТПУ. Структурная схема комплекса которого приведена в приложении Г. Данный лабораторный комплекс состоит из микропроцессорного контроллера КРОСС, аналогового вычислительного комплекса АВК-6 и персонального компьютера с ОС Windows NT.

6.4.2.Результат проверки работы.

При загрузке программы в контроллер КРОСС, сделанную в ПП Isagraf, описанной выше, и меняя значение задания, можем увидеть на рисунке 30, что характеристика довольно быстро принимает нужное значение.

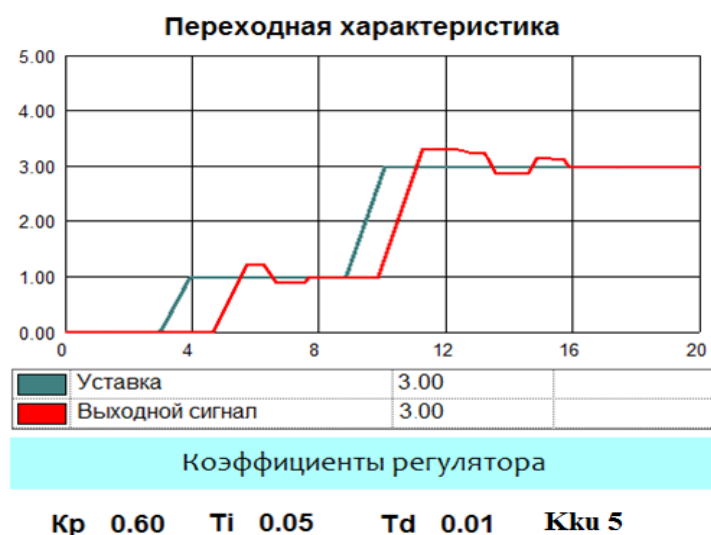


Рисунок 30 - Визуализация работы КУ с запоминанием экстремума в ПП MasterSCADA

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

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

7.1.1 SWOT – анализ

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

В Таблице 2 приведен анализ влияния сильных и слабых сторон на приведенные возможности и угрозы.

Таблица 2 – SWOT анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: 1. Удобство в эксплуатации: использование ПКУ 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	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: 1. Отсутствие прототипа научной разработки. 2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров. 3. Уровень проникновения на рынок.
--	--	---

	квалифицированный научный труд.	
Возможности: 1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ для быстрого внедрения на рынок. 2. Появление дополнительного спроса на новый продукт. 3. Разработка более адаптивной методики управления в промышленной среде	Использование инновационной структуры ТПУ позволит повысить конкурентоспособность корректирующих устройств и ускорить выход на рынок. Возможно появление дополнительного спроса на новый продукт благодаря использованию высоко квалифицированного научного труда. Привлекательность функциональных возможностей позволяет разрабатывать более эффективные методики управления объектом.	Появление дополнительного спроса на новый продукт может привести к отсутствию у потенциальных потребителей квалифицированных кадров.
Угрозы: 1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.	Отсутствие спроса на новые технологии производства может замедлить срок выхода корректирующих устройств 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.

7.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

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

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

Таблица 3 – Морфологическая матрица для корректирующего устройства

		1	2	3
A	Контроллер	KPOCC	SIMATIC S7 - 400	-
B	ПО	IsaGraf	Simatic Step 7	MATLAB
C	Визуализация	MasterSCADA	TraceMOD 5	MATLAB

7.3 Планирование научно-исследовательских работ

7.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

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

На данном этапе составляется полный перечень проводимых работ, и определяются их исполнители и оптимальная продолжительность. Результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта.

Данная ВКР имеет небольшой штат исполнителей, состоящий из научного руководителя проекта (НР) и инженера (И), а так же не предполагает высоких затрат, то при составлении плана комплекса работ будет использоваться линейный метод.

Перечень работ разбит 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 4.

