

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Регулятор Смита для объекта с большим запаздыванием

УДК 681.515.8:681.516.73

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т5Б	Пась Денис Евгеньевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов Василий Васильевич	к.т.н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов Алексей Викторович	к.х.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Винокурова Галина Федоровна	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
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.
<i>Универсальные компетенции</i>	
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 науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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

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

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Т5Б	Пась Денису Евгеньевичу

Тема работы:

Регулятор Смита для объекта с большим запаздыванием	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№1095/с от 12.02.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является система регулирования уровня жидкости, обладающая транспортным запаздыванием. Будет произведено исследование влияния настроек регулятора Смита и ПИД-регулятора на качество регулирования. Реализация данного исследования будет проведена в программном продукте Matlab Simulink и на реальном объекте. Задача состоит в том, чтобы настроить предиктор Смита и ПИД-регулятор для получения желаемых</p>
---	---

	показателей качества САУ, когда объект управления является аperiodическим звеном первого порядка, и провести сравнительный анализ.
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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Описание объекта исследования; 2. Идентификация ОУ; 3. Настройка ПИД-регулятора; 4. Применение и настройка регулятора Смита; 5. Проведение исследований; 6. Сравнительный анализ результатов.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация в формате *.ppt
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна
Социальная ответственность	Винокурова Галина Федоровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	4.02.2019
---	-----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов Василий Васильевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т5Б	Пась Денис Евгеньевич		

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

Школа – инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) – 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Уровень образования – Бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) – отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения – осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	<i>Основная часть</i>	60
	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	20
	<i>Социальная ответственность</i>	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов Василий Васильевич	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕ-
РЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8Т5Б	Пась Денису Евгеньевичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образова- ния	Бакалавриат	Направление/специа- льность	15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет – 210023,73 руб. Затраты на заработную плату – 110582,62 руб. Прочие затраты – 180,32 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Тариф на электроэнергию 5,8 руб./кВт·ч
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Налог во внебюджетные фонды – 27,1% Районный коэффициент – 1,3 Накладные расходы – 16%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	Оценка потенциальных потребителей, анализ конкретных технических решений, SWOT-анализ
2. Формирование календарного плана и бюджета инженерного проекта (ИП)	Планирование этапов работ, определение трудоёмкости работ, составление графика проведения НИИ, формирование бюджета.
3. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	Интегральный показатель ресурсоэффективности – 4,2 Интегральный показатель эффективности – 4,375 Сравнительная эффективность проекта – 1,198

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Оценочная карта сравнения конкурентных решений
3. Матрица SWOT
4. Диаграмма Ганта
5. Материальные затраты
6. Бюджет затрат по каждому исполнителю ИП
7. Основные показатели эффективности ИП

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Екате- рина Валентиновна	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т5Б	Пась Денис Евгеньевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Т5Б	Пась Денису Евгеньевичу

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Тема ВКР:

Регулятор Смита для объекта с большим запаздыванием	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – система, предназначенная для регулирования уровня жидкости. Рабочим местом является лабораторный стенд в помещении. Рабочей зоной является место за персональным компьютером. Технологический процесс представляет собой автоматическое управление и контроль основных параметров управления системы. Здание, в котором находится лабораторный стенд, расположено на территории ТПУ 10 корпус.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> – Отклонение показателей микроклимата; – Недостаточная освещённость рабочей зоны; – Повышенный уровень шума на рабочем месте; – Умственное перенапряжение – Повышенный уровень электромагнитных излучений; – Электрический ток.
3. Экологическая безопасность:	Утилизация люминесцентных ламп.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возникновение пожара.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Винокурова Галина Федоровна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т5Б	Пась Денис Евгеньевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 76 страниц, 18 рисунков, 20 таблиц, 1 список использованных источников из 23 наименований.

Ключевые слова: автоматическое регулирование, объект управления с запаздыванием, идентификация, предиктор Смита, замкнутая система, настройка регуляторов, система автоматического управления.

Объектом исследования является система автоматического регулирования уровня жидкости, имеющая в своём составе звено транспортного запаздывания.

Цель работы: исследование САР с запаздыванием, идентификация объекта управления, обзор регуляторов, выбор регуляторов для управления объектом с запаздыванием и их настройка, сравнительный анализ выбранных регуляторов.

Исследования выполнялись методом моделирования в программном продукте MATLAB Simulink и на реальном объекте.

Идентификация объекта выполнена графическим методом по переходной характеристике.

Для программируемого логического контроллера, который используется для управления объектом с запаздыванием, используя языки стандарта МЭК 61131-3, в среде CoDeSys была написана специальная управляющая программа, которая реализует обычный ПИД-регулятор и регулятор (предиктор) Смита. Расчет коэффициентов ПИД-регулятора выполнен по методу Циглера-Никольса. По полученным ходам экспериментов переходным процессам проведён сравнительный анализ качественных показателей различных регуляторов.

Область применения: промышленное производство, содержащее транспортные процессы, а также процессы перемешивания и горения.

В будущем планируется исследование других типов регуляторов, определение решений для искоренения запаздываний.

Экономическая эффективность работы обоснована с точки зрения ресурсосбережения и получения прибыли.

Оглавление

Определения, обозначения и сокращения	11
Введение.....	13
1 Объект управления и методы исследования	15
1.1 Описание объекта управления.....	15
1.2 Процесс функционирования объекта.....	16
1.3 Получение кривой разгона.....	16
1.4 Идентификация	18
1.5 Классификация регуляторов	19
1.6 Выбор типа регулятора.....	20
1.7 Настройка ПИД – регулятора	20
1.8 Предиктор Смита	22
2 Исследование системы	25
2.1 Исследование системы методом моделирования	25
2.2 Экспериментальные исследования	27
2.2.1 Программная часть системы управления.....	28
2.2.2 Характеристика контроллера ОВЕН ПЛК150	32
3 Результаты исследований.....	34
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	38
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	38
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	38
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	39
4.1.3 SWOT-анализ	41
4.2 Планирование научных исследовательских работ	42
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	42
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	44
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	45
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	48

4.3.1	Расчет материальных затрат НТИ.....	48
4.3.2	Основная заработная плата исполнителей темы	51
4.3.3	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	53
4.3.4	Отчисление во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	53
4.3.5	Прочие прямые затраты	54
4.3.6	Накладные расходы	55
4.3.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .	55
4.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	56
5	Социальная ответственность	59
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	59
5.1.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства	59
5.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	60
5.2	Производственная безопасность	62
5.2.1	Отклонения показателей микроклимата.....	63
5.2.2	Повышенный уровень шума	64
5.2.3	Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	65
5.2.4	Умственное перенапряжение.....	66
5.2.5	Повышенный уровень электромагнитных излучений	68
5.2.6	Электробезопасность.....	69
5.3	Экологическая безопасность.....	70
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	71
5.5	Заключение	72
	Заключение	73
	Conclusion.....	74
	Список используемых источников.....	75

Определения, обозначения и сокращения

В данной работе использованы следующие термины с соответствующими определениями:

автоколебания: Незатухающие колебания в системе с нелинейной обратной связью, поддерживающиеся за счет энергии внешнего воздействия.

пропорциональный интегро-дифференциальный регулятор (ПИД - регулятор): Типовой регулятор, используемый в системах автоматического управления для формирования управляющего сигнала, состоящего из трех слагаемых, первое из которых пропорционально рассогласованию, второе – интеграл рассогласования, третье – производная рассогласования.

пропорционально-интегральный регулятор (ПИ - регулятор): Типовой регулятор, используемый в системах автоматического управления для формирования управляющего сигнала, состоящего из двух слагаемых, первое из которых пропорционально рассогласованию, второе - интеграл рассогласования.

кривая разгона: Реакция системы на входное ступенчатое воздействие при нулевых начальных условиях объекта управления.

время запаздывания: Интервал времени от момента подачи входного сигнала до момента начала «движения» системы под воздействием этого сигнала.

коэффициент передачи: Отношение установившегося значения выходной величины к величине ступенчатого входного сигнала, вызвавшего это изменение.

постоянная времени: Характеристика экспоненциального процесса, определяющая, через какое время значение амплитуды упадет в 2.718 раза.

идентификация объекта: Определение основных динамических характеристик исследуемого объекта.

объект управления (ОУ): Динамический процесс или устройство, для управления поведением которого разрабатывается система автоматического управления.

замкнутая система: система, в которой осуществлено управление с обратной связью;

Введение

В настоящее время существует достаточно высокий интерес к системам управления с запаздыванием. Активное исследование этой темы началось с семидесятых годов прошлого столетия. Проблемы, связанные с ней, актуальны как в классическом регулировании, так и в теории оптимального управления. Впервые в теории классического регулирования проблемы запаздывания рассмотрел Хенрик Гурецкий в своей книге «Анализ и синтез систем управления с запаздыванием». Издание содержит разнообразные методики анализа как линейных и нелинейных систем автоматического регулирования с запаздыванием, так и импульсных систем, а также способы выбора параметров регулятора [1].

В трудах Дралюка Б.Н., Синайского Г.В. «Системы автоматического регулирования объектом с транспортным запаздыванием» рассматриваются системы регулирования с транспортным запаздыванием, которое образуется в технологическом процессе при перемещении материала без изменения его характеристик и структуры из одной точки в другую [2].

Запаздывание играет большую роль в транспортных процессах, а также в процессах перемешивания, горения [3]. Так, конвейерные системы, а также системы, имеющие похожую структуру, имеют чистое запаздывание, которым нельзя пренебречь. Запаздывание реакции управляющей системы приводит к потере устойчивости системы [4]. В таких системах запаздывание проявляется и по входу.

Величина отношения запаздывания к постоянной времени объекта оказывает наибольшее влияние на динамику регулирования. Чем больше это отношение, тем тяжелее достигнуть требуемого качества процесса регулирования, которое оценивают по переходной функции. Методики улучшения данного качества основываются на заключении, которое можно сформулировать исходя из вышесказанного:

- первым методом является изменение, а точнее понижение величины отношения запаздывания к постоянной времени методом разнотипных модификаций;

- вторым методом, часто используемым, является использование на объекте разнотипных регуляторов более сложной структуры, с помощью которых можно минимизировать негативное влияние запаздывания.

Задачи исследования:

- идентификация объекта управления: принцип работы, структура, назначение, передаточная функция объекта;
- применение регулятора Смита;
- настройка регулятора Смита;
- сравнение итоговых результатов с классическим ПИД-регулятором.

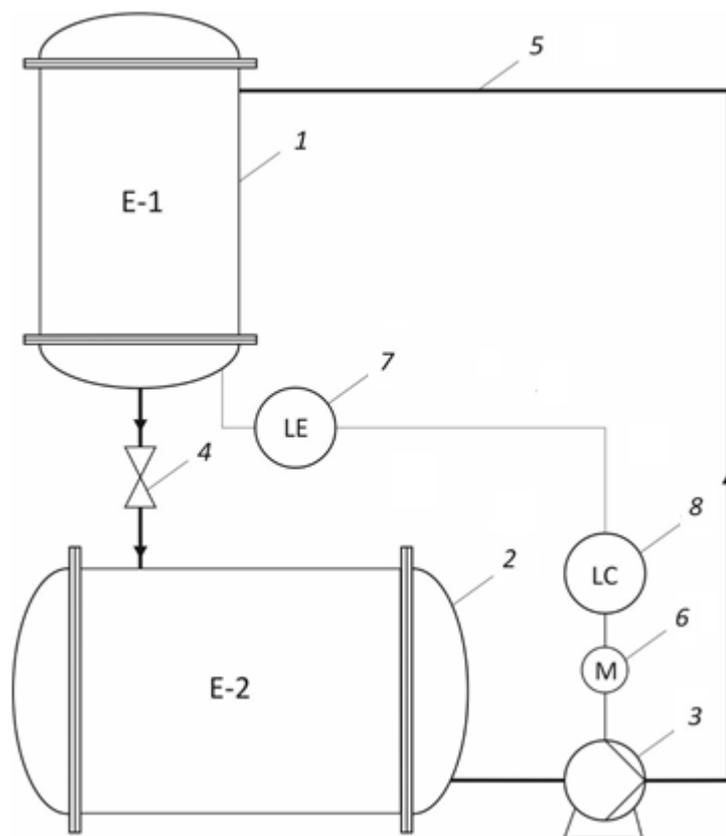
Чтобы сравнить итоговые результаты, используются такие критерии качества переходных процессов как время регулирования и перерегулирование.

1 Объект управления и методы исследования

1.1 Описание объекта управления

Система, которая подлежит изучению, изображена на рисунке 1. Система состоит из следующих элементов:

- двух резервуаров: основной 1 и вспомогательный 2;
- датчик уровня, установленный на первом резервуаре;
- шарового полнопроходного крана с электроприводом 4, позволяющего регулировать интенсивность слива жидкости из первого резервуара во второй.



1 – основной резервуар; 2 – вспомогательный резервуар; 3 – насос; 4 – шаровой кран с электроприводом; 5 – незаполненный трубопровод; 6 – двигатель насоса; 7 – датчик уровня; 8 – регулятор уровня.

Рисунок 1 – Схема системы

Жидкость из второго резервуара подается насосом 3 в первый по трубопроводу 5, для того чтобы контур регулирования был замкнут. Насос располагается в самом низу, благодаря чему всегда функционирует исправно, независимо

от количества жидкости. В трубопроводе 5 уравнение неразрывности струи не выполняется, поскольку он представляет собой незаполненный объект. Благодаря этому при изменении производительности насоса уровень в ёмкости Е-1 будет меняться с определённой задержкой, определяемой длиной трубопровода 5.

Уровень измеряется датчиком 7 гидростатическим способом.

Объемы емкостей 1 и 2 выбираются одинаковыми. Благодаря этому обеспечивается сбалансированность системы, независимо от количества в них жидкости.

Трубопровод 5 выполняет функцию звена чистого запаздывания.

1.2 Процесс функционирования объекта

Из вспомогательного резервуара 2 жидкость за счет насоса 3 перекачивается по трубопроводу 5 в основной резервуар 1 и сливается в резервуар 2 через клапан с электроприводом 4. Уровень в резервуаре 1 измеряется датчиком 7, работающего по принципу измерения давления, которое создается столбом жидкости. Итоги измерения передаются в регулятор 8, в котором формируется аналоговый выходной сигнал в диапазоне (4 – 20) мА. Значение выходного сигнала зависит от реализуемого закона регулирования. Этот аналоговый сигнал поступает на частотный преобразователь, управляющий деятельностью (производительностью) насоса.

Степень открытия клапана 4 и значение уставки регулируемой величины, которое задается в регуляторе, являются особо важными факторами, способными повлиять на работоспособность системы.

1.3 Получение кривой разгона

Динамические характеристики исследуемого объекта определяются с помощью переходной характеристики $h(t)$. Переходная характеристика представляет собой реакцию системы на единичное ступенчатое воздействие. Ключевым моментом является то, что кривая разгона определяется при нулевых начальных условиях.

Объект регулирования не обладает самовыравниванием. Это предположение можем сделать исходя из того, что уровень жидкости в резервуаре при постоянном входном воздействии будет вести себя как идеальный интегрирующий элемент (линейно расти). Безусловно, при условии наличия емкости с неограниченным объемом и неограниченного количества жидкости система становится идеальным интегрирующим элементом. Только в реальности у нее имеется ряд ограничений: оба резервуара обладают ограниченным объемом, в системе перемещается ограниченный объем жидкости. Реальный объект будет описываться апериодическим звеном первого или второго порядка основываясь на том, что он обладает самовыравниванием.

Для получения переходной характеристики содержимое первого резервуара необходимо максимально, насколько это возможно, слить во второй и затем перевести регулятор уровня в ручной режим. Вслед за этим зафиксировать время, входного воздействия на систему. Под входным ступенчатый воздействием понимается изменение частоты питающего напряжения насоса. Величина изменения составляет от 0 до 50 Гц. Следует обратить внимание, что изменение частоты равнозначно изменению производительности насоса.

На рисунке 2 представлена переходная характеристика системы.

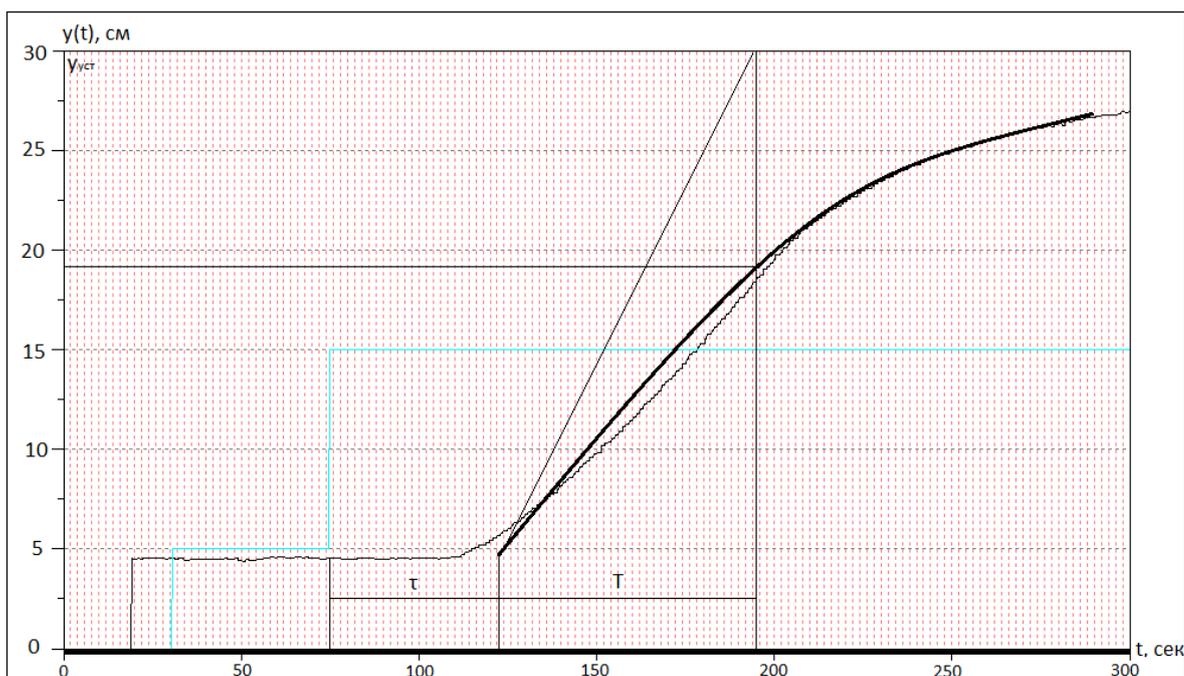


Рисунок 2 – Переходная характеристика системы

По полученной кривой разгона проводится идентификация объекта управления, в процессе которой определяется передаточная функция.

1.4 Идентификация

Под идентификацией в автоматическом управлении понимается нахождение связи между входом и выходом на основе экспериментальных данных [5]. С помощью нее определяется математическая модель объекта управления.

Исходя из рисунка 2, на котором переходная характеристика имеет апериодический вид, передаточную функцию объекта управления можно записать в следующем виде:

$$W(s) = \frac{k}{Ts + 1} \cdot e^{-\tau \cdot s}, \quad (1)$$

где $W(s)$ – последовательное соединение звена с чистым запаздыванием и звена апериодического;

T – постоянная времени объекта;

k – коэффициент передачи;

τ – время запаздывания.

Постоянная времени объекта управления определяется графическим способом по переходной характеристике, представленной на рисунке 2, и равна 70 секунд.

Интервал времени от начала подачи входного воздействия до этапа, когда начнется изменяться сигнал $y(t)$ называется временем запаздывания [6]. При этом входной сигнал $U(t) \neq 0$, а система находится в состоянии покоя $y(t) = 0$, при условии, что до поступления входного сигнала объект не имел накопленной неистраченной энергии.

С помощью переходной характеристики находится время запаздывания $\tau = 48$ с.

Коэффициент передачи определяется из отношения установившегося значения уровня, которое составляет 30 см к величине управляющего сигнала равного 20 мА.

Коэффициент передачи $k = 1,5$.

В соответствии с найденными значениями передаточная функция (1) запишется таким образом:

$$W(s) = \frac{1,5}{70s + 1} \cdot e^{-48 \cdot s}, \quad (2)$$

Отношение $\tau/T < 1$, это говорит о том, что трудностей с настройкой регулятора возникнуть не должно.

1.5 Классификация регуляторов

Автоматические регуляторы можно классифицировать по:

- назначению;
- виду регулирующего воздействия;
- характеру воздействия на регулируемый орган;
- роду используемой энергии.

По назначению регуляторы классифицируются на:

- универсальные;
- специализированные.

По виду регулирующего воздействия (закону регулирования) регуляторы подразделяются:

- оптимальные;
- адаптивные;
- типовые (пропорциональный (П), интегральный (И), дифференциальный (Д), и их комбинации);
- импульсные (позиционные).

Каждый тип закона регулирования имеет свой переходный процесс, присущий только ему.

По характеру воздействия на регулируемый орган автоматические регуляторы делятся на:

- прямого действия;
- непрямого действия;

Для работы регулятора непрямого действия требуется внешний источник питания [7]. Первый тип регуляторов для процессов управления используют энергию регулируемой среды, также они имеют высокую надежность и просты в устройстве. Регулятор расхода выступает в качестве примера первого типа.

Что касается энергии регуляторы могут быть:

- механическими;
- электронными;
- комбинированными.
- гидравлическими;
- пневматические;

Чтобы выбрать регулятор по данному разделению, необходимо обратить внимание на объект регулирования и на структуру самой автоматической системы.

1.6 Выбор типа регулятора

Для того чтобы задача регулирования решалась в соответствии с определенными требованиями, разработчик системы должен подобрать регулятор, обладающий максимальной надежностью и минимальной стоимостью.

Величина отношения запаздывания к постоянной времени в объекте управления τ/T является основным фактором, влияющим на выбор типа регулятора. Если же эта величина меньше 0,2, в таком случае необходимо выбрать цифровой регулятор, релейный или же непрерывный. Когда $0,2 < \tau/T < 1$ рекомендуется выбирать цифровой, ПИД, ПИ или непрерывный регуляторы, однако в этом же случае и, в случае если $\tau/T > 1$ можно применять цифровой регулятор с учредителем [1]. Он компенсирует запаздывание.

1.7 Настройка ПИД – регулятора

В теории автоматического управления существует множество методик настройки регулятора. К основным относятся методы: Шубладзе, Циглера-Никольса, Куна – «правило T – суммы» и Шеделя. Каждый из них имеет свои

преимущества и недостатки. В данной работе воспользуемся методом настройки Циглера-Никольса, поскольку данный метод отличается своей простотой. Впервые он был изложен в 1942 году в работе двух инженеров [8].

Суть данного метода состоит в следующем:

- Система переводится в П-закон регулирования;
- Коэффициент передачи постепенно увеличивают до тех пор, пока система не окажется на границе устойчивости. Об этом свидетельствуют незатухающие колебания.
- Фиксируется критический коэффициент передачи и измеряют период критических колебаний, затем рассчитывают параметры регулятора по следующим формулам [9]:

$$K_p = K_{кр} \cdot 0,6, \quad (3)$$

$$K_i = \frac{2 \cdot K_p}{T_{кр}}, \quad (4)$$

$$K_d = \frac{T_{кр} \cdot K_p}{8}. \quad (5)$$

Воспользуемся вариантом, где при расчете применяются коэффициенты k , τ , T . Формулы для расчета параметров ПИД-регулятора приведены ниже [10]:

$$K_p = \frac{1,2T}{k\tau}, \quad (6)$$

$$K_i = \frac{0,6T}{k\tau^2}, \quad (7)$$

$$K_d = \frac{0,6T}{k}. \quad (8)$$

Таким образом, рассчитанные параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Рассчитанные параметры регулятора

	K_p	K_i	K_d
ПИД	1,16	0,012	28

Однако стоит отметить, что качество регулирования не будет достаточно высоким, потому что связь между параметрами объекта и коэффициентами регулятора была получена эмпирическим путем.