Таблица 4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

№ раб.	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 корректирующих устройств	И, НР
7	Исследование нечеткой логики	И, НР
8	Исследование корректирующих устройств с запоминанием экстремума	И, НР
Разработка программного обеспечения		
9	Разработка программного обеспечения Проектирование нечетких корректирующих устройств в программной среде MATLAB	И
10	Проведение экспериментальных исследований	И, НР
11	Разработка программного обеспечения Проектирование нечетких корректирующих устройств на контроллере КРОСС	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

7.3.2 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:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (17)$$

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.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \cdot 1.2, \quad (18)$$

где T_{pi} – 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.

7.4 Бюджет научно-технического исследования

В состав бюджета выполнения работ по научно-технической работе включает вся себя стоимость всех расходов, необходимых для их выполнения. При формировании бюджета используется группировка затрат по следующим статьям:

- 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);
- накладные расходы.

7.4.1 Расчет материальных затрат

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Так как все работы выполнялись преимущественно на компьютерном оборудовании, то они не потребовали существенных затрат на материалы. Мелкие расходы (канцелярия, затраты на печать и пр.) могут быть отнесены к статье прочих расходов. По данной статье можно принять $Z_m = 0$.

7.4.2 Расчеты затрат на специальное оборудование для научных работ

В данной статье расходов учитываются затраты на приобретение специального оборудования, необходимого для проведения работ по разрабатываемой теме.

Учитывая специфику решаемой задачи, а именно, использование специального программного обеспечения, имеющего свободные и открытые лицензии, по данной статье можно принять $Z_{\text{спец}} = 0$.

7.4.3 Расчет основной заработной платы исполнителей системы

Основной расчет фонда заработной платы выполняется по формуле:

$$Z_{\text{ЗП}} = Z_{\text{срд}} \cdot k, \quad (19)$$

где $Z_{\text{срд}}$ – среднедневная норма заработной платы, руб.; k – коэффициент надбавок.

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (20)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (для научного руководителя – 11,2 месяца; для студента – 10 месяцев); F_d – действительный годовой фонд

рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (для научного руководителя – 199 раб. дн., для студента – 186 раб. дн.)

$$K = (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (21)$$

где $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$); $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок принятый в данной работе за 0; $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчеты сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – основная заработная плата исполнителей системы

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Средне- дневная ставка	Затраты времени, раб. дни			Коэф- фици- ент	Фонд з/платы, руб.		
			И1	И2	И3		И1	И2	И3
Научный руководитель	23234,86	1319,44	15,8	18,2	20,8	1,69	34854,7	40043,5	46028,4
Студент	7800	429,38	76,6	91,7	104,6	1,3	41761,9	49993,3	57037,3
Итого							76725,6	90048,8	103056,7

Как видно из результатов, представленных в таблице наименьшие минимальные затраты по заработной плате исполнителей присутствуют при реализации проекта по плану исполнения 1.

7.4.4 Расчет затрат по дополнительной заработной плате

По данной статье предусмотрены затраты по дополнительной заработной плате, учитывающие величину доплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (22)$$

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

Все расчеты сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – дополнительная заработная плата исполнителей системы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Коэффициент дополнительной заработной платы	Дополнительная заработная плата, руб.		
	И1	И2	И3		И1	И2	И3
Научный руководитель	34954,6	40054,6	46028,3	0,15	5244,6	6007,3	6904,3
Студент	41761,9	49984,3	57027,3		6254,3	7499,2	8544,1
Итого					11509	13506,4	15458,5

7.4.5 Расчет отчислений во внебюджетные фонды

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

Величина отчислений определяется по формуле:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}). \quad (23)$$

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

На 2015 г. в соответствии с положениями ст.58.2 закона №212-ФЗ установлены следующие тарифы страховых взносов: ПФР – 0.22 (22%), ФСС РФ – 0.029 (2,9%), ФФОМС – 0,051 (5,1%).