В связи с тем, что не всегда рассчитанные по формулам параметры регулятора могут быть оптимальными, необходимо проводить ручную подстройку для улучшения качества регулирования. Причиной не оптимальных параметров могут быть: нелинейность типа «ограничение», погрешность при идентификации объекта управления. Как рекомендация при выборе величин коэффициентов регулятора может использоваться таблица 2.

Таблица 2 – Влияние коэффициентов регулятора на показатели качества системы

Тип звена	Время нарастания	Перерегулирование	Время переходного процесса	Статическая ошибка
K_p	Уменьшает	Увеличивает	Слабо влияет	Уменьшает
K_i	Уменьшает	Увеличивает	Увеличивает	Исключает
K_d	Слабо влияет	Уменьшает	Уменьшает	Слабо влияет

Таким образом, использование этой таблицы упростит ручную подстройку регулятора при проведении эксперимента.

1.8 Предиктор Смита

При управлении объектами, в которых $\tau/T > 0,2$ используют специальные структуры, в состав которых входят ПИД-регулятор и блоки, позволяющие предсказать поведение объекта управления через определенное время. В 1957 году ученый Смит предложил структуру предсказывающего регулятора, которая изображена на рисунке 3 [11].

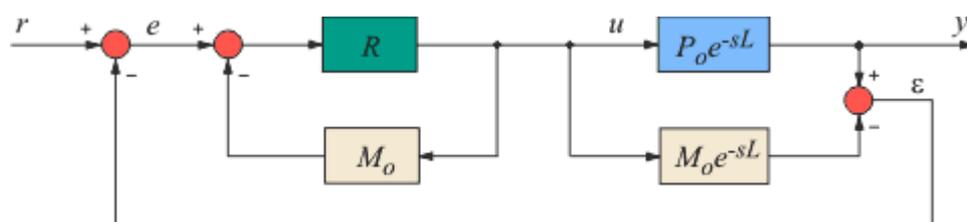


Рисунок 3 – Система управления с предиктором Смита

Цель данного предиктора состоит в том, чтобы предсказать, какой сигнал появится на выходе объекта управления до того, как он появится там на самом

деле. Для предсказания можно использовать модель объекта управления, состоящую из дробно-рациональной части M_0 и транспортной задержки e^{-sL} . Благодаря тому, что из модели можно исключить задержку, появляется принципиальная возможность предсказания поведения объекта до появления сигнала на его выходе.

Реализуется эта возможность системой со структурой, показанной на рисунке 3. Здесь R – обычный ПИД-регулятор, $P_0 e^{-sL}$ – передаточная характеристика объекта управления.

Принцип работы системы состоит в следующем. Предположим, что модель абсолютна точна. Тогда разность сигналов на выходах модели и объекта будет равна нулю, $\varepsilon = 0$. Но в таком случае непосредственно из рисунка 3 можно получить:

$$y = P_0 e^{-sL} \left(\frac{R}{1 + RM_0} \right) r = \left(\frac{P_0 R}{1 + P_0 R} e^{-sL} \right) r. \quad (9)$$

В этом выражении член $\frac{P_0 R}{1 + P_0 R}$ представляет собой передаточную функцию системы без транспортной задержки. А это значит, что звено с транспортной задержкой не входит в контур обратной связи и не влияет на устойчивость и быстрдействие системы, т.е. происходит регулирование в контуре с моделью без задержки, а транспортная задержка только добавляется к полученному результату [11].

Предположим, что $\varepsilon \neq 0$. В этом случае рисунок 3 можно описать следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} y = P_0 e^{-sL} R(r - \varepsilon - M_0 u), \\ \varepsilon = y - M_0 e^{-sL} u, \\ y = P_0 e^{-sL} u. \end{cases} \quad (10)$$

тогда

$$y = \left[\frac{P_0 R}{1 + RM_0 + R(P_0 - M_0)e^{-sL}} r \right] e^{-sL}, \quad (11)$$

Исходя из результатов, с ростом точности модели разность $(P_0 - M_0)$ в знаменателе стремится к нулю и из передаточной функции системы исключается

транспортная задержка, которая только добавляется к уже полученному результату регулирования. Касаясь нашего случая предположим, что модель объекта управления абсолютно точна.

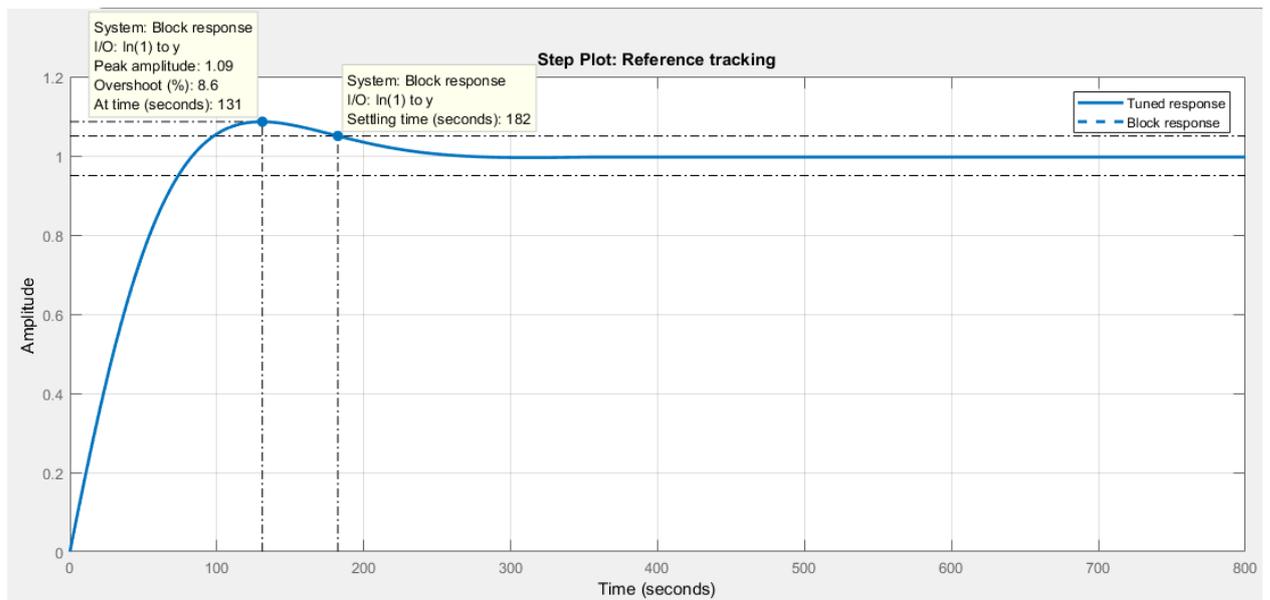


Рисунок 5 - Результаты моделирования регулятора Смита

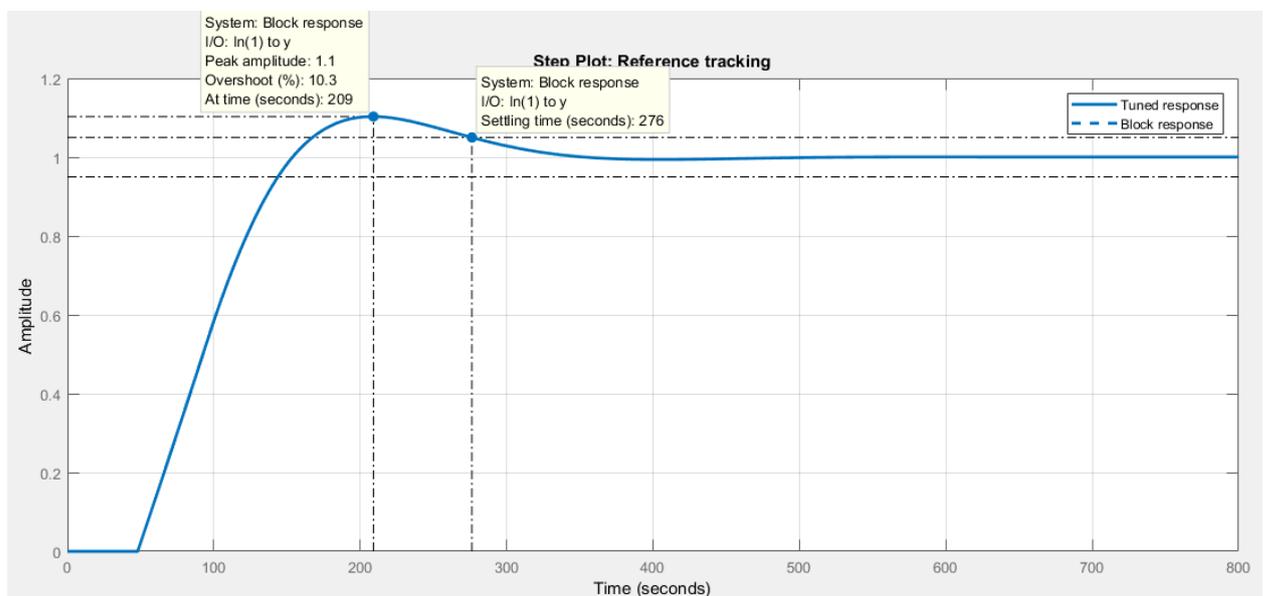


Рисунок 6 - Результаты моделирования ПИД-регулятора

Исходя из данных, полученных путем моделирования, можно сказать, что предиктор Смита обеспечивает большую точность ($\sigma = 8,6\%$) и быстродействие процесса регулирования (время переходного процесса составляет 182 секунд) в сравнении с ПИД-регулятором ($\sigma = 10,3\%$, $t_p = 276$ секунд).

Несмотря на полученные результаты, не стоит говорить о том, что результаты на реальном объекте получатся такие же, ведь нередко результаты моделирования отличаются от реального объекта. Происходит это по многим причинам.

В нашей ситуации такой причиной является модель объекта, используемая для построения регулятора Смита.

2.2 Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования проводятся для того, чтобы подтвердить или опровергнуть результаты, полученные при моделировании. В этих исследованиях решается одна из главных задач – физическая реализуемость предиктора Смита для реального объекта управления, имеющего транспортное запаздывание.

Модель объекта необходимо представить в виде, приемлемом для программирования. Для этого воспользуемся теоретическими основами теории автоматического управления и получим разностное уравнение из передаточной функции объекта управления в области изображений.

$$W(s) = \frac{1}{Ts + 1} \cdot e^{-\tau s}, \quad (12)$$

или

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{Ts + 1} \cdot e^{-\tau s}. \quad (13)$$

Чтобы перейти к дифференциальному уравнению, сделаем замену:

$$s = \frac{d}{dt}, \quad (14)$$

$$T \frac{dy}{dt} + y = x(t - \tau). \quad (15)$$

Перейдем к разностному уравнению:

$$T \frac{y[n + 1] - y[n]}{\Delta t} + y[n] = x[n - k\Delta t], \quad (16)$$

$$y[n + 1] = \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right) \cdot y[n] + \frac{\Delta t}{T} \cdot x[n - k\Delta t], \quad (17)$$

где Δt – шаг дискретизации;

$\tau = k\Delta t$ – время запаздывания.

Используя полученное разностное уравнение, следующим шагом будем написать программу на одном из языков стандарта МЭК 61131-3 для контроллера.

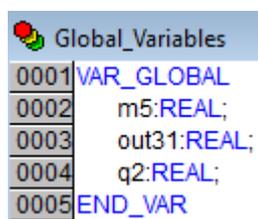
2.2.1 Программная часть системы управления

В качестве среды разработки был выбран инструментальный программный комплекс CoDeSys, созданный немецкой компанией 3S и является независимым комплексом программирования ПЛК. Написание программ может осуществляться на одном из языков стандарта МЭК 61131-3 – IL, ST, LD, FBD, SFC, CFC. Также к преимуществам данного пакета относятся:

- Прямая генерация машинного кода;
- Наличие встроенного эмулятора контроллера;
- Наличие встроенных элементов визуализации;
- Широкий набор сервисных функций;
- Поддержка русского языка.

Часть пользовательской программы была написана на текстовом языке высокого уровня – ST, а другая часть на высокоуровневом графическом языке функциональных схем-блоков – CFC.

Перед написание программ необходимо объявить переменные, для каждой переменной сначала указывается идентификатор, а затем её тип данных. Объявление глобальных переменных представлено на рисунке 7, а объявление переменных для программы на языке ST на рисунке 8.



```
Global_Variables
0001 VAR_GLOBAL
0002 m5:REAL;
0003 out31:REAL;
0004 q2:REAL;
0005 END_VAR
```

Рисунок 7 – Объявление глобальных переменных

```

prog (PRG-ST)
0001 PROGRAM prog
0002 VAR
0003   a:ARRAY[1..53] OF REAL;
0004   out1:REAL;
0005   m1:REAL;
0006   set:REAL:=6.5;
0007   i:INT;
0008   T:REAL;
0009   out2:REAL;
0010   m2:REAL;
0011   m4:REAL;
0012   m31:REAL;
0013 END_VAR

```

Рисунок 8 – Объявление переменных для программы на языке ST

На рисунке 9 представлена структурная схема системы регулирования.

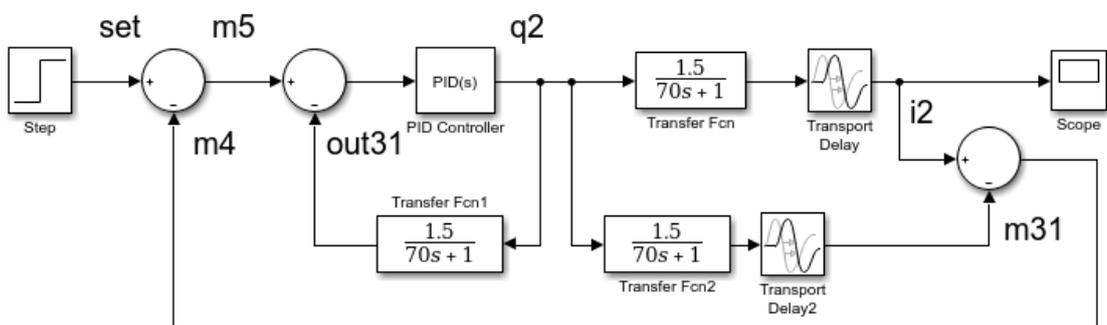


Рисунок 9 – Структурная схема системы регулирования исполнительным механизмом

Листинг программы представлен на рисунке 10.

```

FOR i:=0 TO 51 DO;
    a[53-i]:=a[52-i];
END_FOR
a[1]:=q2;
T:=70;
out1:=(1-1/T)*out2+1.5*q2*(1/T); (*выход модели объекта без запаздыва-
ния*)
out2:=out1; (*выход модели объекта без запаздывания на предыдущем
шаге*)
out31:=4+out1*16/100; (*масштабирование сигнала out1 в диапазон 4...20*)
;
m1:=(1-1/T)*m2+1/T*a[48]*1.5; (*выход модели объекта с запаздыва-
нием*)
m2:=m1; (*выход модели объекта с запаздыванием на предыдущем шаге
*)
m31:=4+m1*16/100; (*масштабирование сигнала m1 в диапазон 4...20*)
m4:=i1-m31; (*разность реального объекта с моделью*)
m5:=set-m4; (*сигнал рассогласования между уставкой set и разностью
реального объекта с моделью m4*)
q10:=q2; (*выходной сигнал регулятора в диапазоне 4...20 присваивается
управляющему сигналу двигателем*)

```

Рисунок 10 – Листинг программы

На рисунке 11 представлена программа ПИД-регулятора, которая напи-
сана на языке СFC.

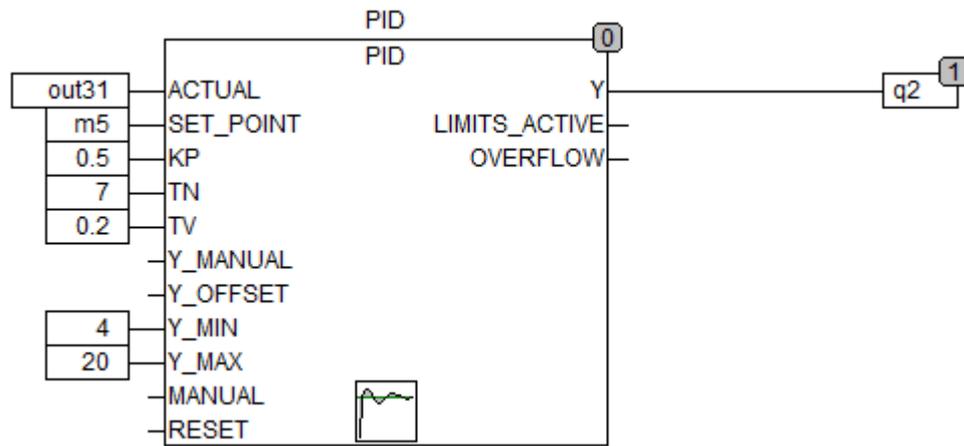


Рисунок 11 – Программа ПИД-регулятора

В этой программе на входы регулятора подается с объекта управления и задающее значение, после чего регулятор вырабатывает управляющее воздействие на насос.

Функциональный блок ПИД-регулятора входит в библиотеку `util.lib` и реализует закон регулирования по следующей формуле:

$$Y = Y_{OFFSET} + KP \left(e(t) + \frac{1}{TN} \int_0^{TN} e(t) + TV \frac{de(t)}{dt} \right), \quad (18)$$

где Y_{OFFSET} - стационарное значение;

KP – коэффициент передачи;

TN – постоянная времени интегрирования;

TV – постоянная времени дифференцирования;

$e(t)$ – сигнал рассогласования или ошибки ($SET_POINT - ACTUAL$).

В формуле функционального блока коэффициент передачи находится за скобкой, поэтому при моделировании системы в MATLAB использовалось это же модифицированное выражение, а не стандартное, где K_p не выносится за скобку.

После завершения написания программы, скачивается и устанавливается необходимый Target-файл, затем производится настройка целевой платформы, где выбирается конфигурация. В нашем случае выбирается конфигурация для ОВЕН ПЛК150. Затем программа компилируется и загружается в контроллер,

который обеспечивает сбор, первичную обработку данных, регулирование и передачу информации к исполнительным устройствам.

2.2.2 Характеристика контроллера ОВЕН ПЛК150

В данной САР используется контроллер для малых систем автоматизации ОВЕН ПЛК150. Он предназначен для создания систем управления малыми и средними объектами, а также для построения систем диспетчеризации. Схема подключения ОВЕН ПЛК150-220 представлена на рисунке 12 [12].

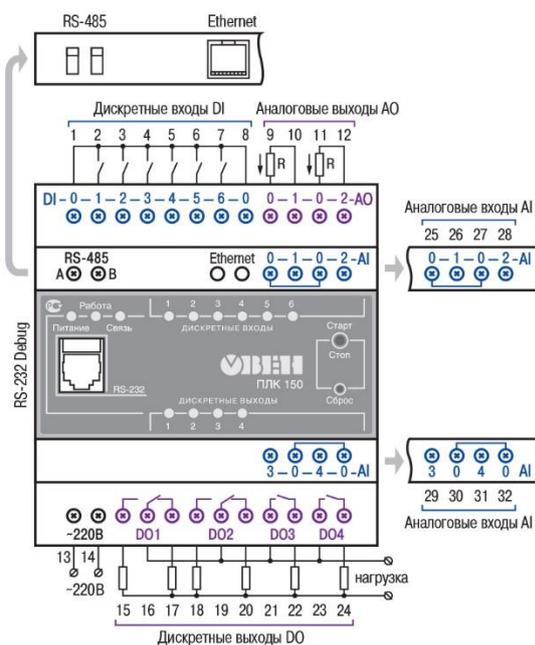


Рисунок 12 – Схема подключения ОВЕН ПЛК150-220

Данный контроллер обладает рядом достоинств:

1. Отсутствие ОС, что повышает надежность работы контроллеров.
2. Наличие последовательных портов и Ethernet.
3. Наличие встроенного аккумулятора, который дополнительно используется как источник аварийного питания.
4. Наличие встроенных часы реального времени.
5. Бесплатная система программирования.
6. Количество точек ввода/вывода можно расширить путем подключения внешних модулей ввода/вывода.
7. Компактный DIN-реечный корпус.

Основные технические характеристика ПЛК приведены в таблице 3 [13].

Таблица 3 – Основные технические характеристики контроллера

Параметр	Значение
Общие сведения	
Конструктивное исполнение	Унифицированный корпус для крепления на DIN-рейку (ширина 35 мм), длина 105 мм (6U), шаг клемм 7,5 мм
Степень защиты корпуса	IP20
Напряжение питания: ПЛК150-220	(90 – 264) В переменного тока (номинальное напряжение 230 В) частотой (47 – 63) Гц
Потребляемая мощность, Вт	15
Габаритные размеры, мм	105×65×90
Средняя наработка на отказ, ч	10000
Средний срок службы, лет	8
Индикация передней панели	1 индикатор питания 6 индикаторов состояний дискретных входов 4 индикатора состояний выходов 1 индикатор наличия связи с CODESYS 1 индикатор работы программы пользователя
Количество дискретных входов	6
Количество аналоговых входов	4

Программирование контроллеров ОВЕН ПЛК150 осуществляется профессиональной системой программирования CoDeSys, которая предоставляется бесплатно при покупке контроллеров ОВЕН.

3 Результаты исследований

Переходные характеристики объекта управления с регулятором Смита при различных коэффициентах ПИД-регулятора приведены на рисунках 13, 14, 15, 16.

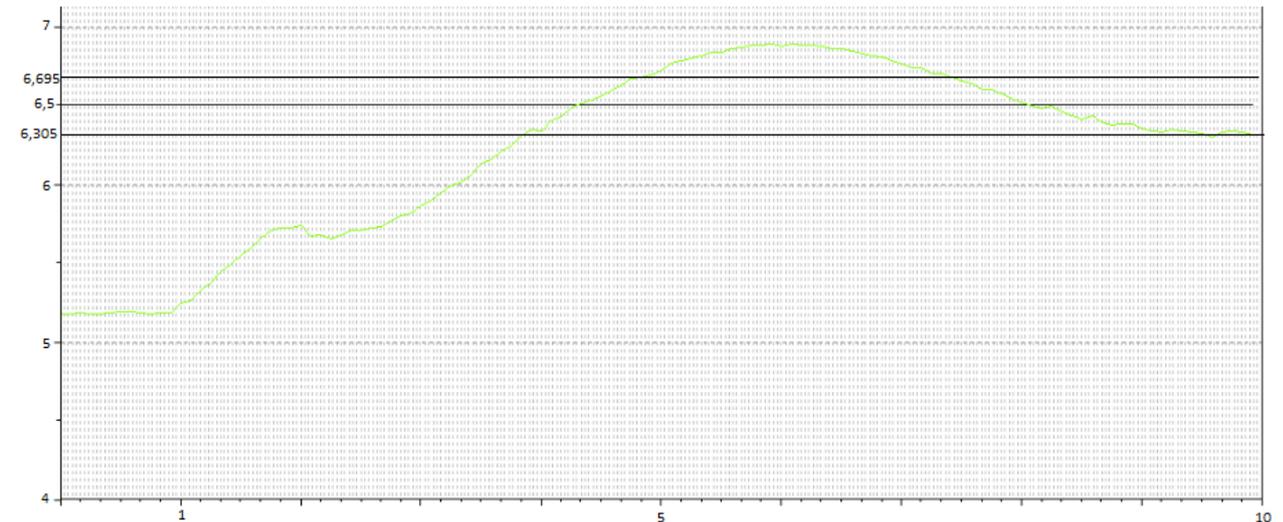


Рисунок 13 – Переходная характеристика системы с регулятором Смита при $K_p = 1, T_i = 7, K_d = 0.2$

Исходя из рисунка 13, можно сделать вывод, что при выбранных коэффициентах регулятора наблюдается устойчивый сходящийся аperiодический процесс, в котором время переходного процесса (t_p) составляет 10 минут, а перерегулирование (σ) 6.15 %.