Все расчеты сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	И1	И2	И3	И1	И2	И3
Научный руководитель	34864,7	40064,5	46029,4	5244,7	6008,2	6904,4
Студент	41761,9	49993,3	57027,3	6264,4	7499,2	8554,1
Коэффициент ПФРФ	0,22					
Коэффициент ФСС	0,029					
Коэффициент ФФОМС	0,051					
Итого:						
Исполнение 1	26470,68					
Исполнение 2	31056,86					
Исполнение 3	35553,66					

7.4.6 Расчет накладных расходов

Накладные расходы учитывают все затраты, не вошедшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование, оплата электроэнергии, оплата пользования услугами и пр.

Расчет накладных расходов определяется по формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}. \quad (24)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Для исполнения 1: $З_{\text{накл}} = 114706,28 \cdot 0,16 = 18353,005$ рублей.

Для исполнения 2: $З_{\text{накл}} = 134623,06 \cdot 0,16 = 21549,7$ рублей.

Для исполнения 3: $З_{\text{накл}} = 154068,86 \cdot 0,16 = 24651,02$ рублей.

7.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Сумма затрат по всем статьям расходов рассчитывается и заносится на данном этапе в таблицу 8.

Таблица 8 – бюджет затрат научно-исследовательского проекта

Статья затрат	Сумма, руб.		
	И1	И2	И3
Основная заработная плата исполнителей темы	76736,6	90058,8	103056,7
Дополнительная заработная плата исполнителей темы	11509	13507,4	15458,5
Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	26471,68	31066,86	35563,66
Накладные расходы	18353,005	21539,7	24651,02
Итого	133069,285	156171,76	178729,88

Как видно из данных таблицы 11, наименьший бюджет минимальных расходов для реализации работ проходится на исполнение 1. Причем основные отличия в реализации проектов при различных исполнениях заключаются в их различной временной сложности для участников.

4.5 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.

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:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.i}} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (25)$$

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).

$$I_{\text{финр}} = \frac{212670,279}{200000} = 1,06.$$

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:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (26)$$

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 9 – 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	3,7	3	3,3

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}}. \quad (27)$$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}. \quad (28)$$

Таблица 10 – 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	3,7	3	3,4
3	Интегральный показатель эффективности	3,57	2,84	3,2
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,25	0,7	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.

5. Социальная ответственность

Введение

В рамках выпускной квалификационной работы исследуется и моделируется нечеткое корректирующее устройство различными программными средствами. Работа над проектом осуществлялась в одной из учебных аудиторий с персональными компьютерами, расположенной на кафедре автоматики и компьютерных систем в 10 корпусе Томского политехнического университета.

5.1. Производственная безопасность

Таблица 11. Опасные и вредные факторы при выполнении работы за компьютером

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа за компьютером	1. Отклонение показателей микроклимата; 2. Превышение уровней шума и вибрации; 3. Превышение показателей электромагнитного излучения 4. Психофизические факторы	1. Электрический ток	Приводятся нормативные документы, которые регламентируют действие каждого выявленного фактора с указанием ссылки на список литературы. Например, параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96 [1].

5.1.1. 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 [22] 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.

5.1.2 Повышенные показатели микроклимата

По степени физической тяжести работа инженера-программиста относится к категории лёгких работ по Сан Пин № [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 [23] и приведены в таблице 1.

Таблица 12 – 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 разработка температура и влажность воздуха поддерживается в заданных в таблице пределах. Кроме того, имеется автоматическая система кондиционирования, очищающая и нагревающая (охлаждающая) поступающий в кабинет воздух.

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

5.1.3 Недостаточность освещенности рабочей зоны

По санитарно-гигиеническим нормам СанПиН 2.2.4.548 – 96 [23] 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 [3] рекомендуемая освещенность помещения для данного разряда 400 лк (таблица 13).

Таблица 13 – 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 14 в соответствии с нормами госта СП 52.13330.2011 [24].

Таблица 14 – 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 блескость 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%

5.1.4 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 [25] 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 [26] уровня шума для рабочих мест приведены в таблице 15.

Таблица 15 – 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).
4. прочистка вентилятора от пыли или заменить полностью.

5.1.5 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 [27]:

- настроить яркость дисплея на приемлемый для глаз уровень;
- увеличить шрифт на экране для удобного чтения;
- настроить контрастность и насыщенность цветов, чтобы глаза не утомлялись во время длительной работы за компьютером.