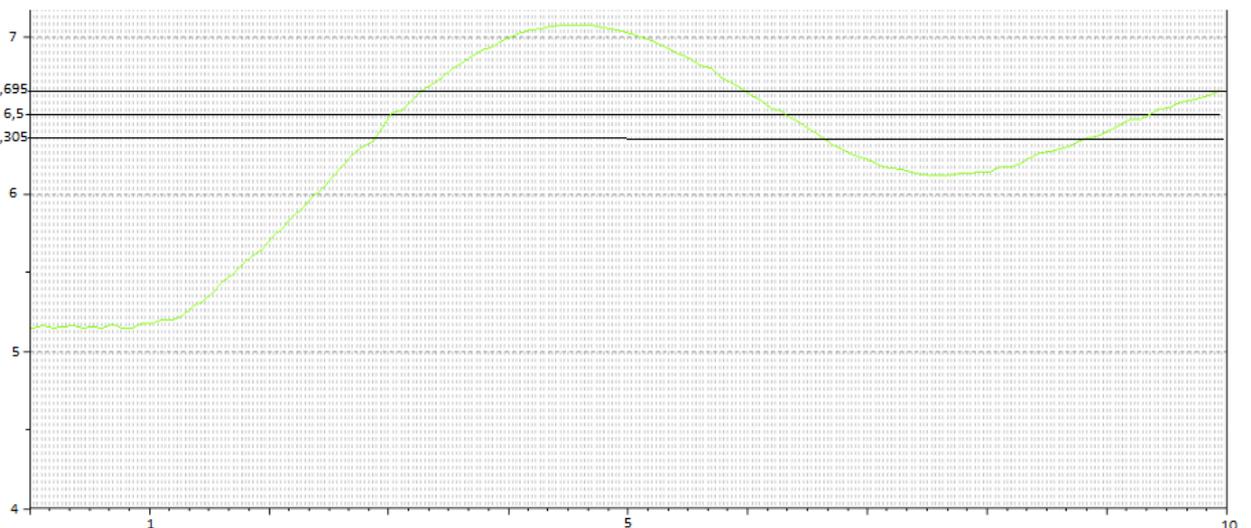


Рисунок 14 – Переходная характеристика системы с регулятором Смита при $K_p = 1, T_i = 7, K_d = 0.6$

Из рисунка 14 видно, что, если увеличить дифференциальную составляющую, то процесс остается устойчивым сходящимся аperiodическим. Однако время переходного процесса (t_p) возрастает и составляет 12 минут, а перерегулирование (σ) 11 %. При дальнейшем увеличении дифференциальной составляющей система переходит в неустойчивое состояние, по причине появления автоколебаний.

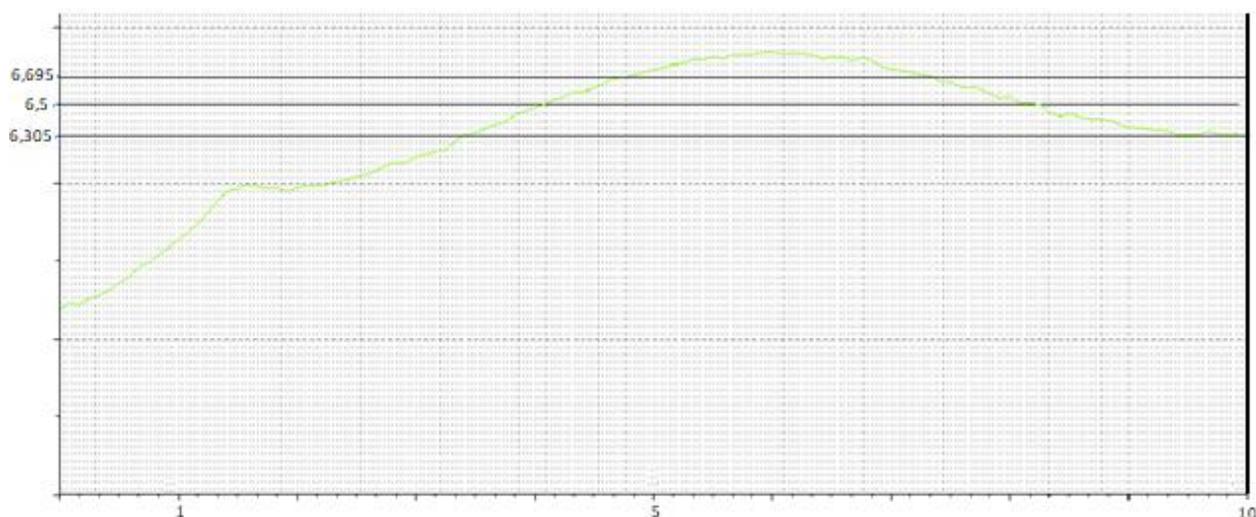


Рисунок 15 – Переходная характеристика системы с регулятором Смита при $K_p = 0.5, T_i = 7, K_d = 0.2$

По данным из рисунка 15 видно, что при уменьшении K_p время переходного процесса (t_p) уменьшилось и составляет 7 минут 30 секунд. Перерегулирование (σ) тоже уменьшилось и составляет 5%. Данные коэффициенты ПИД-регулятора являются самыми оптимальными.

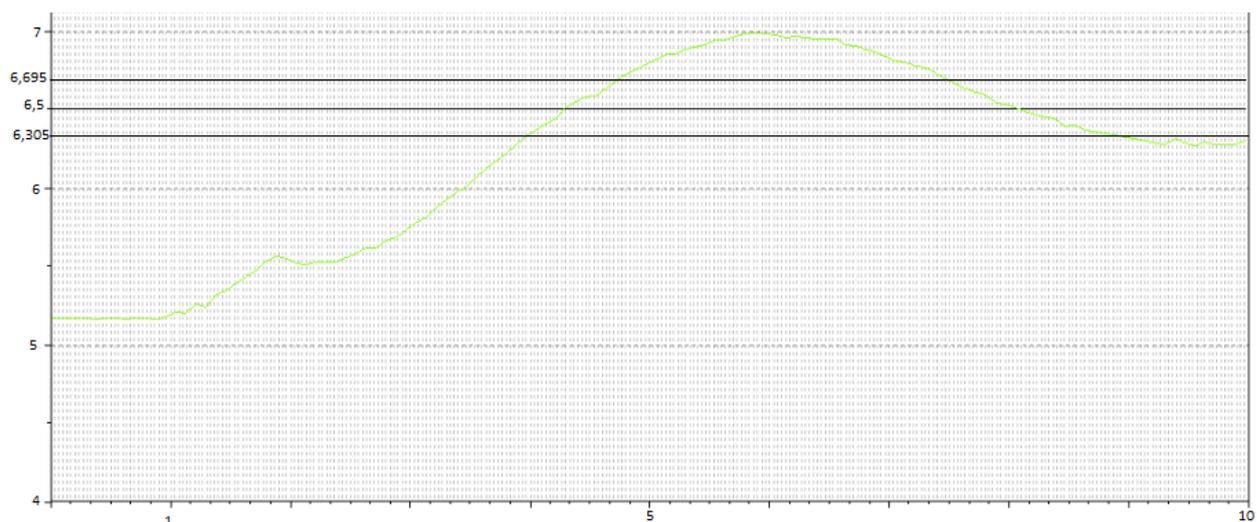


Рисунок 16 - Переходная характеристика системы с регулятором Смита при $K_p = 1, T_i = 7, K_d = 0.05$

Из рисунка 16 видно, что, если уменьшить дифференциальную составляющую, то процесс остается устойчивым сходящимся аperiodическим. Однако время переходного процесса (t_p) составляет 11 минут, а перерегулирование (σ) 8 %.

Таким образом, коэффициенты $K_p = 0.5, T_i = 7, K_d = 0.2$ являются наиболее оптимальными и обеспечивают высокое качество регулирования.

Проведём настройку ПИД-регулятора и проанализируем переходный процесс, изображённый на рисунке 17.

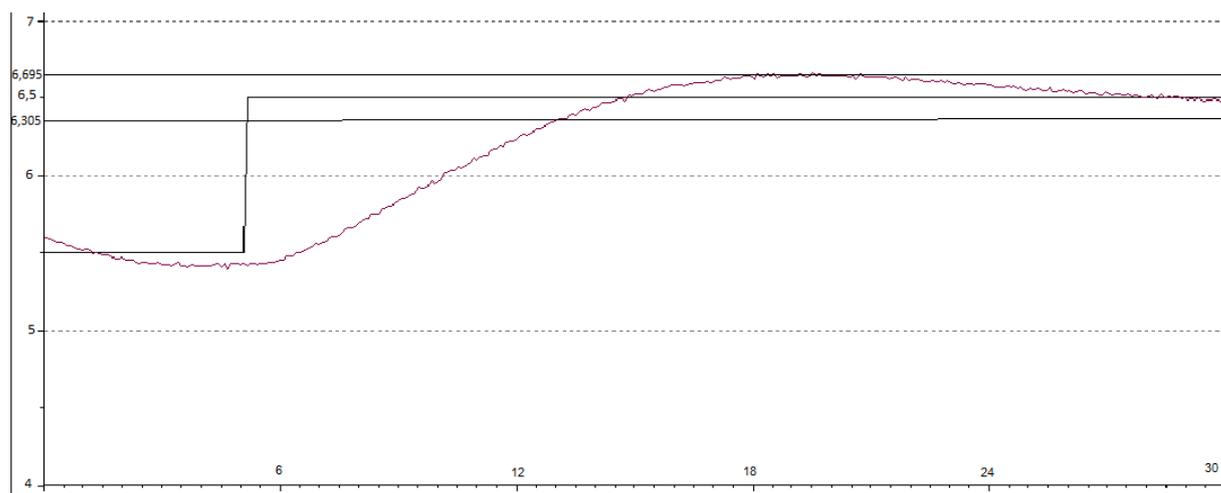


Рисунок 17 – ПИД-регулятор с коэффициентами $K_p = 1.3, T_i = 80, K_d = 0$

Исходя из результатов, при применении ПИД-регулятора с отключенной дифференциальной составляющей, получили переходный процесс, который имеет время регулирования 13 минут, а перерегулирование составило всего 3%.

Сравнивая результаты переходных процессов, полученных при использовании регулятора Смита и стандартного ПИД-регулятора, которые представлены на рисунке 15 и 17, получаем, что регулятор Смита обеспечивает большую точность и быстродействие процесса регулирования.

Для того, чтобы уменьшить время регулирования в системах, содержащих звено запаздывания, можно использовать регулятора Смита.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Данный раздел определяет оценки коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, а также планирование и формирование бюджета научных исследований, определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Научно-исследовательская работа направлена на разработку регулятора для системы автоматического регулирования уровня, которая содержит в себе звено чистого запаздывания.

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

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

Потенциальными потребителями результатов исследований являются производственные организации, в том числе предприятия, специализирующиеся на нефтегазовой отрасли, а также на атомной промышленности. Помимо

крупных организаций группу потребителей могут составлять мелкие компании, имеющие узкую производственную специализацию.

Таким образом сегментировать рынок по разработке регуляторов можно по следующим критериям: тип разрабатываемых регуляторов, размер компании-потребителя (рисунок 18).

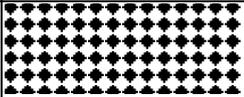
		Тип разрабатываемых регуляторов			
		Цифровой	Предсказывающий	Нечеткой логики	Типовые аналоговые
Размер компании	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				

Рисунок 18 – Карта сегментирования рынка по разработке регуляторов:

 ОВЕН  Метран  Теплоприбор

Согласно карте сегментирования, можно выделить 2 ниши, где уровень конкуренции низок: разработка прогнозирующих регуляторов, разработка регуляторов нечеткой логики. Однако второе направление не является перспективным, поэтому основные усилия необходимо направить на разработку прогнозирующих регуляторов.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной

эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Анализ приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок), где B_{ϕ} – разработанный регулятор, $B_{к1}$ – ООО «Элемер», $B_{к2}$ – ГК «Теплоприбор».

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	$B_{к1}$	$B_{к2}$	K_{ϕ}	$K_{к1}$	$K_{к2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Простота настройки	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
2. Удобство в эксплуатации	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
3. Уровень унификации	0,05	3	5	5	0,15	0,25	0,25
4. Функциональное исполнение системы	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
5. Качество управления	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
6. Потребность в ресурсах памяти	0,05	3	5	3	0,15	0,25	0,15
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,2
2. Уровень востребованности среди потребителей	0,1	0	4	4	0	0,4	0,4
3. Цена	0,15	5	3	2	0,75	0,45	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
5. Срок исполнения системы	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
Итого	1	44	46	42	4,1	4,05	3,7

Опираясь на полученные результаты, можно сделать вывод, что конкурентоспособность научной разработки выше, чем у конкурентов. Разработки других компаний проигрывают по цене, но выигрывают в уровни унификации. После выхода на рынок и представления потребителям своего продукта конкурентоспособность станет ещё выше, за счёт предложения лучшей цены для качественного и надежного продукта с быстрым сроком исполнения.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Итоговая матрица SWOT-анализа, полученная в результате реализации всех этапов исследования, приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Низкая стоимость. С2. Широкая область применения. С3. Прогнозирующий эффект С4. Квалифицированный научный труд	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Сложно подобрать точную модель объекта Сл2. Невысокое качество оборудования Сл3. Отсутствие клиентской базы Сл4. Отсутствие информации у потребителей о разработке
Возможности: В1. Использование инфраструктуры ТПУ для распространения предложенного проекта. В2. Получение финансирования для дальнейшего более глубокого исследования. В3. Возможность применить результаты исследования на других системах в университете. В5. Повышение стоимости конкурентных разработок	Низкая стоимость позволит увеличить объем финансирования. Обширная направленность позволит применить результаты на других системах, что может привести к более качественным результатам.	Возможность получения финансирования позволит использовать оборудование высокого качества. Использование инфраструктуры ТПУ позволит найти клиентов, проинформировать о продукте потребителей, а также получить опыт в подборе модели объекта.

Продолжение таблицы 5 – Итоговая матрица SWOT-анализа

Угрозы: У1. Увеличение конкуренции. У2. Нестабильность экономической ситуации в стране.	Низкая стоимость, квалифицированный труд и обширность применения улучшат конкурентную позицию. Также низкая стоимость сгладит экономический кризис, а прогнозирующий эффект и квалифицированный труд не позволят спросу уменьшиться.	Невысокое качество оборудования и сложность подбора модели объекта снижает заинтересованность рынка в продукте и уменьшает показатель конкурентоспособности.
--	--	--

Таким образом, сильные стороны проекта удовлетворяют его возможностям. Низкая стоимость, обширная область применения, а также квалифицированный научный труд позволяют использовать практически все возможности для развития исследований. Однако, слабые стороны проекта в сочетании с внешними угрозами ставят под вопрос будущее развитие проекта. Для их минимизации необходимо повысить качество используемого оборудования.

4.2 Планирование научных исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Комплекс предполагаемых работ планировался в следующей очередности:

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

Для реализации научной деятельности нужно собрать группу специалистов. В нее могут входить техники, преподаватели, научные сотрудники, инженеры, лаборанты. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Научная деятельность должна проводиться в соответствии со списком, в котором указываются все ее этапы в четкой последовательности. То, каким образом составляется проект поэтапной научной деятельности, а также каким

образом происходит распределение обязанностей среди специалистов, исполняющих задание, показано в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель, бакалавр
	3	Проведение патентных исследований	Научный руководитель, бакалавр
	4	Календарное планирование	Научный руководитель, бакалавр
Обзор системы	5	Изучение системы	Бакалавр
	6	Анализ системы	Бакалавр
	7	Тестирование работоспособности системы	Научный руководитель, бакалавр
Теоретическое исследование	8	Идентификация объекта управления	Научный руководитель, бакалавр
	9	Изучение материалов по настройке регуляторов	Бакалавр
	10	Расчет параметров регулятора	Бакалавр
	11	Моделирование системы в MATLAB	Бакалавр
Экспериментальное исследование	12	Написание программы в CoDeSys	Бакалавр
	13	Применение настроек регулятора	Бакалавр
	14	Вторичная настройка регулятора	Научный руководитель, бакалавр

Продолжение таблицы 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Обобщение и оценка результатов	15	Оценка качественных показателей системы	Научный руководитель, бакалавр
	16	Определение целесообразности проведения ОКР	Научный руководитель
Оформление отчета, по НИР	17	Оформление расчетно-пояснительной записки	Бакалавр

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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 $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (19)$$

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

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (20)$$

где T_{pi} – продолжительность 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.

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобной и наглядной формой представления графика проведения работ является ленточный график в форме диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (21)$$

где T_k – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_p – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (22)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году (365 дней);
 $T_{вых}$ – количество выходных дней в году;
 $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году. ($T_{вых} + T_{пр} = 66$, для шестидневной рабочей недели)

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 66} \approx 1,22 \quad (23)$$

Полученные данные сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работы						Длительность работы в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работы в календарных днях, T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
	Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр
Составление и утверждение технического задания	1	-	4	-	2,2	-	2,2	-	3	-
Подбор и изучение материалов по теме	6	6	9	9	7,2	7,2	3,6	3,6	5	5
Проведение патентных исследований	4	4	6	6	4,8	4,8	2,4	2,4	3	3
Календарное планирование	2	2	4	4	2,8	2,8	1,4	1,4	2	2
Изучение системы	-	8	-	10	-	8,8	-	8,8	-	11
Анализ системы	-	13	-	17	-	14,6	-	14,6	-	18
Тестирование работоспособности системы	4	4	6	6	4,8	4,8	2,4	2,4	3	3
Идентификация объекта управления	10	10	15	15	12	12	6	6	8	8
Изучение материалов по настройке регуляторов	-	3	-	6	-	4,2	-	4,2	-	6
Расчет параметров регулятора	-	1	-	3	-	1,8	-	1,8	-	3
Моделирование системы в MATLAB	-	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4
Написание программы в CoDeSys	-	13	-	15	-	13,8	-	13,8	-	17
Применение настроек регулятора	-	3	-	7	-	4,6	-	4,6	-	6

Продолжение таблицы 7 – Временные показатели проведения научного исследования

Вторичная настройка регулятора	5	5	9	9	6,6	6,6	3,3	3,3	4	4
Оценка качественных показателей системы	2	2	4	4	2,8	2,8	1,4	1,4	2	2
Определение целесообразности проведения ОКР	3	3	4	4	3,4	3,4	1,7	1,7	2	2
Оформление расчетно-пояснительной записки	-	5	-	7	-	5,8	-	5,8	7	7
Итого							24,4	78,6	39	101

На основе полученной таблицы строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ с разбивкой по месяцам и декадам. График работ приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Календарный план-график выполнения проекта

№	Вид работ	Исполнитель	T _{ki} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ															
				февр.		март			апрель			май							
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3					
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	3	█															
2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель, бакалавр	5	█	█														
3	Проведение патентных исследований	Научный руководитель, бакалавр	3		█	█													
4	Календарное планирование	Научный руководитель, бакалавр	2		█	█													
5	Изучение системы	Бакалавр	11			█	█	█											
6	Анализ системы	Бакалавр	18				█	█	█	█	█								

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (24)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

В таблице 9 сведены данные о материальных затратах на научное исследование.

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Контроллер ОВЕН ПЛК150-220.А-М	Шт.	1	17640	17640
Емкость (25 л)	Шт.	2	450	900
Датчик давления ПД100-ДИ	Шт.	1	3800	3800
Шланг резиновый (1 м)	Шт.	1	220	220
Насос с электроприводом	Шт.	1	3850	3850
Автоматический выключатель	Шт.	1	115	115
ОВЕН ПЧВ102-1К5-А	Шт.	1	14760	14760
Кран шаровой полнопроходной AR200-2	Шт.	1	3460	3460
Кнопка	Шт.	2	115	230
Труба пластиковая (5 м)	Шт.	2	245	490
Всего за материалы				45465
Транспортно-заготовительные расходы (3%)				1363,95
Итого				46828,95

4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

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

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, и дополнительную заработную плату:

$$Z_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (25)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20% от основной).

Основная заработная плата руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (26)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная зарплата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (27)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно- технического персонала, раб. дн.

Баланс рабочего времени приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (28)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2-0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Месячный должностной оклад работников Томского политехнического университета указан в «Таблице окладов ППС и НС» ТПУ.

Расчет основной платы представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет основной заработной платы

	$Z_{тс}$	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	33664	-	-	1,3	43763,2	1813,3	24,4	44244,52
Бакалавр	12664	-	-	1,3	16463,2	682,14	78,6	53616,2
Итого:								97860,72

4.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, 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:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (29)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, на стадии проектирования принимается равным 0,13.

Получим:

$$З_{\text{доп}} = 0,13 \cdot 44244,52 = 5751,8 \text{ руб. для НР};$$

$$З_{\text{доп}} = 0,13 \cdot 53616,2 = 6970,1 \text{ руб. для Б.}$$

Итоговая дополнительная заработная плата составляет 12721,9 рублей.

Заработная плата сотрудника без вычетов рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \quad (30)$$

тогда:

$$З_{\text{зп}} = 44244,52 + 5751,8 = 49996,32 \text{ руб. для НР};$$

$$З_{\text{зп}} = 53616,2 + 6970,1 = 60586,3 \text{ руб. для Б.}$$

Итоговая заработная плата с учетом дополнительной составляет 110582,62 рублей.

4.3.4 Отчисление во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (31)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году, водится пониженная ставка – 27,1%. Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (таблица 12).

Таблица 12 – расчет отчислений во внебюджетного фонды

Исполнитель	Основная ЗП, руб.	Дополнительная ЗП, руб.	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	$Z_{\text{внеб}}$, руб.
Научный руководитель	44244,52	5751,8	0,271	13549
Бакалавр	53616,2	6970,1	0,271	16418,9
Итого:				29967,9

Получили, что всего будет перечислено 29967,9 руб. во внебюджетные фонды.

4.3.5 Прочие прямые затраты

К данному виду затрат относятся затраты на электроэнергию. Для юридических лиц стоимость 1 кВт·ч составляет 5,8 рублей. При умеренном пользовании компьютер средней мощности потребляет 220 Вт в час в среднем, используемое оборудование потребляет в сумме 1,9 кВт в час. В день на работу затрачивается 3 часа, всего на работу с компьютером и оборудованием затрачивается 80 дней. Тогда затраты на электроэнергию составят:

$$Z_{\text{эН}} = 2,12 \cdot 80 \cdot 3 \cdot 5,8 = 2951,04 \text{ руб.}$$

4.3.6 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Накладные расходы определяются по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (32)$$

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

Получим:

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (97860,72 + 12721,9) = 17693,22 \text{ руб.}$$

4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

В качестве исполнения 2 вместо контроллера ОВЕН ПЛК150 используется ПЛК DVP-ES2 стоимостью 25800 рублей.

Определение бюджета затрат приведено в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет бюджета НТИ

Наименование статьи	Текущий проект, Сумма, руб.	Исп.2, Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	46828,95	55233,75
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	97860,72	97860,72
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	12721,9	12721,9
5. Отчисление во внебюджетные фонды	29967,9	29967,9

Продолжение таблицы 13 – Расчет бюджета НТИ

8. Прочие прямые затраты	2951,04	2951,04
9. Накладные расходы	17693,22	17693,22
10. Бюджет затрат НТИ	210023,73	218428,53

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

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, определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (33)$$

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.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}1} = \frac{210023,73}{218428,53} = 0,96$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}2} = \frac{218428,53}{218428,53} = 1$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (34)$$

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;

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 14).