Во-вторых, рабочее место должно быть максимально удобным, т.к. в результате неправильной позы могут возникнуть проблемы с шейными и поясничными 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 [22]:

- расстояние от экрана монитора до глаз работника должно составлять 60 - 70 см;
- высота, ширина и глубина рабочего стола должна быть комфортной;
- рабочий стул должен быть удобным и регулироваться по высоте и углам наклона спинки;
- экран монитора должен быть антибликовым;

- каждые 2 часа необходимо делать небольшие перерывы по 20 минут;
- работа за компьютером не должна 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.

5.1.6 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 [27] 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 [29]:

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

5.2. 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 [33]

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.

5.3 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 [30], 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.

План эвакуации приведен на рисунке 31.

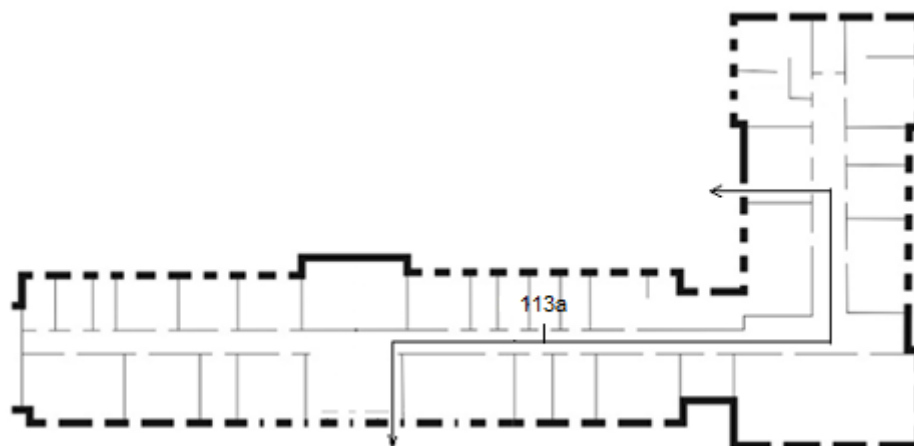


Рисунок 31 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещения учебного корпуса №10, пр. Ленина, 2 – 1 этаж, 113 аудитория

5.4 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.

5.4.1 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 [27] 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. По результатам исследования, показана возможность реализации адаптивных САР с подстройкой параметра ПКУ с запоминанием экстремума.

Проведено исследование свойств САР с корректирующим устройством с запоминанием для объектов второго порядка с апериодическими и колебательными свойствами .

Результаты исследования показали, что применение данных корректирующих устройств позволяет улучшить качество управления как для объектов с неизменными параметрами, так и при их изменении, по сравнению с системами управления без корректирующих устройств.

Разработано и исследовано ПКУ, работающее на основе нечеткой логики. Показана работоспособность и эффективность работы этого устройства.

В работе проведена программная реализация псевдолинейного КУ в программном пакете Isagraf. Работоспособность программы проверена на контроллере КРОСС.

CONCLUSION

As a result of final qualifying work the properties of the pseudo corrective devices were investigated. According to the study, the possibility of implementing the adaptive automatic control system tunable parameter of the pseudo correction means remembering extreme.

A study of the properties of automatic control system with correcting device with memory for the objects of the second order with aperiodic and vibrational properties.

The results showed that the use of data correction devices can improve quality control for objects with the same parameters, and when they are changed, compared with controls without corrective devices.

Developed and studied the pseudo-correcting device that operates on the basis of fuzzy logic. Shown efficiency and effectiveness of the device.

The work carried out software implementation of the pseudo-correction device in Isagraf software package. The efficiency of the program checked on the controller CROSS.

Список публикаций

1. Захаренко И. Е. Псевдолинейная коррекция в системах автоматического регулирования / 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, 9-13 ноября 2015 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1. — [С. 213-214].

Список использованных источников

1. 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.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования, издание третье, исправленное. – М.: Наука, 1975. – 768 с.
3. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1988. - 256 с.
4. Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1989. – 421 с.
5. Хлыпало Е.И. Нелинейные системы автоматического регулирования (расчет и проектирование). - Л.: Энергия, 1967. – 450 с.
6. Хлыпало Е.И. Расчет и проектирование нелинейных корректирующих устройств в автоматических системах. - Л.: Энергоиздат, 1982. – 271 с.
7. Юревич Е.И. Теория автоматического управления. М.: Энергия, 1969 – 375 с.
8. Иванов Ю.И., Югай В.Я. Электронные устройства систем управления. Учебное пособие. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2010. – 220 с.
9. Воронов А.А. ,Теория автоматического управления, Ч.I. — М.: Высшая школа, 1986. — 367 с.
10. Топчиев Ю.И., Нелинейные системы автоматического управления. – М.:Машиностроение, 1971. – 470с.
11. Нелинейные корректирующие устройства в системах автоматического управления./ Ю.И.Топчиев. М.: Машиностроение, 1971. - 466 с.
12. Энциклопедия АСУ ТП [Электронный ресурс]. URL: http://bookasutp.ru/Chapter5_3.aspx.

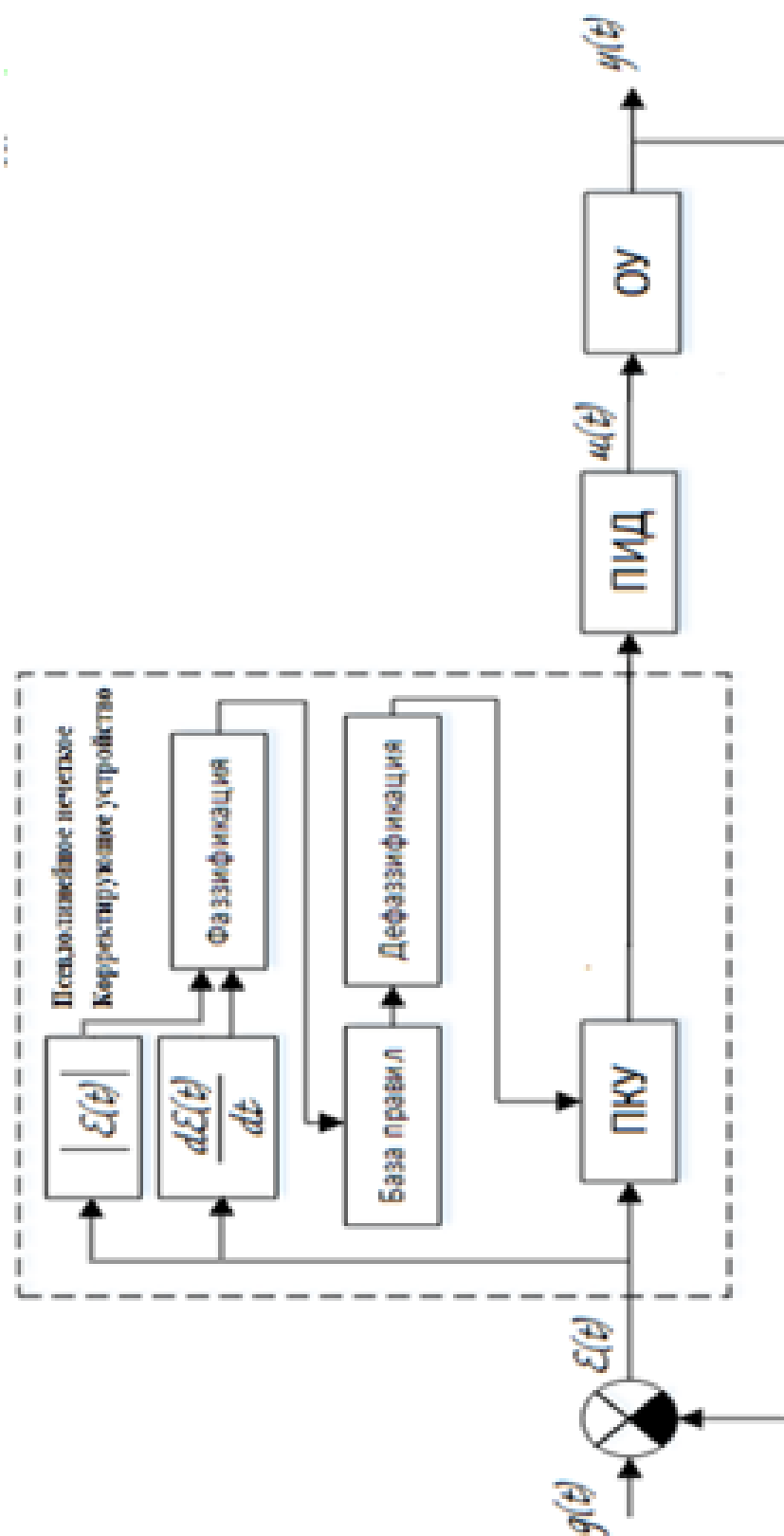
13. Ким Д.П. Теория автоматического управления: учеб. пособие. Т. 1: Линейные системы. / Д. П. Ким. М.: Физматлит, 2007. - 312 с.
14. Корилов А.М. Основы теории управления: учеб. пособие / А.М.: Корилов; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. Томск: Изд-во НТЛ, 2002. - 391 с.
15. Библиотека специалиста по КИПиА [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kipiasoft.su/>.
16. 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.
17. Бурцева Ю.С. Беспойсковый метод расчета настроек регуляторов на минимум квадратичного критерия: Дис...канд. тех. наук. – М, 2014 – 156 с.
18. Исследование качества переходных процессов замкнутых систем управления [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://itmu.vsuet.ru/Posobija/OTU/htm/LR5.htm>.
19. Бошляков А.А., Рубцов В.И., Проектирование нечеткого регулятора следящей системы// Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – №8. – с.1-11
20. Куликов Г.Г, Брейкин т.В. Интеллектуальные информационные системы: Методические указания: Изд-во УФА, 1999. - 40 с.
21. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами МАТЛАБ. – М: Горячая линия – Телеком. – 2007. – 288с.
22. СанПиН 2.22.542-96 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. М.: Госкомсанэпиднадзор, 1996.
23. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
24. СП 52.13330.2011 Свод правил. Естественное и искусственное освещение.

25. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
26. ГОСТ 12.1.003-83 Шум Общие требования безопасности, 1983.
27. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
28. Словари и энциклопедии [Электронный ресурс]. URL: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_medicine/
29. ГОСТ 12.1.019–85 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты, 1985.
30. НПБ 105-95. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, утв. Приказом ГУ ГПС МВД РФ от 31.10.95 № 32.
31. . Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды: учебник для вузов. – М.: Изд-во Юрайт, 2013. – 671с.
32. 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/
33. Статья «Как утилизировать Люминесцентную лампу» [Электронный ресурс] URL: <http://eco63.ru/lampalum.html>
34. Елизаров И.А., Мартемьянов Ю.Ф. Технические средства автоматизации. Программно-технические комплексы и контроллеры: Учебное пособие. М.: «Издательство Машиностроение-1», 2004. 180 с.
35. Инструментальная система для программирования контроллеров, ISaGRAF [Электронный ресурс] URL: <http://asutp.ru/?p=400016>

Приложение А

(Обязательное)

Структурная схема системы автоматического управления с нечетким
корректирующим устройством



Приложение Б (Обязательное)

Листинг m-файла, S-функции

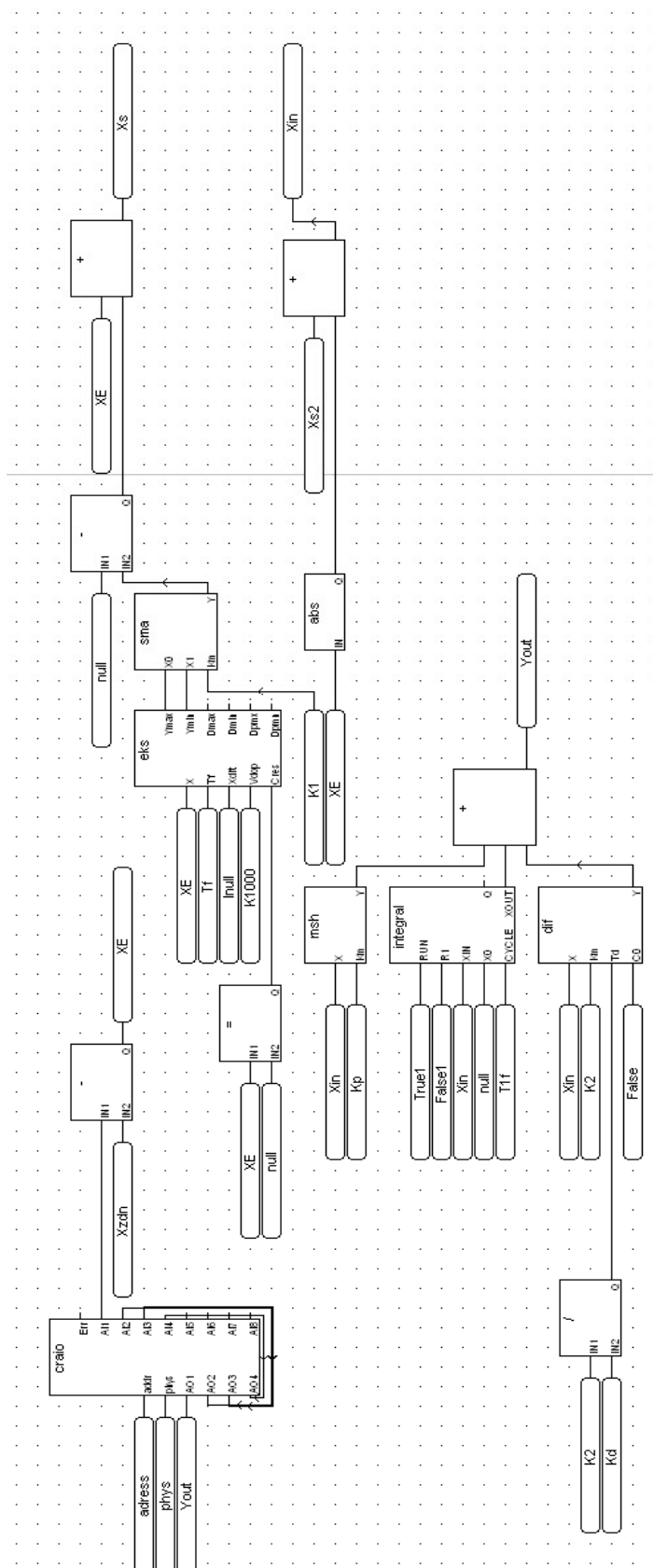
```
function [sys, x0, str, ts] = mdlInitializeSizes
    sizes = simsizes;
    sizes.NumContStates = 0;
    sizes.NumDiscStates = 0;
    sizes.NumOutputs = 0;
    sizes.NumInputs = 1;
    sizes.DirFeedthrough = 1;
    sizes.NumSampleTimes = 1;
    sys = simsizes(sizes);
    x0 = [];
    str = [];
  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

function sys=mdlOutputs(t,x,u)
    b=num2str(u)
    set_param('DFL/TransferFcn','Numerator','[1]')
    set_param('DFL/TransferFcn','Denominator',[' ' [' b ' ] '])
    sys=[];

function [sys,x0,str,ts] = set_parametr(t,x,u,flag)
    switch flag
        case 0
            [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes;
            b=0;
        case 3,
            sys=mdlOutputs(t,x,u);
        case {1,2,4,9}
            sys=[];
        otherwise
            error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
    end;
```

Приложение В (Обязательное)

Программная реализация в ПП Isagraf



Приложение Г (Обязательное)

Структурная схема лабораторного комплекса