Таблица 14 - Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии / Объект исследования	Весовой коэффициент	Текущий проект	Исп. 2
Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5
Удобство в эксплуатации	0,2	5	4
Энергосбережение	0,15	3	3
Быстродействие	0,25	3	4
Экономичность	0,3	5	3
Итого	1		

$$I_{p1} = 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,25 \cdot 3 + 0,3 \cdot 5 = 4,2$$

$$I_{p2} = 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 = 3,65$$

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

$$I_{испi} = \frac{I_{pi}}{I_{финрi}} \quad (35)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (36)$$

Результаты расчета показателей сведены в таблицу 15.

Таблица 15 – Сравнительная эффективность разработок

Показатель	Текущий проект	Исп. 2
Интегральный финансовый показатель	0,96	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,2	3,65
Интегральный показатель эффективности	4,375	3,65
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,198	

Исходя из полученных данных сравнения финансовой и ресурсной эффективности различных вариантов исполнения, несколько более эффективным является первый вариант исполнения.

5 Социальная ответственность

Выпускная квалификационная работа содержит исследование работы реального объекта, который располагается в отделении автоматизации и робототехники в одном из кабинетов корпуса №10 Томского Политехнического Университета. Рабочее место состоит из компьютера, специального оборудования системы регулирования уровня жидкости, стола и стула.

В разделе освещен комплекс мер организационного, правового, технического и режимного характера, которые минимизируют негативные последствия разработки регулятора для системы регулирования уровня, а также рассматриваются вопросы техники безопасности, охраны окружающей среды и пожарной профилактики, даются рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

Специфика и режим работы разработчика характеризуются значительным умственным напряжением, сильной нагрузкой на зрительный аппарат, неподвижностью и напряженностью в шейно-грудном и поясничном отделах позвоночника, что приводит к появлению усталости изменению функционального состояния центральной нервной системы, появлению болей в запястьях, локтевых суставах, кистях, пальцах рук и спине. При длительной работе за экраном монитора появляются болезненные ощущения в глазах и головная боль.

К вредным факторам, возникающим в кабинете, можно отнести: превышение уровня шума, недостаточную освещённость рабочей зоны, отклонение показателей микроклимата, электромагнитное излучение. Также разработчик подвергается опасности травмироваться электрическим током, что относится к опасным факторам.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Согласно Статьям 91 и 108 ТК РФ [14], регламентированное время продолжительности рабочего времени не должно превышать 40 часов в неделю, в течение рабочего дня работодатель обязан предоставить работнику перерыв для

отдыха и питания. Предоставляемое работнику время для отдыха и питания располагается во временном промежутке от 30 минут до 2 часов, в зависимости от работодателя. Требования к организации рабочих мест предъявляются следующие. Рабочее место должно быть организовано с учетом эргономических требований согласно ГОСТ 12.2.032-78 [15] и ГОСТ 12.2.061-81 [16]. Обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда возлагаются на работодателя и отражены в статье 212 ТК РФ [14].

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

При организации рабочего места необходимо учитывать требования безопасности, промышленной санитарии, эргономики, технической эстетики.

Невыполнение этих требований может привести к получению работником производственной травмы или развитию у него профессионального заболевания. Согласно требованиям [17, 15] при организации работы на ПЭВМ должны выполняться следующие условия:

- персональный компьютер (ПК), и соответственно рабочее место должно располагаться так, чтобы свет падал сбоку, лучше слева;
- расстояние от ПК до стен должно быть не менее 1 м, поэтому по возможности следует избегать расположения рабочего места в углах помещения либо лицом к стене;
- ПК лучше установить так, чтобы, подняв глаза от экрана, можно было увидеть какой-нибудь удаленный предмет в помещении или на улице. Перевод взгляда на дальнее расстояние является одним из наиболее эффективных способов разгрузки зрительного аппарата при работе на ПК;
- при наличии нескольких компьютеров расстояние между экраном одного монитора и задней стенкой другого должно быть не менее 2 м, а расстояние между боковыми стенками соседних мониторов – не менее 1,2 м;
- окна в помещениях с ПЭВМ должны быть оборудованы регулируемыми устройствами (жалюзи, занавески, внешние козырьки и т.д.);
- монитор, клавиатура и корпус компьютера должны находиться

прямо перед оператором; высота рабочего стола с клавиатурой должна составлять 680 – 800 мм над уровнем пола; а высота экрана (над полом) –900–1280см;

- монитор должен находиться от оператора на расстоянии 60 – 70 см на 20 градусов ниже уровня глаз;

- пространство для ног должно быть: высотой не менее 600 мм, шириной не менее 500 мм, глубиной не менее 450 мм. Должна быть предусмотрена подставка для ног работающего шириной не менее 300 мм с регулировкой угла наклона 0-20 градусов;

- рабочее кресло должно иметь мягкое сиденье и спинку, с регулировкой сиденья по высоте, с удобной опорой для поясницы;

- положение тела пользователя относительно монитора должно соответствовать направлению просмотра под прямым углом или под углом 75 градусов.

Правильная поза и положение рук оператора являются весьма важными для исключения нарушений в опорно-двигательном аппарате и возникновения синдрома постоянных нагрузок.

Кроме того, важнейшим условием эргономической безопасности человека при работе перед экраном монитора является правильный выбор визуальных параметров самого монитора и светотехнических условий рабочего места.

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

Согласно СанПиНу 2.2.2/2.4.1340-03 [17] при 8-ми часовой рабочей смене на ВДТ и ПЭВМ перерывы в работе должны составлять от 10 до 20 минут каждые два часа работы.

5.2 Производственная безопасность

В стандарте ГОСТ 12.0.003–2015 [18] рассматриваются вредные и опасные факторы, подразделяющиеся по природе действия на следующие группы [18]:

- Физические;
- Химические;
- Биологические;
- Психофизиологические.

Так как разработка регулятора ведется в кабинете при использовании персонального компьютера (далее ПК) и специального оборудования выделяют следующие вредные и опасные факторы (таблица 16).

Таблица 16 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по настройке регулятора Смита на объекте управления с запаздыванием.

Наименование работ (источник факторов)	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Работа с компьютером; 2. Включение и отключение электроприборов.	1. Отклонение показателей микроклимата; 2. Превышение уровня шума; 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 4. Умственное перенапряжение. 5. Электромагнитное излучение;	1. Электрический ток.	Микроклимат – СанПин 2.2.4.3359-16 [19]; Шумы – СанПин 2.2.4.3359-16 [19], СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [17]; Освещение – СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [17]; Умственное перенапряжение – ТОИ Р-45-084-01 [20]; Электромагнитные поля – СанПин 2.2.4.3359-16 [19]; Электробезопасность – ГОСТ 12.1.038-82 [21].

5.2.1 Отклонения показателей микроклимата

Существуют гигиенические требования СанПин 2.2.4.3359-16 [19] к показателям микроклимата рабочих мест производственных помещений с учетом интенсивности энергозатрат работающих, периодов года. Санитарные нормы и правила предназначены для предотвращения неблагоприятного воздействия микроклимата рабочих мест производственных помещений на самочувствие, функциональное состояние, работоспособность и здоровье человека.

Определим необходимые параметры микроклимата и воздушной среды для помещения.

Работа на стенде относится к категории работ Ia, к которой относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением. Оптимальные параметры микроклимата для этой категории работ приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Оптимальные параметры микроклимата по СанПин 2.2.4.3359-16 [19]

Сезон	Температура воздуха, t, °С	Температура поверхностей, t, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный (среднесуточная температура меньше 10°С)	(22 – 24)	(21 – 25)	(60 – 40)	0.1
Теплый (среднесуточная температура воздуха 10°С и выше)	(23 – 25)	(22 – 26)	(60 – 40)	0.1

Допустимые параметры микроклимата приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Допустимые параметры микроклимата по СанПин 2.2.4.3359-16 [19]

Сезон	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относ. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже опт.	Диапазон выше опт.			Диапазон выше опт.	Диапазон ниже опт.
Холодный	(20,0 – 21,9)	(24,1 – 25,0)	(19,0 – 26,0)	(15 – 75)	0,1	0,1
Теплый	(21,0 – 22,9)	(25,1 – 28,0)	(20,0 – 29,0)	(15 – 75)	0,1	0,2

Температура воздуха в рабочем помещении в холодное время года поддерживается в диапазоне от 21 до 23 °С, в теплое от 23 до 25 °С, что соответствует нормам. Влажность в соответствии с нормами колеблется около 60%.

При пребывании человека в оптимальных микроклиматических условиях сохраняется нормальное функционирование организма без напряжения механизмов терморегуляции. При этом ощущается тепловой комфорт, что приводит к высокому уровню работоспособности.

Для создания благоприятных условий проводятся такие мероприятия, как естественная вентиляция помещения, кондиционирование воздуха в теплый период и отопление в холодный период.

5.2.2 Повышенный уровень шума

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

Предельно допустимый уровень звука приведен в таблице 19.

Таблица 19 – Предельно допустимый уровень звука по СанПиН 2.2.4.3359-16 [19]

Рабочие места	Уровень звука, дБА
Учебные кабинеты, аудитории	80
Лаборатории при учебных заведениях	80

В соответствии с СанПин 2.2.4.3359-16 [19] и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [17] уровень шума на рабочем месте с ПЭВМ при выполнении основной работы не должен превышать 50 дБА.

Для снижения уровня шума применяют меры борьбы:

- Замена шумных процессов бесшумными или менее шумными;
- Улучшение качества изготовления и монтажа оборудования;
- Укрытие источников шума;
- Вывод работающих из сферы воздействия шума;
- Применение индивидуальных защитных средств.

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

5.2.3. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Правильное освещение рабочих мест является важным условием для создания безопасных и благоприятных условий труда.

Недостаточное освещение рабочего места и помещения является вредным фактором для здоровья человека, вызывающим ухудшение зрения. Неудовлетворительное освещение может, кроме того, являться причиной травматизма. Неправильная эксплуатация, также, как и ошибки, допущенные при проектировании и устройстве осветительных установок, могут привести к пожару, несчастным случаям. При таком освещении снижается производительность труда и увеличивается количество допускаемых ошибок.

В соответствии с и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [17] были выделены следующие требования к освещенности в помещениях и на рабочих местах:

1. В помещениях с искусственным освещением должно равномерным. В производственных с работой преимущественно с документами, допускается комбинированная система освещения (дополнительно используются светильники местного освещения для освещения зоны местоположения документов).

2. Для поддержания оптимальных условий труда необходимо ограничивать сильную прямую и отраженную блёскость от осветительных приборов, при этом яркость светящихся поверхностей должна быть не выше 200 кд/ кв. м.

3. Искусственное освещение рекомендуется создавать с помощью люминесцентных ламп типа ЛБ мощностью до 250 Вт. Для местного освещения разрешено использование ламп накаливания в светильниках.

4. Для поддержания оптимальных условий труда в помещениях с ПЭВМ необходимо проводить регулярную замену перегоревших ламп, а также мытьё стекол и очистку оконных проемов и осветительных приборов не менее двух раз в год.

В данном случае в помещении используется совмещенное освещение. При наличии 2 оконных проемов, на потолке над рабочими местами установлены лампы белого света ЛБ-20 в количестве 20 шт. Всё это позволяет работать не только в дневное время, при достаточном для работы естественном освещении, а также в сумеречное и темное время суток, используя равномерное искусственное освещение.

Таким образом, имеющихся ламп достаточно для соблюдения норм искусственной освещенности на рабочем месте согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [17] и удовлетворяет требованиям освещённости на рабочем столе.

5.2.4 Умственное перенапряжение

Организация работы с ПЭВМ осуществляется в зависимости от вида и категории трудовой деятельности.

Виды трудовой деятельности делятся на 3 группы: группа А-работа по считыванию информации с экрана ВДТ с предварительным запросом, группа Б-

работа по вводу информации, группа В-творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ.

Для видов деятельности устанавливается 3 категории тяжести и напряженности работы с ПЭВМ, которые определяются: для группы А-по суммарному числу считываемых знаков за рабочую смену, но не более 60 000 знаков за смену; для группы Б-по суммарному числу считываемых или вводимых знаков за рабочую смену, но не более 40 000 знаков за смену; для группы В по суммарному времени непосредственной работы с ПЭВМ за рабочую смену, но не более 6 ч. за смену.

В зависимости от категории трудовой деятельности и уровня нагрузки за рабочую смену при работе с ПЭВМ устанавливается суммарное время регламентированных перерывов. Категория работ по тяжести и напряженности по ТОО Р 45-084-01 представлена в таблице 20.

Таблица 20 – Категория работ по тяжести и напряженности по ТОО Р 45-084-01 [20]

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин	
	Группа А, кол-во знаков	Группа Б, кол-во знаков	Группа В, ч	При 8-ми часовой смене	При 12-ти часовой смене
Ш	До 60 000	До 40 000	До 6	90	140

При 8-ми часовой рабочей смене на ПЭВМ регламентированные перерывы следует устанавливать через 1,5 – 2 часа от начала рабочей смены и через 1,5 – 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 20 минут каждый или продолжительностью 15 минут через каждый час работы.

При 12-часовой смене регламентированные перерывы должны устанавливаться в первые 8 часов работы аналогично перерывам при 8-ми часовой рабочей смене, а в течение последних 4-х часов работы, независимо от категории и вида работ, каждый час продолжительностью 15 минут.

5.2.5 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Допустимые нормы электромагнитного излучения устанавливаются в СанПиН 2.2.4.3359-16 [19].

Источниками электромагнитного излучения являются электрические сигналы цепей при работе ЭВМ и оборудования АСУ ТП. Нарушения в организме человека при воздействии электромагнитных полей незначительных напряжений носят обратимый характер. При воздействии полей, имеющих напряженность выше предельно допустимого уровня, развиваются нарушения нервной, сердечно-сосудистой систем, органов пищеварения и некоторых биологических показателей крови. ЖК-дисплеи формируют изображение методом, принципиально отличающимся от ЭЛТ-мониторов. Поэтому проблем рентгеновского излучения и статического заряда на поверхности экрана у них просто не существует. Неионизирующие излучения, применительно к дисплеям, можно разделить на следующие классы:

- электростатические поля (только ЭЛТ);
- переменные электрические поля (5 Гц – 400 кГц);
- переменные магнитные поля (5 Гц – 400 кГц).

Последние разработки, в области производства LCD-дисплеев, позволяют значительно снизить уровень излучений и электромагнитных полей. Используемые дисплеи соответствуют стандарту ТСО'03, гарантируя диапазоны частот меньше 2,5 В/м, что удовлетворяет нормам.

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

- для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированные перерывы – при 8-часовом рабочем дне продолжительностью 15 минут через каждый час работы;
- дисплей устанавливается таким образом, чтобы от экрана до оператора было не менее 60 – 70 см;

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

5.2.6 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 ГОСТ 12.1.038-82 [21] предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов, воздействию которых человек может подвергаться в процессе работы с электрооборудованием, составляют для установок в нормативном режиме: для постоянного тока – не более 8,0 В и 1мА соответственно, для переменного тока (частота 50 Гц) – не более 2,0 В и 0,3 мА соответственно.

Датчики и работают от постоянного тока под напряжением (12 – 36) В. Для защиты от статического электричества корпуса датчиков заземляются. Исполнительные устройства и ПЛК вместе с дополнительным оборудованием (модули ввода/вывода, модуль связи и т.п.) питаются от промышленной сети (220 В, 50 Гц), что является источником повышенной опасности.

Все токоведущие части системы должны быть изолированы. Также необходима установка УЗО для предотвращения поражения током человека.

В соответствии с СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03 [17] помещения, где размещаются рабочие места с ПЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации электроустановок и вычислительной техники.

Соединяющие проводники электрооборудования изготавливают из медного провода сечением 1,5 мм², покрытым изоляционным слоем лака для защиты от окисления. Кроме того, обязательно должна быть предусмотрена возможность быстрого отключения напряжения с разделительного щита.

5.3 Экологическая безопасность

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

Утилизация люминесцентной лампы обязана обеспечиваться в соответствии со всеми пунктами закона о переработке и захоронении высокотоксичных отходов [22]. В противном случае при химическом взаимодействии с воздухом и почвой ртутные пары преобразуются в органические соединения, которые обладают более сильным отравляющим воздействием на все живые организмы.

Утилизация люминесцентных ламп предусматривает несколько технологических процессов, которые позволяют получить безопасные отходы для захоронения и сырье для дальнейшего использования:

- Стекло или колбы – готовы к вторичному применению.
- Алюминий и люминофор – смесь, содержащая ртуть.

Механизм переработки может проходить химическим или термическим методом, каждый из которых имеет несколько вариантов [22]:

- Амальгамирование происходит с участием неорганических материалов – меди, титана, цинка, золота и серебра. Процесс позволяет преобразовать ртуть в полутвердую амальгаму.
- Высокотемпературный обжиг, которому подвергаются отходы с содержанием ртути с целью нейтрализации токсических веществ, предусматривает обязательную очистку воздуха от токсичного пара.
- Утилизация ртутных ламп термическим методом позволяет собирать пары ртути и регенерировать ее в сырье для последующего использования

Наиболее действенным способом защиты окружающей среды, является замена на светодиодные лампы.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией при разработке регулятора является пожар.

В качестве противопожарных мероприятий должны быть применены следующие меры [23]:

- в помещении должны находиться средства тушения пожара, средства связи; электрическая проводка электрооборудования и осветительных приборов должна быть исправна;
- все сотрудники должны знать место нахождения средств пожаротушения и уметь ими воспользоваться, средств связи и номера экстренных служб.

В связи с возможностью возникновения пожара разработан следующий план действий:

- в случае возникновения пожара постараться устранить очаг возгорания имеющимися силами при помощи первичных средств пожаротушения (огнетушитель порошковый, углекислотный О-1П0 (з)- АВСЕ);
- привести в действие ручной пожарной извещатель, если очаг возгорания потушить не удастся;
- сообщить о возгорании в службу пожарной охраны по телефону 01 или 010, сообщить адрес, место и причину возникновения пожара;
- принять меры по эвакуации людей и материальных ценностей;
- встретить пожарную охрану, при необходимости сообщить всю необходимую информацию и оказать помощь при выборе наилучшего подхода к очагу возгорания.

В здании, где находится рабочее место, соблюдены требования пожаробезопасности, имеются средства пожаротушения.

5.5 Заключение

В ходе выполнения работы над разделом «Социальная ответственность» были выявлены опасные и вредные факторы, воздействию которых может подвергнуться человек, разрабатывающий регулятор. Среди этих факторов есть шум, уровень освещённости, показатели микроклимата, умственное перенапряжение, электромагнитное излучение и электрический ток, но их показатели не превышают допустимых значений. Был проведен анализ нормативной документации.

Основываясь на результатах проделанной работы, был предложен ряд мер, для исключения или уменьшения влияния опасных и вредных факторов на человека и окружающую среду. Таким образом, рабочее место разработчика регулятора соответствует нормативным требованиям по безопасности.

Заключение

При выполнении выпускной квалификационной работы были получены следующие результаты:

- проведена идентификация объекта, имеющего транспортное запаздывание, и получена его передаточная функция;
- был построен контур регулирования уровня жидкости с использованием предиктора Смита, проведены исследования методом моделирования в пакете MATLAB и экспериментальное исследование на реальном объекте;
- проведен сравнительный анализ показателей качества переходных процессов при использовании предиктора Смита и ПИД-регулятора;
- определены направления для дальнейших исследований.

Идентификация объекта управления была произведена по кривой разгона, с помощью которой были найдены основные динамические характеристики объекта управления для определения передаточной функции.

На основе полученных динамических характеристик и передаточной функции был реализован контур регулирования с предиктором Смита и контур с классическим ПИД-регулятором. Проведены исследования, с получением показателей качества переходного процесса, в пакете MATLAB Simulink и на реальном объекте.

По полученным показателям качества процесса можно сделать вывод, что время регулирования и перерегулирование у регулятора Смита меньше, чем у ПИД-регулятора. Однако эти показатели можно совершенствовать, изменяя модель объекта управления.

Классический ПИД-регулятор исчерпал свои возможности, поэтому интерес в настоящее время представляют регуляторы Смита, Ресвика, ППИ-регулятор.

Conclusion

When performing final qualifying work, the following results were obtained:

- identification of the object having a transport delay was carried out, and its transfer function was obtained;
- a fluid level control loop was constructed using the Smith predictor, studies were carried out using the simulation method in the MATLAB package, and experimental studies were performed on a real object;
- a comparative analysis of transient quality ratings using the Smith predictor and the PID controller was performed;
- identified areas for further research.

The control object was identified by the transient response, with which the main dynamic characteristics of the control object were found to determine the transfer function.

Based on the obtained dynamic characteristics and transfer function, a control loop with a Smith predictor and a circuit with a classical PID controller were implemented. Studies have been carried out to obtain quality ratings of the transition process in the MATLAB Simulink package and on a real object.

According to the obtained quality ratings of the process, it can be concluded that the settling time and overshoot at the Smith controller is less than that of the PID controller. However, these quality ratings can be improved by changing the model of the control object.

The classical PID controller has exhausted its capabilities, therefore the Smith controller, the Resvik controller, and PPI controller are currently of interest.

Список используемых источников

1. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. Пер. с польского М., «Машиностроение», 1974, 328 с.
2. Дралюк Б.Н., Синайский Г.В. Системы автоматического регулирования объектов с транспортным запаздыванием. М., «Энергия», 1969. – 72 с.
3. Автоматический контроль и регулирование в черной металлургии. Справочник. Климовицкий М.Д., Копелович А.П. Изд-во «Металлургия», 1967.
4. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления: учеб. пособие. – СПб.: Профессия, 2007. – 752с.
5. Фань Чун-вуй, Анализ качества и синтез систем автоматического регулирования с запаздыванием, Автомат.и телемех., 1958, том 19, выпуск 3, 197–207.
6. Методы классической и современной теории управления. Т.1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления / Подред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Учебник в 5-и тт. – М.: Изда-тельство МГТУ им. Н.Э. Баумана, – 2004. – 656 с.
7. Лепешкин А.В., Михайлин А.А., Шейпак А.А. Гидравлика и гидропневмопривод: учебник. – М.: МГИУ, 2003. – 352 с.
8. Настройка типовых регуляторов по методу Циглера–Никольса: метод. указания к выполнению лаб. работы для студентов, обучающихся по направлениям 210100 «Электроника и наноэлектроника» и 201000 «Биотехнические системы и технологии» / сост. О.С. Вадутов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 10 с.
9. Статья «Настройка ПИД-регулятора по кривой разгона объекта с самовыравниванием для максимального быстродействия с заданным перерегулированием при идентификации объекта моделью первого порядка с запаздыванием С.В. Стельмашук ВЕСТНИК ТОГУ. 2013. №2(29).

10. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 288 с.
11. Системы автоматического управления с запаздыванием: учеб. пособие / Ю.Ю. Громов, Н.А. Земской, А.В. Лагутин, О.Г. Иванова, В.М. Тютюнник. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 76 с.
12. Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК 150 [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: <https://www.owen.ru/product/plk150>, свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: 20.05.2019 г.
13. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования. – М.: СОЛОН – Пресс, 2004. – 256 с.
14. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ.
15. ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».
16. ГОСТ 12.2.061-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования к безопасности к рабочим местам».
17. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-0.3 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
18. ГОСТ 12.0.003-2015 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
19. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».
20. ТОИ Р-45-084-01 «Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере».
21. ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновений и токов».
22. Федеральный закон от 24 июня 1998 г. N 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».
23. ГОСТ Р 22.0.01-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения».