

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
Исследование влияния параметров широтно-импульсной модуляции на качественные показатели процесса регулирования расхода УДК <u>681.587.2:621.314.632</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т61	Чэнь Ян		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН УОД	Конотопский В.Ю.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД УОД	Федорчук Ю.М.	к.т.н., доктор		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2020 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

По направлению подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Демонстрировать базовые естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств. Уметь сочетать теорию, практику и методы для решения инженерных задач, и понимать область их применения
P2	Иметь осведомленность о передовом отечественном и зарубежном опыте в области теории, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств.
P3	Применять полученные знания для определения, формулирования и решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных систем автоматизации технологических процессов и производств с использованием передовых научно-технических знаний и достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
P4	Уметь выбирать и применять соответствующие аналитические методы и методы проектирования систем автоматизации технологических процессов и обосновывать экономическую целесообразность решений.
P5	Уметь находить необходимую литературу, базы данных и другие источники информации для автоматизации технологических процессов и производств.
P6	Уметь планировать и проводить эксперимент, интерпретировать данные и их использовать для ведения инновационной инженерной деятельности в области автоматизации технологических процессов и производств.
P7	Уметь выбирать и использовать подходящее программно – техническое оборудование, оснащение и инструменты для решения задач автоматизации технологических процессов и производств.
<i>Универсальные компетенции</i>	
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в международной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы с ответственностью за риски и работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области автоматизации технологических процессов и производств, 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 – 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
158Т61	Чэнь Ян

Тема работы:

Исследование влияния параметров широтно-импульсной модуляции на качественные показатели процесса регулирования расхода	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 162-14/с от 10.06.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	02.06.2020 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования является преобразователь ШИМ и влияние его параметров на качественные показатели процесса регулирования расхода
--	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Преобразование непрерывного сигнала в импульсный 2. Выбор технических средств для установки 3. Разработка алгоритма управления 4. Разработка программы 5. Создание мнемосхемы 6. Представление и анализ экспериментальных результатов
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Microsoft Visio 2013; Программное обеспечение CoDesys.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конопотский В. Ю.
Социальная ответственность	Федорчук Ю. М.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.02.2020 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158T61	Чэнь Ян		

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Уровень образования — бакалавр

Период выполнения _____ (осенний семестр 2019 /2020 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:	02.06.2020 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.06.2020	Основная часть	60
22.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
02.06.2020	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
158Т61	Чэнь Ян

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	АИКС
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	—
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Действующие ставки единого социального налога и НДС (см. МУ, ставка дисконтирования $i=0.1$)</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Оценка готовности полученного результата к выводу на целевые рынки, краткая характеристика этих рынков</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет величины НДС и цены результата ВКР</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Качественная и количественная характеристика экономического и др. видов эффекта от внедрения результата, определение эффективности внедрения</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ - выполнить</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ - выполнить</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.02.2020 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН УОД	Конотопский В.Ю.	к. э. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т61	Чэнь Ян		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
158Т61	Чэнь Ян

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	АИКС
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема дипломной работы:

«Исследование влияния параметров широтно-импульсной модуляции на качественные показатели процесса регулирования расхода»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Комплекс оборудования и программ для измерения и регулирования расхода жидкости.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов 1.2. Анализ выявленных опасных факторов	Вредные факторы: <ul style="list-style-type: none"> ● Отклонение показателей микроклимата в помещении; ● Превышение уровней шума; ● Повышенный уровень электромагнитных излучений; ● Освещенность; Опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"> ● Поражение электрическим током; ● Пожарная безопасность;
2. Экологическая безопасность: <ul style="list-style-type: none"> ● компоненты компьютера, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды; ● специальные комплексные методы утилизации компьютеров. 	токсичные вещества компьютера: <ul style="list-style-type: none"> ● свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему); ● ртуть(поражает мозг и нервную систему); ● никель и цинк (могут вызывать дерматит); ● щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу); метод утилизации компьютера: <ul style="list-style-type: none"> ● использовать услуги профессиональной компании по

	<p>рециклингу, которая может приехать и забрать все приборы, которые планируется сдать в переработку.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Можно обратиться в местный муниципалитет по вопросу переработки электроники.
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; ● разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; ● разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Рассмотрены 2 ситуации ЧС:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) природная – сильные морозы зимой; 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место, представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.
<p>4. Перечень нормативно-технической документации.</p>	<p>– ГОСТы, СанПиНы, СНИПы</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.02.2020 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД УОД	Федорчук Ю.М.	К. Т. Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т61	Чэнь Ян		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 118 с., 71 рисунка, 19 таблиц, 17 источников литературы, 5 приложения.

Ключевые слова: широтно-импульсная модуляция, форма пилообразного напряжения для ШИМ, амплитуда и период модулирующего напряжения, показатели качества переходного процесса, автоматизированная система регулирования.

Объектом исследования является преобразователь ШИМ и влияние его параметров на качественные показатели процесса регулирования расхода.

Целью работы является изучение возможностей и практическое применение ШИМ-преобразователей для задач регулирования, влияние параметров настройки преобразователей на показатели качества процесса регулирования.

В настоящей ВКР рассмотрены способы преобразования непрерывного выходного сигнала ПИД-регулятора в импульсный сигнал с помощью широтно-импульсного модулятора. Разработаны алгоритмы и программы регулирования, выполнены эксперименты на реальном объекте, позволяющие сделать выводы о влиянии параметров модулирующего напряжения ШИМ на качественные показатели переходного процесса.

Для выполнения данной работы были использованы следующие программные продукты:

- Текстовый редактор Microsoft Office 2016;
- Microsoft Visio 2013;
- Программное обеспечение CoDesys.

Содержание

Термины и определения.....	13
Обозначения и сокращения.....	15
Введение.....	16
1. Выбор способа регулирования расхода.....	17
2. Преобразование непрерывного сигнала в импульсный.....	22
2.1 ШИМ - преобразователь.....	22
2.2 Описание лабораторной установки.....	25
2.3 Показатели для оценки качества процесса регулирования.....	27
3. Выбор технических средств для установки.....	29
3.1. Выбор устройств.....	29
3.1.1 Выбор расходомера.....	29
3.1.2 Выбор исполнительного механизма.....	35
3.1.3 Выбор насоса.....	38
3.1.4 Выбор свободно программируемого микроконтроллера.....	39
3.2 Выбор программных средств.....	44
4. Разработка алгоритма управления.....	46
4.1 Алгоритм.....	46
4.2 Структурная схема.....	46
5. Практическая часть в программном обеспечении.....	49
5.1 Создание проекта, мнемосхемы и элементов.....	49
5.2 Разработка программы.....	49
5.2.1 Определение глобальных переменных для программы.....	49
5.2.2 Разработка программы для реализации функциональных блоков..	50
5.2.3 Создание основной программы.....	53
5.3 Создание и динамизация мнемосхемы.....	54

5.3.1	Создание мнемосхемы.....	54
5.3.2	Создание расходомера.....	54
5.3.3	Создание панелей кнопки.....	54
5.3.4	Создание трендов.....	54
5.4	Экспериментальные результаты.....	55
5.4.1	Влияние амплитуды ШИМ на качественные показатели регулирования.....	56
5.4.2	Влияние периода ШИМ на качественные показатели регулирования.....	60
5.4.3	Влияние формы пилообразного напряжения ШИМ на качественные показатели регулирования.....	64
6.	Заключение.....	73
7.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	74
7.1	Организация и планирование ОКР (НИР) работ.....	74
7.1.1	Определение продолжительности этапов работ.....	76
7.1.2	Расчёт накопления готовности работ.....	82
7.2	Расчёт сметы затрат на выполнение проекта.....	85
7.2.1	Расчет затрат на материалы.....	85
7.2.2	Расчет заработной платы.....	87
7.2.3	Расчет затрат на социальный налог.....	88
7.2.4	Расчет затрат на электроэнергию.....	88
7.2.5	Расчет амортизационных расходов.....	89
7.2.6	Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных).....	91
7.2.7	Расчет прочих расходов.....	91
7.2.8	Расчет общей себестоимости разработки.....	92
7.2.9	Расчет прибыли.....	92

7.2.10 Расчет НДС.....	92
7.2.11 Цена разработки ОКР (НИР).....	93
7.3 Определение срока окупаемости инвестиций (PP – payback period).....	93
8. Социальная ответственность.....	96
8.1 Производственная безопасность.....	96
8.1.1 Анализ выявленных вредных факторов.....	96
8.1.2 Анализ выявленных опасных факторов.....	103
8.2 Экологическая безопасность.....	107
8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	109
Список использованных источников.....	111
Приложение А. Объявленные переменные блока «consumption».....	113
Приложение Б. Листинг программы блока «consumption».....	114
Приложение В. Тренд переходного процесса.....	116
Приложение Г. Тренд ШИМ-преобразователя.....	117
Приложение Д. Тренд для представления состояния клапана.....	118

Термины и определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

автоматизированная система: Система, состоящая из персонала, комплекса средств автоматизации его деятельности и регламентов работы, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций;

объект управления: Обобщающий термин кибернетики и теории автоматического управления, обозначающий устройство или динамический процесс, управление поведением которого является целью создания системы автоматического управления;

автоматизированная система управления технологическим процессом: Группа решений технических и программных средств, предназначенных для автоматизации управления технологическим оборудованием на промышленных предприятиях. Может иметь связь с более общей автоматизированной системой управления предприятием (АСУП);

пид-регулятор: Устройство в управляющем контуре с обратной связью. Используется в системах автоматического управления для формирования управляющего сигнала с целью получения необходимых точности и качества переходного процесса. ПИД-регулятор формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трёх слагаемых, первое из которых пропорционально разности входного сигнала и сигнала обратной связи (сигнал рассогласования), второе — интеграл сигнала рассогласования, третье — производная сигнала рассогласования;

широтно-импульсная модуляция: Процесс управления мощностью методом пульсирующего включения и выключения прибора. Различают аналоговую ШИМ и цифровую ШИМ, двоичную (двухуровневую) ШИМ и троичную (трёхуровневую) ШИМ;

программируемый логический контроллер: Специальная разновидность электронной вычислительной машины. Чаще всего ПЛК

используют для автоматизации технологических процессов. В качестве основного режима работы ПЛК выступает его длительное автономное использование, зачастую в неблагоприятных условиях окружающей среды;

орс: Семейство программных технологий, предоставляющих единый интерфейс для управления объектами автоматизации и технологическими процессами;

функциональная схема автоматизации: Основной техникий документ, определяющий функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации.

Обозначения и сокращения

В данной работе применены следующие сокращения:

АСРР – автоматизированная система регулирования расхода;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

ШИМ – широтно-импульсная модуляция;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ОУ – объект управления;

ПО – программное обеспечение.

Введение

Автоматизация — одно из направлений научно-технического прогресса, использующее саморегулирующие технические средства и математические методы с целью освобождения человека от участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов, изделий или информации, либо существенного уменьшения степени этого участия или трудоёмкости выполняемых операций.

Техническим процессом является упорядоченная последовательность взаимосвязанных действий, выполняющихся с момента возникновения исходных данных до получения требуемого результата.

Регулирование расхода — технический процесс, который осуществляет автоматическое регулирование расхода жидкости с помощью АСУ.

Необходимость регулирования расхода возникает при автоматизации многих инженерных систем. Например, в транспортировке нефти и нефтепродуктов с помощью нефтепроводов.

Целью исследований в области автоматизации является достижение технико-экономических показателей посредством управления процессом в соответствии с определенным периодом или процедурой, улучшения использования ресурсов и производительности труда, а также совершенствования процессов производства труда.

Для этого нужно осуществляться оптимизация системы управления путём исследования качественных параметров процесса автоматического регулирования.

Целью данной работы является исследование влияния параметров ШИМ на качественные показатели процесса регулирования расхода.

Актуальность данной темы не может подвергаться сомнению, так как это может решить улучшить процесс регулирования, добиться оптимизации системы автоматического управления за счёт программы, разработанной в среде CoDesys и удобного и информативного интерфейса SCADA системы и эффективных алгоритмов регулирования технологических параметров.

1. Выбор способа регулирования расхода

Представить технологический процесс без средств автоматизации в настоящее время практически невозможно. Объём средств автоматизации и их исполнение напрямую зависит от технологического процесса, от его размеров, значимости, использования взрыво- и пожароопасных веществ в процессе функционирования, а также от финансового положения владельца этого процесса или установки. Но в любом случае, если процесс эксплуатируется, значить объём средств автоматизации используемый для управления им достаточен. Этот объём регулируется нормативными документами и прописывается в регламенте на процесс или установку. При этом одинаковые задачи могут решаться различными способами, но если они обеспечивают достижение требуемого результата, то нет никаких ограничений на их применение.

В качестве примера рассмотрим довольно распространённую задачу регулирования расхода жидкости в трубопроводе. Процесс измерения расхода и его регулирования может осуществлять самыми различными способами. Если рассмотреть технические средства для измерения расхода, то окажется что эту задачу можно решить десятком различных способов, которые будут отличаться точностью измерения, стоимостью технических средств и др. показателями. Практика показывает, что стоимость определяется в основном принципом действия, заложенным в прибор. Примером таких расходомеров могут быть кориолисовые расходомеры, стоимость которых может быть в десятки раз выше чем, например, расходомеров постоянного перепада (ротаметров), при этом их точность может быть сопоставима, или незначительно отличаться.

Регулирование расхода жидкости через поперечное сечение трубопровода тоже может решаться различными способами, некоторые из которых будут рассмотрены ниже.

Способ 1. Непрерывное регулирование расхода

Функциональная схема регулирования представлена на рисунке 1.1. В зависимости от взаимного расположения датчика F расхода и регулирующего

органа РО. Если РО расположен перед расходомером, то способ регулирования называется «до себя», если после – «после себя». И первый и второй способы широко используются.

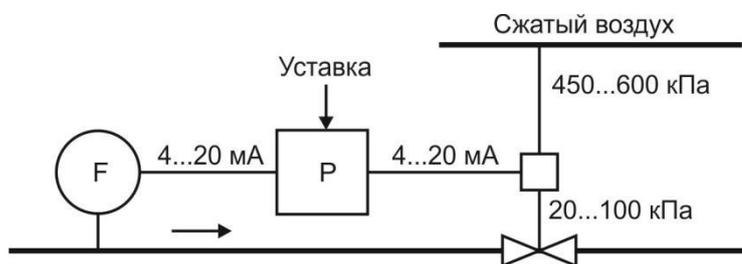


Рисунок 1.1 – Функциональная схема регулирования

Типовая схема, реализующая данный способ выглядит следующим образом. Расходомер, установленный непосредственно трубопровод, преобразует текущий расход в сигнал (4 – 20) мА, который подаётся на регулятор и используется в качестве входного сигнала. Сигнал уставки регулятора задаётся из вне. Регулятор, в зависимости от величины рассогласования, формирует непрерывный управляющий сигнал, который чаще всего равен (4 – 20) мА. Этот сигнал поступает на исполнительный механизм регулирующего клапана, где преобразуется в пневматический сигнал (20 – 100) кПа и используется для перемещения штока регулирующего органа. Схема контура регулирования, реализующая этот метод, приведена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Схема контура регулирования

ЭПП – электропневматический преобразователь; МИМ – мембранный исполнительный механизм

В более дорогих версиях регулирующих клапанов может использоваться позиционер, устройство, выполняющее обратную связь по положению штока регулирующего органа (рисунок 1.3).

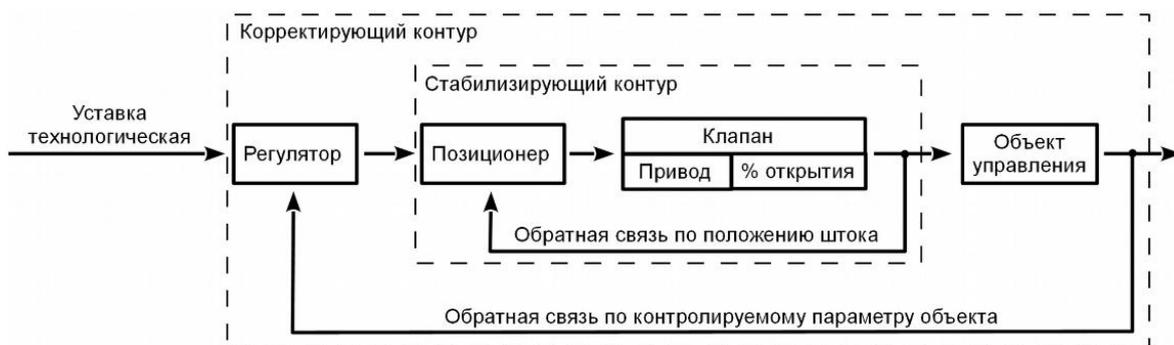


Рисунок 1.3—Схема контура регулирования с позиционером

К достоинствам способа стоит отнести высокую точность регулирования. К недостаткам стоит отнести необходимость дополнительного питания в виде сжатого воздуха, необходимого качества и давления и традиционно высокую стоимость подобных регулирующих устройств.

Вариант 2. Непрерывное регулирование расхода с использованием ПЧВ

Данный вариант регулирования расхода имеет небольшую историю применения, которая объясняется высокой стоимостью до недавнего времени частотных преобразователей. В последние годы их стоимость существенно снизилась, что способствовало широкому внедрению данного способа в практику. Функциональная схема регулирования представлена на рисунке 1.4.

Структура контура регулирования, реализующая этот метод, представлена на рисунке 1.5. Она полностью аналогична схеме, представленной на рисунке 1.2, за исключением того что функцию электропневматического преобразователя выполняет преобразователь частоты, который преобразует входной управляющий сигнал (4 – 20) мА в сигнал напряжения переменного тока с частотой (0 – 50) Гц, управляющий насосом, регулируя его производительность.

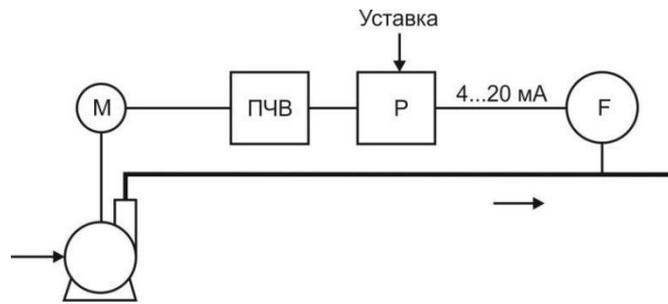


Рисунок 1.4—Функциональная схема регулирования с ПЧВ



Рисунок 1.5—Структура контура регулирования с ПЧВ

Достоинства метода заключаются в логичном использовании ПЧВ в случае, если напор в трубопроводе создаётся насосом, если напор создаётся другим способом, например, передавливанием, то данный метод неприменим.

Вариант 3. Регулирование расхода с использованием импульсного исполнительного механизма

Данный вариант регулирования расхода широко применяется в случае, когда используется клапан с электроприводом, управление которым выполняется в режиме «больше/меньше» (рисунок 1.6). С одной стороны это очень удобно и не дорого, с другой стороны требует специальных технических или программных средств, позволяющих поддерживать регулирующий режим.

Структура контура регулирования представлена на рисунке 1.7.

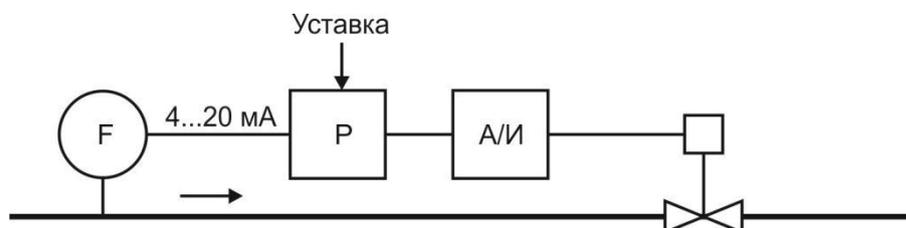


Рисунок 1.6—Функциональная схема регулирования расхода с импульсным исполнительным устройством



Рисунок 1.7— Структура контура регулирования с использованием импульсного исполнительного механизма

Преобразование аналогового сигнала с регулятора выполняет специальный преобразователь А/И (аналоговый/импульсный). Это преобразование обычно выполняется программными средствами устройства, реализующего регулятор. Существует целая серия локальных регуляторов, например, компании Овен, с импульсным выходом. В составе программного обеспечения многих контроллеров имеются готовые алгоритмические (функциональные) блоки реализующие такое преобразование. Но в том и другом случае оценить качество их работы достаточно сложно, ввиду того что внутреннее содержание производитель не раскрывает. В контроллерах со свободным программированием пользователь самостоятельно разрабатывает этот алгоритм, который серьёзно влияет на качество регулирования и не всегда является оптимальным.

Из трёх рассмотренных способов каждый имеет свои достоинства и свои недостатки. Но если за основу оценивания взять критерий цена/качество, то для небольших бюджетных систем наиболее предпочтительным будет вариант № 3.

2. Преобразование непрерывного сигнала в импульсный

Для того чтобы ограничить класс устройств, для которых в настоящей ВКР исследуется преобразователь, дадим определение устройствам с импульсным управлением или просто импульсным устройствам.

Под импульсными будем понимать устройства, управление которыми основано на работе переключающих элементов и моментами включения и выключения этих элементов. Существует достаточное количество законов управления, в том числе с амплитудной, фазовой, широтной и частотной модуляцией, обеспечивающих эффективную работу таких устройств.

Для управления импульсными устройствами наибольшее распространение получил закон управления с широтно-импульсной модуляцией – ШИМ-преобразователь.

2.1 ШИМ - преобразователь

Широтно-импульсный модулятор (ШИМ) это преобразователь, который генерирует выходную последовательность импульсов со скважностью, пропорциональной уровню сигнала на его входе.

ШИМ-сигнал генерируется аналоговым компаратором K (рисунок 2.1), на инверсный вход которого подаётся вспомогательный опорный пилообразный или треугольный сигнал U_n , значительно большей частоты, чем частота модулирующего сигнала U_m , который подаётся на прямой вход этого компаратора.

Частота повторения выходных импульсов ШИМ $U_{вых}$ равна частоте пилообразного или треугольного напряжения ($f=1/T$). В ту часть периода пилообразного напряжения, когда сигнал на инвертирующем входе компаратора выше модулирующего сигнала на прямом входе, на выходе отрицательное (нулевое) напряжение, в другую часть периода, когда сигнал на инвертирующем входе компаратора ниже сигнала на прямом входе — положительное напряжение.

В результате преобразования на выходе компаратора образуются периодические прямоугольные импульсы переменной шириной, скважность

которых изменяется по закону модулирующего сигнала, а частота равна частоте опорного сигнала.

ШИМ преобразование широко используется в системах регулирования, в которых используются исполнительные механизмы с импульсным управлением типа МЭО (механизм электрический однооборотный) для поворота регулирующего органа на определённый градус, или с исполнительными механизмами типа МЭМ (механизм электрический многооборотный), для перемещения штока регулирующего органа на определённое расстояние. Другое название многооборотных электрических механизмов МЭП - механизм электрический прямоходный.

Следует помнить, что любой исполнительный механизм, и МЭО и МЭМ, имеет возможность перемещать регулирующий орган в двух направлениях. Например, если регулирующий орган - клапан, установленный на трубопроводе, то открывать его и закрывать, перемещая или поворачивая рабочий орган. Изменение направления движения рабочего органа достигается изменением коммутации цепей управления исполнительного механизма. Поэтому представленный на рисунке 2.1 принцип действия ШИМ-преобразователя является лишь примером преобразования аналогового сигнала в импульсный со скважностью, пропорциональной величине аналогового сигнала.

В промышленных исполнительных механизмах в качестве привода, как правило, используется трёхфазный электрический двигатель, изменение направления вращения в котором достигается за счет изменения чередования фаз питающего напряжения (рисунок 2.2). Отсутствие блокирующего контакта в схеме управления (самоподхвата) гарантирует работу двигателя в том или ином направлении в соответствии с длительностью импульса управления.

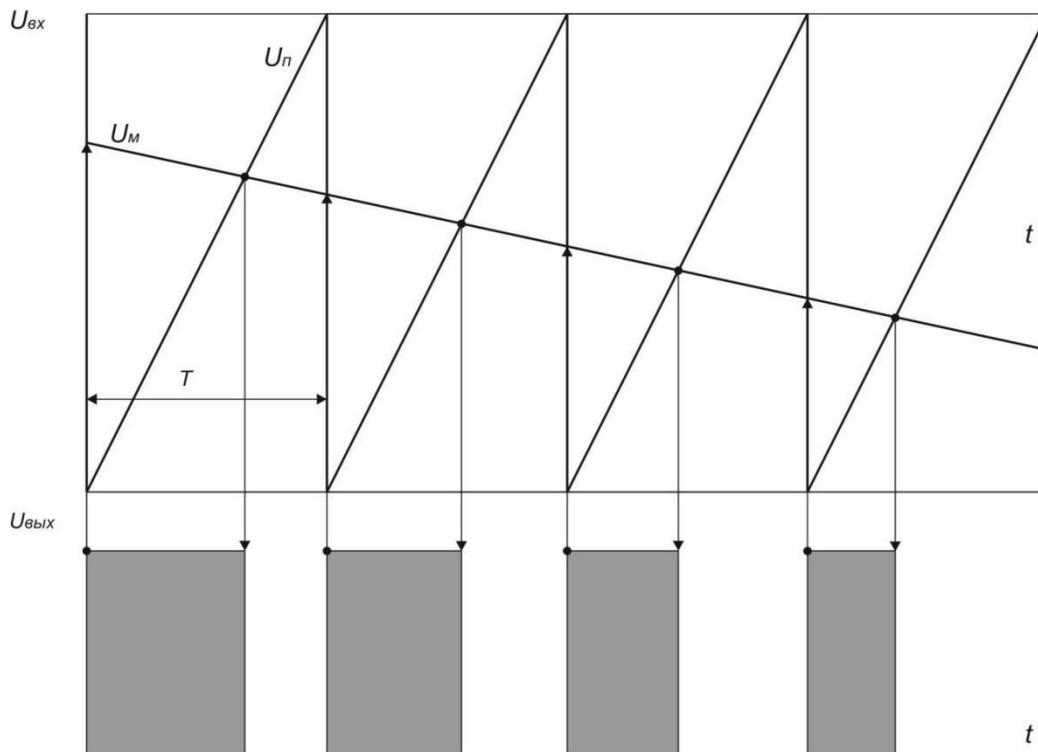
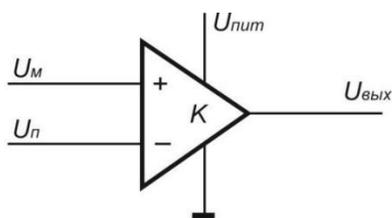


Рисунок 2.1 – Принцип действия широтно-импульсного модулятора на базе компаратора

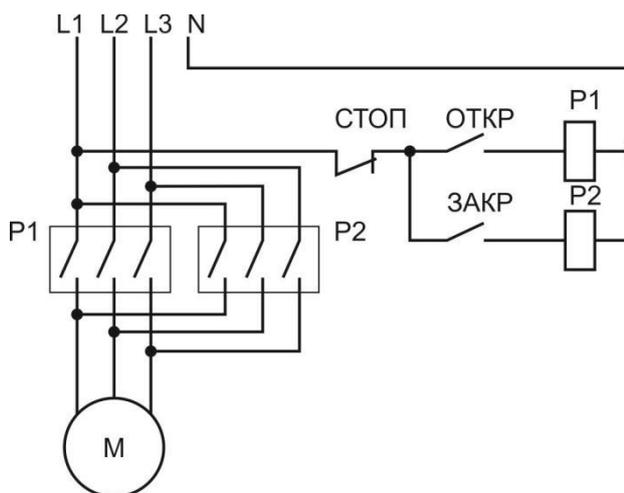


Рисунок 2.2 – Реверсное импульсное управление трёхфазным электрическим двигателем

2.2 Описание лабораторной установки

Для исследования ШИМ – преобразователя была разработана лабораторная установка для регулирования расхода жидкости с помощью импульсного исполнительного механизма. На рисунке 2.3 представлена функциональная схема системы регулирования расхода жидкости.

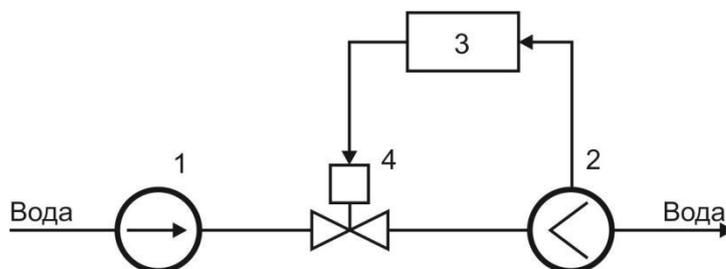


Рисунок 2.3 - Функциональная схема системы регулирования

Вода из емкости насосом (1) с постоянной производительностью прокачивается через трубопровод. Изменение производительности насоса возможно с помощью частотного преобразователя, к которому он подключен. Расход воды измеряется ультразвуковым расходомером Otrato (2) (диапазон измерения (0 – 5) л/мин). Выходной сигнал расходомера (4 – 20) мА подаётся на аналоговый вход контроллера (3). В соответствии с уставкой регулирования контроллер формирует сигналы открыть/закрыть на электрический исполнительный механизм (4), который перемещает регулирующий орган, изменяя сечение трубопровода. В результате изменения сечения изменяется расход воды.

Структурная схема контура регулирования расхода жидкости, представлена на рисунке 2.4.

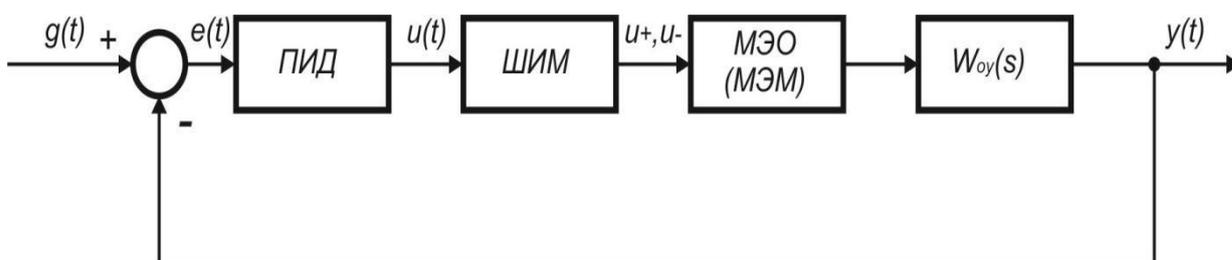


Рисунок 2.4 – Структура системы регулирования расхода

На рисунке используются следующие обозначения:

$y(t)$ – регулируемая величина;

$g(t)$ – уставка регулирования;

$e(t) = g(t) - y(t)$ – ошибка регулирования;

$u(t)$ – управляющее воздействие, формируемое ПИД-регулятором;

u_+ – управляющее воздействие «открыть», формируемое ШИМ-преобразователем;

u_- – управляющее воздействие «закрыть», формируемое ШИМ-преобразователем.

Для настройки ШИМ-преобразователя необходимо формализовать условия формирования сигнала, а именно:

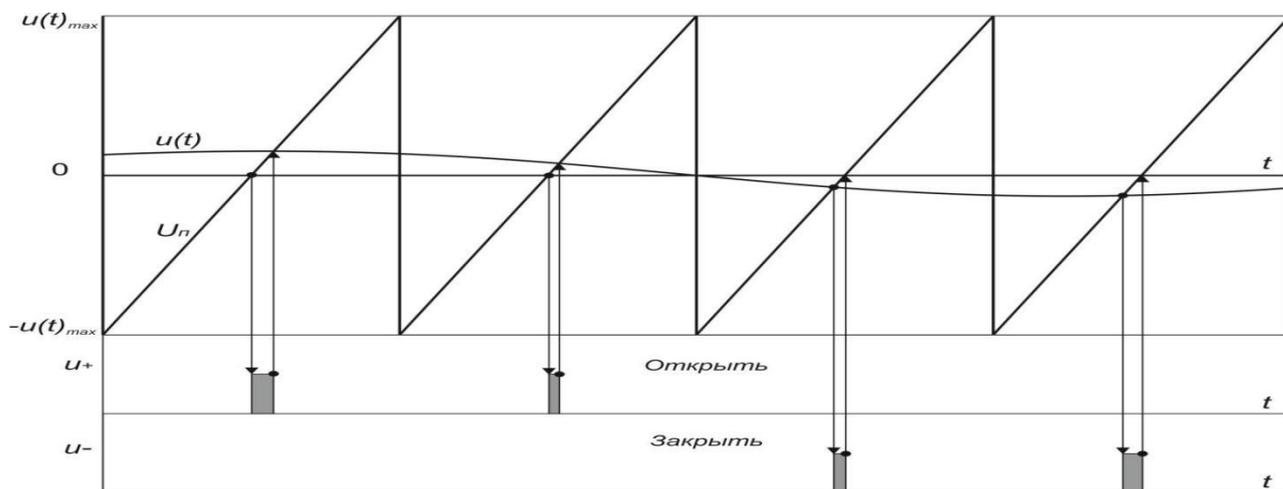
- направление движения исполнительного механизма;
- длительность сигнала управления.

На этапе исследования ШИМ-преобразователя ПИД-регулятор может быть исключен из системы или коэффициенты его должны быть выбраны такими, чтобы не оказывать влияния на работу ШИМ-преобразователя.

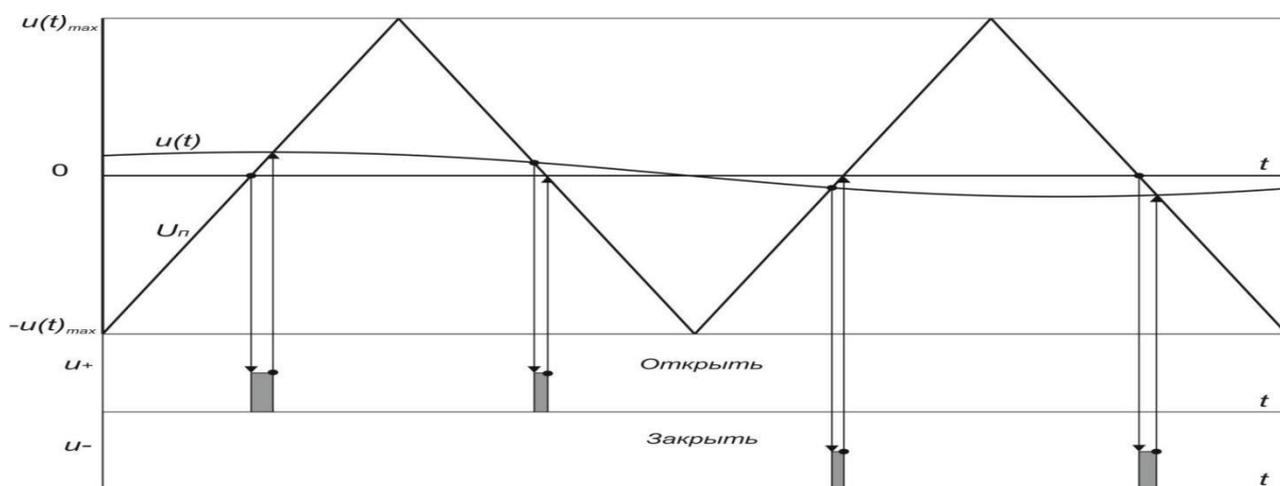
На рисунке 2.5 представлены варианты формирования сигналов открыть/закрыть для различных видов опорного пилообразного напряжения.

В связи с выше изложенным задача настоящей ВКР сводится к следующему. Исследовать влияние параметров ШИМ на качественные показатели процесса регулирования, а именно:

- формы модулирующего напряжения;
- амплитуды модулирующего напряжения;
- периода модулирующего напряжения.



А)



Б)

Рисунок 2.5 – Формирование сигналов открыть/закрыть с помощью ШИМ

2.3 Показатели для оценки качества процесса регулирования

Оценка качества переходного процесса выполняется по прямым показателями качества, которые переделаются непосредственно по переходному процессу. Таких показателей достаточно много, но в данном случае ограничимся тремя: перерегулированием δ и временем регулирования t_p и ошибка $u(t)$.

Перерегулированием δ это отношение разности максимального выбега переходного процесса и установившегося значения к установившемуся значению, выраженное в процентах.

Время регулирования t_p это время от начала до момента, когда колебания переходного процесса перестают превышать 5 %.

Ошибка $u(t)$ это отклонение реального значения от желаемого, когда колебания переходного процесса перестают превышать 5 %.

3. Выбор технических средств для установки

3.1. Выбор устройств

В п. 2.2 приведено описание установки для исследований, рассмотрим выбор технических средств для её реализации.

Основные элементы установки (см. рисунок 2.3):

- расходомер;
- импульсный исполнительный механизм;
- насос с частотным управлением;
- свободно программируемый микроконтроллер, реализующий функции

ПИД-регулятора и ШИМ - преобразователя.

3.1.1 Выбор расходомера

Расходомер — прибор, измеряющий объёмный расход или массовый расход вещества, то есть количество вещества (объём, масса), проходящее через данное сечение потока, например, сечение трубопровода в единицу времени. Если прибор имеет интегрирующее устройство (счётчик) и служит для одновременного измерения и количества вещества, то его называют счётчиком-расходомером. Для измерения расхода в настоящее время существует много способов, которые отличаются способом, точностью, ценой и т.д. Даже расходомеры, реализующие один способ измерения, но разных производителей, могут кратно отличаться в цене.

Для измерения таких сред, как водопроводная вода широко используются ультразвуковые расходомеры.

Для контроля расхода и учёта воды и теплоносителя в промышленности применяются ультразвуковые (акустические) расходомеры. Неоспоримые достоинства ультразвуковых расходомеров: малое или полное отсутствие гидравлического сопротивления, надёжность (так как нет подвижных механических элементов), высокая точность, быстроедействие, помехозащищённость – определили их широкое распространение.

Структурная схема ультразвукового расходомера представлена на рисунке 3.1.

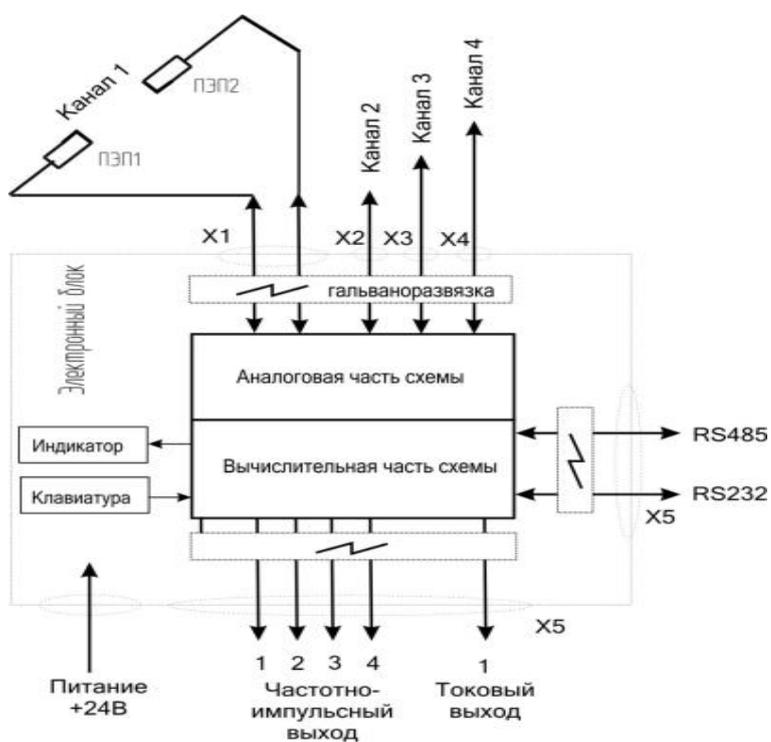


Рисунок 3.1—Структурная схема ультразвукового расходомера [8]

Первичные электронные преобразователи (ПЭП) 1 и 2, работающие попеременно в режиме приемник-излучатель, связаны высокочастотным кабелем РК-50 с электронным блоком ЭБ. Электронный блок обеспечивает посылку возбуждающих импульсов на пьезопреобразователь (рисунок 3.2), работающий в режиме излучателя, и прием (усиление и детектирование) слабых сигналов от пьезопреобразователя, работающего в режиме приемника.

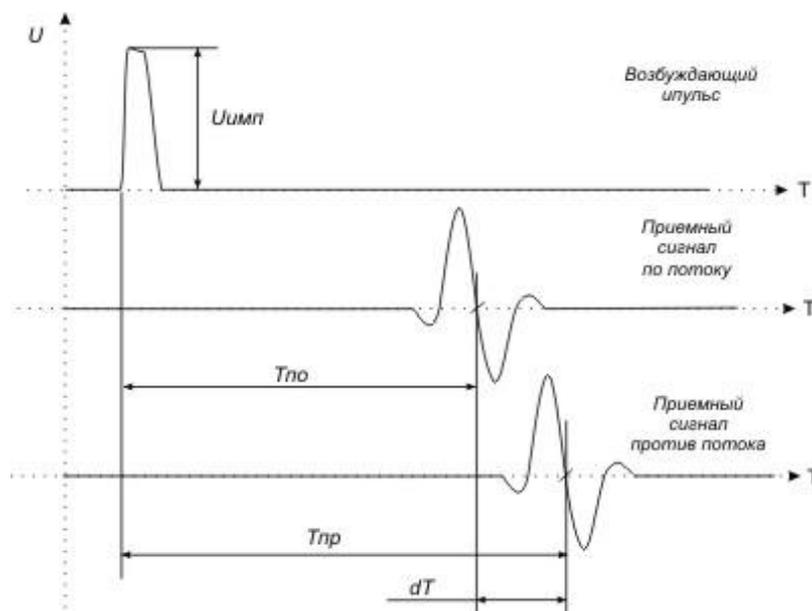


Рисунок 3.2—Временная диаграмма ультразвуковых сигналов расходомера [8]

При движении жидкости в трубопроводе происходит отклонение ультразвуковой волны, которое приводит к изменению времени распространения ультразвукового сигнала (далее – УЗС): по потоку жидкости (от ПЭП 1 к ПЭП 2) время прохождения уменьшается, а против потока (от ПЭП 2 к ПЭП 1) – возрастает. Разность времен прохождения УЗС через жидкость по и против потока пропорциональна скорости потока V . Произведение скорости потока и сечения трубопровода S , через который он проходит, прямопропорционально объемному расходу

$$F=V*S [м^3/час].$$

По полученным сигналам с пьезопреобразователей рассчитываются: времена прохождения сигнала от ПЭП 1 до ПЭП 2, расход, накопленный объем жидкости, и значение частоты выходного сигнала, пропорционального расходу. Вычисленные таким образом параметры, пропорциональные расходу, объему и времени подаются на текстовый дисплей для отображения. На рисунке 3.3 представлен принцип действия и схема установки ультразвукового расходомера.

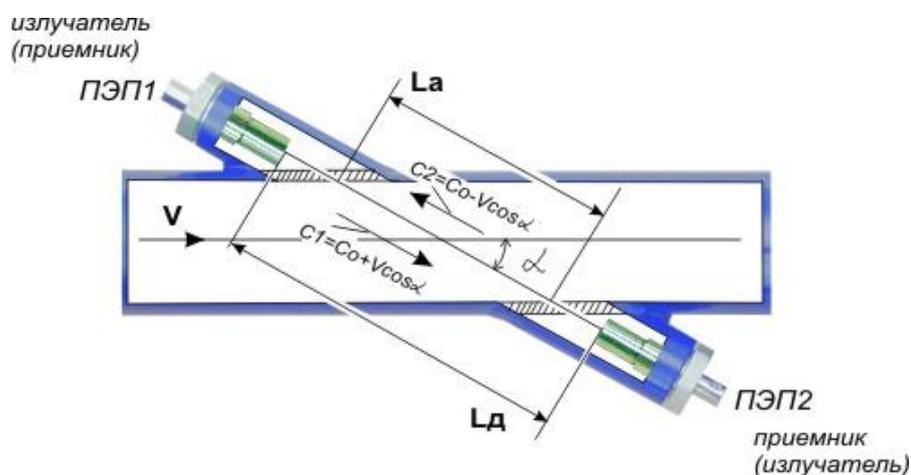


Рисунок 3.3 — Принципа действия и схема установки ультразвукового расходомера [8]

В настоящей ВКР принято использовать ультразвуковой расходомер DMTFC компании DynaMeters.

Расходомер DMTFC снабжён врезными датчиками, которые обеспечивают возможности надежного, точного и быстрого замера

технологических параметров потока жидкости внутри трубопровода неразрушающим ультразвуковым методом. Внешний



Рисунок 3.4— Внешний вид ультразвукового расходомера DMTFC

В расходомере - счетчике DMTFC реализованы передовые достижения в области цифровой обработки УЗ сигналов.

Для ультразвуковых расходомеров DMTFC компания производитель удобной пользовательский интерфейс, что существенно облегчает работу пользователя..

Особенности расходомера [9]:

- Приятное цено-качественное соотношение;
- Высокая точность расходомера, погрешность не превышает 1 %;
- Диапазон значений скорости потока: ± 12 м/сек;
- Диапазон диаметров трубопроводов: (65 – 4570) мм;
- Для всех известных материалов изготовления систем трубопроводов;
- Взрывозащищенная модификация расходомера ExdIIВТ6;
- Самоадаптирующаяся технология автонастройки датчика на материал изготовления труб;
- Скорость потока, расход жидкости, счетчик суммарного расхода;

- Выходы: (4 – 20) мА, импульсный (скорость потока и расход жидкости), реле;
- Порты связи: RS232, RS485, HART;
- ПО под ОС Windows для связи с ПК;
- Идеально подойдет для большинства жидкостей (содержание твердых включений до 5 %);
- Не загрязняет, не содержит движущихся элементов, исключает протечки носителя

Таблица 3.1 – Технические характеристики ультразвукового расходомера DMTFC [9]

Ультразвуковой расходомер DMTFC	Электропитание	АКБ; ЗУ 10 – 28 В; 115/230 В 50/60 Гц
	Скорость	0,01 - 12 м/сек двунаправленный
	Экран	ЖК подсвечиваемый 2 строки х 20 символов. Отражает расход, суммарный расход, скорость потока, время и т.д.
	Единицы СИ	британские и метрические
	Погрешность	Не более 1% скорости свыше 0,5 м/сек 0.003 м/сек скорость до 0,5 м/сек
	Воспроизводимость	Менее 0,5 %
	Время опроса	0...999 сек, задаваемое
	Запоминающее устройство	Автозапись следующей информации: <ul style="list-style-type: none"> • полная информация за последние 64 дня/ 64 месяца/64 года; • время и расход за последние 64 замера до выключения. Ручное или автовосстановление данных; <ul style="list-style-type: none"> • диагностическая информация за последние 64 дня.

Продолжение таблицы 3.1 – Технические характеристики ультразвукового расходомера DMTFC [9]

	Цифровые порты	RS-232, RS-485, HART (4...20 mA), Data Logger с ПО под ОС Windows
	Методика замеров	Временной импульсный, DSP и MultyBean
	Типы носителя	с содержанием не более 5% твердых включений и пузырьков.
	Защита корпуса	Класс защиты IP65 ExdII BT6 (для DMTFC-Ex).
	Температура	- 40 ...+121°C, - 40 ...+250°C
Датчики для расходомера DMTFC	Диаметр труб	65 ... 4570 мм
	Материал	металлы, пластик, стекло и т.п.
	Требуемая длина прямой секции трубы	8 диаметров трубы рядом с насосом длина прямой секции должна быть более 15 диаметров
Шина	6 м (300м опционально)	
Габариты расходомера	DMTFC 241x193x76.5 мм DMTFC-Ex 255x220x110 мм	
Условия работы	NEMA 4X, Температура работы прибора -40...+55°C Температура хранения прибора -50...+60°C	
Масса расходомера	расходомер – 2.5 кг, датчик S - 0,2 кг, M – 0.5 кг, L – 1.0 кг DMTFC-Ex, расходомер – 5.0 кг, датчик S - 0,2 кг, M – 0.5 кг, L – 1.0 кг	

3.1.2 Выбор исполнительного механизма

Регулирующие клапаны используют для управления давлением передаваемых по трубопроводам жидких и газообразных веществ. Регулирующий клапан позволяет непрерывно или дискретно регулировать поступление рабочей среды в трубопровод.

Широкая популярность регулирующих клапанов обусловлена их следующими достоинствами.

1. Надежность и долговечность. Корпус изготавливают из прочных материалов (нержавеющая сталь, латунь, чугун, легированные сплавы металлов), устойчивых к воздействию агрессивных химических веществ.

2. Простота конструкции и эффективность. Механизм работы клапана прост и при этом достаточен для выполнения задачи точного регулирования напора рабочей среды.

3. Разнообразие видов, типов и размеров. Подобрать регулирующий клапан можно для трубопровода любого назначения. Существуют клапаны с корпусами разного размера, с затворами различной конструкции, с ручным и автоматическим управлением, разнообразными датчиками.

Технические характеристики регулировочные клапаны:

- диаметр патрубков и пропускного отверстия;
- тип запирания – регулировочный и регулировочно-запорный;
- диапазон применения – давление и температура пропускаемой жидкости или газа, при которых сохраняется работоспособность клапана;
- материалы, из которых изготовлен корпус и уплотнители;
- тип фиксации на трубопроводе;
- способ управления;
- тип регулирующего механизма.

В лабораторной установке используется клапан запорно-регулирующий с импульсным управлением ЗРК 25ч945п Ду15-50.

Внешний вид представлен на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Клапан запорно-регулирующий ЗРК 25ч945п Ду15-50 [6]

Таблица 3.2 – Технические характеристики клапана запорно-регулирующий ЗРК 25ч945п Ду15-50 [6]

Условный проход Ду, мм	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200
Рабочий ход затвора, (max) мм	20		25			32						
Условная пропускная способность, Кву, м ³ /ч	0,25 0,4 0,63 1,0 1,6 2,5 3,2 4,0	1,6 2,5 4,0 6,3	1,0 1,6 2,0 2,5 3,2 4,0 10	4, 0 6, 3 10 16	10 16 25	12,5 16, 25 40	25 40 63	25 40 63 100	63 100 160	100 125 250	160 250 400	250 400
Пропускная характеристика	линейная											
Давление Ру, МПа	1,6 2,5											
Протечка	Класс герметичности А ГОСТ Р 54808											
Регулируемая среда	Вода, этиленгликоль до 50%, жидкие и газообразные среды, нейтральные к материалам клапана*											
Температура регулируемой среды, °С	От -20 до 150											

Габаритные и присоединительные размеры и масса клапана запорно-регулирующий ЗРК 25ч945п Ду15-50 приведены на рисунке 3.6.

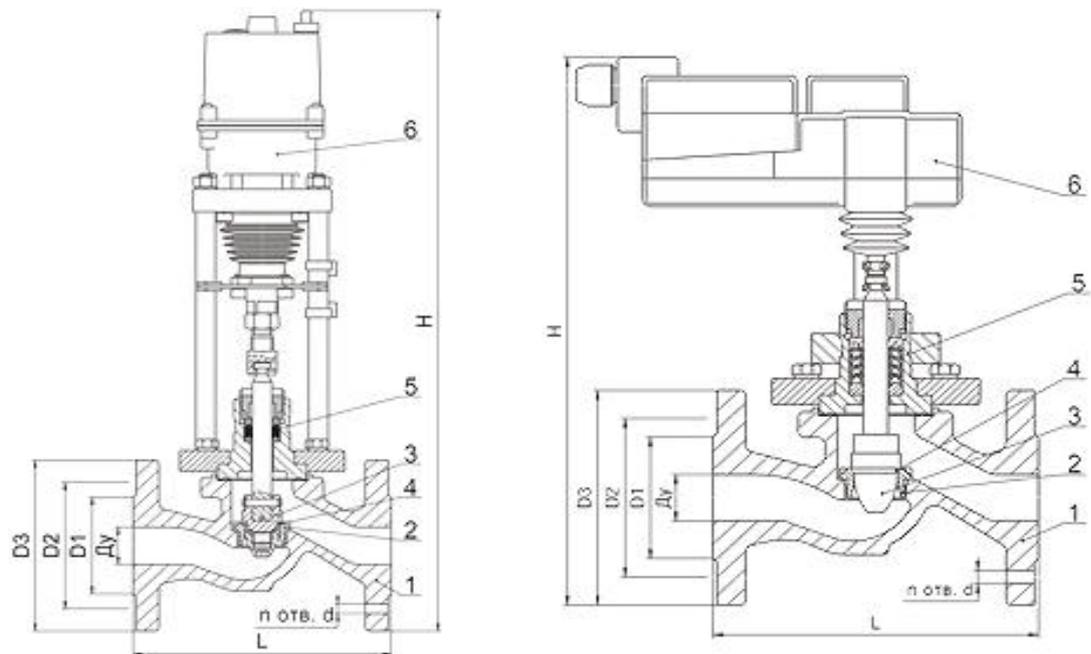


Рисунок 3.6 – Габаритные и присоединительные размеры [6]

Таблица 3.3 – Габаритные и присоединительные размеры и масса клапана запорно-регулирующий ЗРК 25ч945п Ду15-50 [6]

DN, мм	D1, мм	D2, мм	D3, мм	L, мм	n	d, мм	H, мм	Масса, кг
15	47	65	95	130	4	14	410	6
20	58	75	105	150			420	8
25	68	85	115	160			465	10
32	78	100	135	180			480	13
40	88	110	150	200			550	16
50	102	125	160	230			570	19
65	122	145	180	290	8	18	670	32
80	133	160	195	310			690	34
100	158	180	195	350			740	42
125	184	210	245	400			760	53
150	212	240	280	480			780	90
200	268	295	335	600			12	22

3.1.3 Выбор насоса

Принцип выбора насоса: обеспечить бесперебойную работу эффективную работу. Выбранный водяной насос должен соответствовать изменению потребления воды в системе.

В данной работе будем пользоваться насосом вихревой самовсасывающий APSm 37.

Внешний вид насоса вихревой самовсасывающий APSm 37 представлен на рисунке 3.7, основные характеристики в таблице 3.4.



Рисунок 3.7 – Внешний вид насоса вихревой самовсасывающей APSm 37

Особенности [7]:

- невысокая стоимость и простота в эксплуатации;
- надежность и длительный срок службы;
- простота конструкции;
- небольшие размеры;
- низкое потребление электроэнергии;
- высокая устойчивость к механическим нагрузкам и перепадам напряжения.

Таблица 3.4 – Характеристики насоса APSm 37 [7]

№ п/п	Наименование	Параметры
2	Тип насоса	поверхностный обычный
3	Качество воды	чистая
4	Максимальный напор	40 м
5	Пропускная способность	0,3 м3/час
6	Мощность	370 Вт
7	Производство	Китай

3.1.4 Выбор свободно программируемого микроконтроллера

В качестве контроллера 3 (см. рисунок 2.3) используется микроконтроллер ПЛК 150 российской компании ОВЕН. Связь между контроллером и вышестоящим персональным компьютером осуществляется по сети Ethernet.

Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК150 предназначен для создания систем автоматизированного управления технологическим оборудованием в различных областях промышленности, жилищно-коммунального и сельского хозяйства.



Рисунок 3.8 – ПЛК 150 ОВЕН [5]

Логика работы ПЛК150 определяется потребителем в процессе программирования контроллера. Программирование осуществляется с помощью системы программирования CoDeSys 2.3.

Основные технические характеристики приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 — Основные технические характеристики контроллера ПЛК150 [5]

Параметр	Значение
Общие сведения	
Конструктивное исполнение	Унифицированный корпус для крепления на DIN-рейку, длина 105 мм (6U), шаг клемм 7.5 мм
Степень защиты корпуса	IP20
Напряжение питания: ПЛК150-24 ПЛК150-220	18...29 В постоянного тока (номинальное 24 В) 90...264 В переменного тока (номинальное 220 В) частотой 47...63 Гц
Потребляемая мощность	6 Вт
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
Ресурсы	
Центральный процессор	32-х разрядный RISC-процессор 200 МГц на базе ядра ARM9
Объем оперативной памяти	8 МВ

Продолжение таблицы 3.5 — Основные технические характеристики контроллера ПЛК150 [5]

Объем энергонезависимой памяти хранения ядра CoDeSys программ и архивов*	4 МВ
Размер Retain-памяти**	4 кВ
Время выполнения цикла ПЛК	Минимальное 250 мкс, типовое от 1 мс
Дискретные входы	
Количество дискретных входов	6
Гальваническая изоляция дискретных входов	есть, групповая
Электрическая прочность изоляции дискретных входов	1.5 кВ
Максимальная частота сигнала, подаваемого на дискретный вход	1 кГц при программной обработке 10 кГц при применении аппаратного счетчика и обработчика энкодера
Дискретные выходы	
Количество дискретных выходов	4 э/м реле
Характеристики дискретных выходов	Ток коммутации до 2 А при напряжении не более 220 В 50 Гц и $\cos\phi > 0.4$
Гальваническая изоляция дискретных выходов	есть, индивидуальная
Электрическая прочность изоляции дискретных выходов	1.5 кВ
Аналоговые входы	
Количество аналоговых входов	4

Продолжение таблицы 3.5 — Основные технические характеристики контроллера ПЛК150 [5]

Типы поддерживаемых унифицированных входных сигналов	Напряжение 0...1 В, 0...10 В, –50...+50 мВ Ток 0...5 мА, 0(4)...20 мА Сопротивление 0...5 кОм
Типы поддерживаемых датчиков	Термосопротивления: ТСМ50М, ТСП50П, ТСМ100М, ТСП100П, ТСН100Н, ТСМ500М, ТСП500П, ТСН500Н, ТСП1000П, ТСН1000Н Термопары: ТХК (L), ТЖК (J), ТНН (N), ТХА (K), ТПП (S), ТПП (R), ТПР (B), ТВР (A-1), ТВР (A-2)
Время опроса одного аналогового входа	0,5 с
Предел основной приведенной погрешности измерения аналоговыми входами	0.5 %
Гальваническая изоляция аналоговых входов	отсутствует
Аналоговые выходы	
Количество аналоговых выходов	2
Разрядность ЦАП	10 бит
Тип выходного сигнала: ПЛК150-И ПЛК150-У ПЛК150-А	Ток 4...20 мА Напряжение 0...10 В Ток 4...20 мА или напряжение 0...10 В
Питание аналоговых выходов	встроенное, общее на все выходы

Продолжение таблицы 3.5 — Основные технические характеристики контроллера ПЛК150 [5]

Гальваническая изоляция аналоговых выходов	есть, групповая
Электрическая прочность изоляции аналоговых выходов	1.5 кВ
Интерфейсы связи	
Интерфейсы	Ethernet 100 Base-T RS-232 RS-485
Скорость обмена по интерфейсам RS	от 4800 до 115200 bps
Протоколы	ОВЕН ModBus-RTU, ModBus-ASCII DCON ModBus-TCP GateWay (протокол CoDeSys)
Программирование	
Среда программирования	CoDeSys 2.3
Интерфейс для программирования и отладки	RS-232 или Ethernet

Схема работы ПЛК 150 ОВЕН представлена на рисунке 3.9.

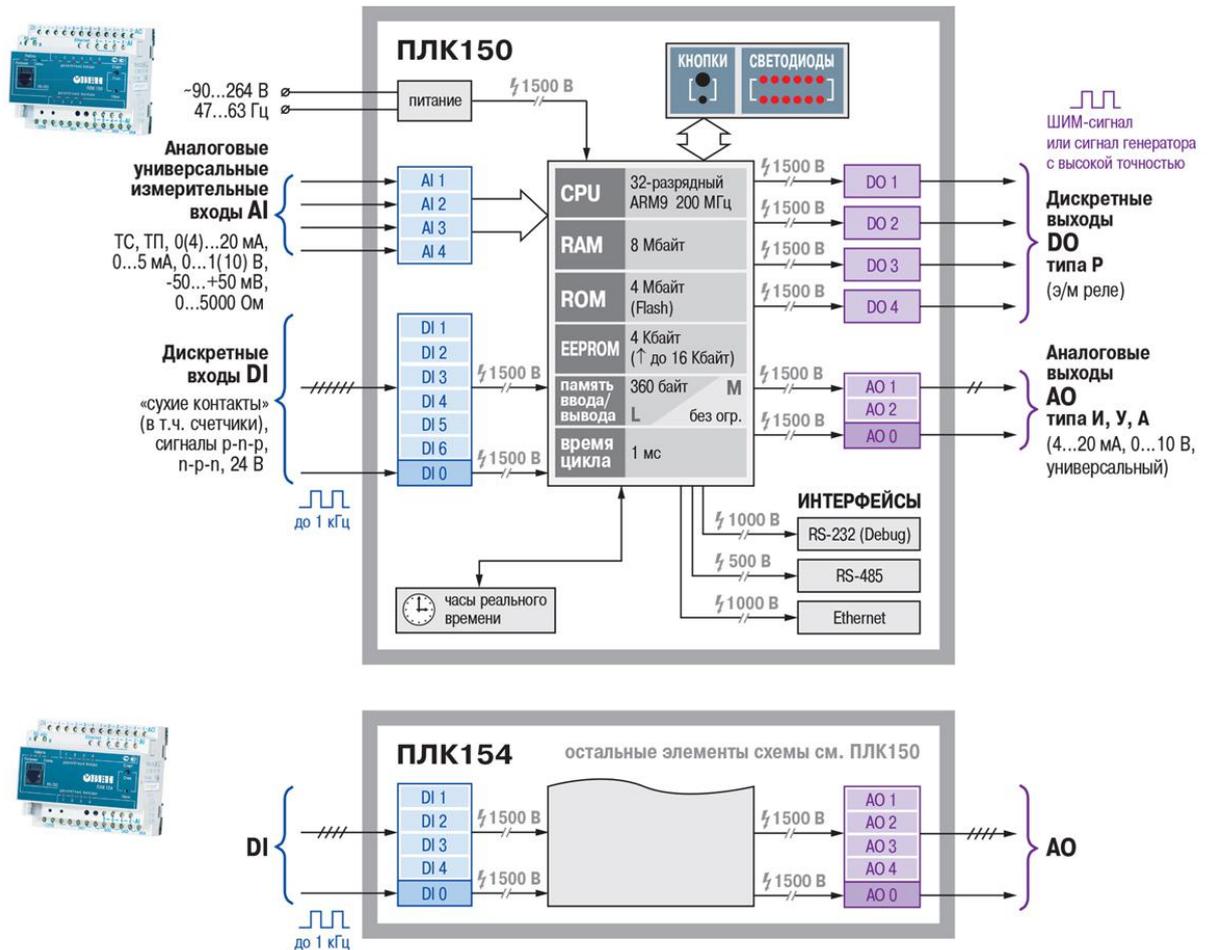


Рисунок 3.9—Схема работы ПЛК 150 ОВЕН

3.2 Выбор программных средств

Выбор ПЛК150 однозначно указывает на выбор среды программирования CoDeSys.

CoDeSys – это универсальный мощный программный инструмент для программирования ПЛК, поддерживающий шесть языков программирования ПЛК по стандарту IEC 61131-3 [10].

Среда CoDeSys не привязана к каким-либо техническим средствам, а связь выполняется через интерфейсные модули (target), которые

разрабатываются и поставляются совместно с техническими средствами их производителями.

Пользователи могут выбирать различные подпрограммы редактирования языка в одном проекте. Модули и др.

Среда программирования [10].

Основой комплекса CODESYS является среда разработки прикладных программ для программируемых логических контроллеров (ПЛК). Она распространяется бесплатно и может быть без ограничений установлена на нескольких рабочих местах.

В CODESYS для программирования доступны все пять определяемых стандартом IEC 61131-3 (МЭК 61131-3) языков:

- IL (Instruction List) — ассемблер-подобный язык;
- ST (Structured Text) — Pascal-подобный язык;
- LD (Ladder Diagram) — язык релейных схем;
- FBD (Function Block Diagram) — язык функциональных блоков;
- SFC (Sequential Function Chart) — язык диаграмм состояний.

4. Разработка алгоритма управления

4.1 Алгоритм

Для решения поставленной в ВКР задачи разрабатывается программа, началом которой является проектирование блочного алгоритма. Блочный алгоритм программы приведён на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 — Алгоритм АСРР

4.2 Структурная схема

Задача системы управления состоит в регулировании расхода воды по трубопроводу, используя одноконтурное управление. Предметом управления является положение регулирующего органа клапана, который изменяя полезное сечение трубопровода, изменяет расход. Управление выполняется контроллером, который использует ПИД-регулятор и ШИМ-преобразователь.

Структурная схема системы представлена на рисунке 4.2.

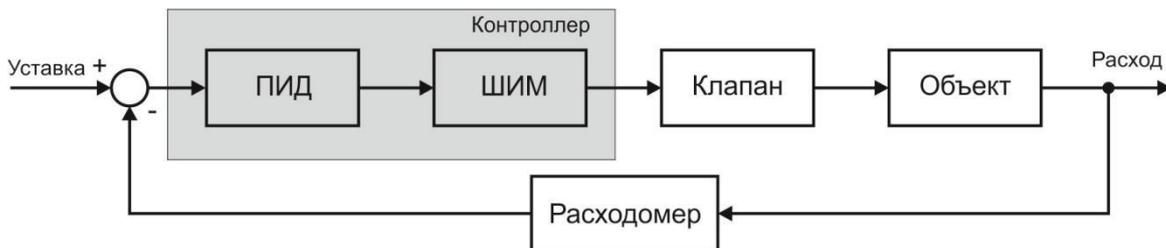


Рисунок 4.2— Структурная схема системы

Контроллер

Контроллер в данной системе решает задачи ПИД-регулятора и ШИМ-преобразователя. Контроллер обеспечивает:

- сбор информации;
- анализ данных от человеко-машинного интерфейса;
- реализацию алгоритма управления;
- формирование управляющих воздействий на исполнительный

механизм.

Расходомер

Расходомер выполняет функции средства измерения. В контуре управления расходомер включен в обратную связь. В данном процессе измеряемым сигналом является расход воды.

Исполнительный механизм

В качестве исполнительного механизма используется регулирующий клапан с электроприводом. Расход регулируется с помощью регулирующего органа, который изменяет полезное сечение трубопровода.

Работа контура

Расходомер измеряет расход воды в трубопроводе и преобразует его в электрический сигнал (4 – 20) мА. Этот электрический сигнал поступает в контроллер через модуль ввода аналоговых сигналов.

Текущий расход через модуль аналого-цифрового преобразования ПЛК в качестве сигнала отрицательной обратной связи поступает на инверсный вход регулятора. На прямой вход регулятора поступает сигнал уставки.

Программный блок ПИД, в соответствии с заложенным законом регулирования формирует непрерывный управляющий сигнал, который поступает на ШИМ-преобразователь. На выходе ШИМ-преобразователя формируется сигнал «больше/меньше (открыть/закрыть), который поступает на исполнительный механизм.

Под действием этих сигналов регулирующий орган перемещается изменяя сечение трубопровода и тем самым изменяя расход воды.

5. Практическая часть в программном обеспечении

5.1 Создание проекта, мнемосхемы и элементов

Создание проекта начинается с создания конфигурации (рисунок 5.1), которая определяет тип контроллера, в который в последующем будет загружен созданный проект.



Рисунок 5.1 – Создание нового проекта

5.2 Разработка программы

5.2.1 Определение глобальных переменных для программы

Под глобальной переменной в CODESYS принимается переменная, которая доступна или видима любой программе, созданной в рамках проекта. Отличие от локальной заключается в возможности использования последней в рамках только одной задачи, в которой она создана.

```
0001 VAR_GLOBAL
0002   mode: GEN_MODE;
0003   period: TIME := T#1s;
0004   amp: INT:=10;
0005   w: REAL;
0006   k: REAL;
0007   consum: REAL;
0008   Zадание: REAL:=15;
0009   Kp: REAL:=10;
0010   Ti: REAL:=2;
0011   Td: REAL:=1;
0012   manual: BOOL;
0013   signal: REAL;
0014   Ymanual: REAL;
0015   step: REAL:=0.1;
0016   per1: REAL;
0017   per2: REAL;
0018   SUW1: REAL;
0019   SAW2: REAL;
0020   genout: REAL;
0021   otk: BOOL;
0022   zak: BOOL;
0023 END_VAR
0024
```

Рисунок 5.2 – Определение глобальных переменных

На рисунке 5.2 введены следующие обозначения:

- period - период блока GEN;
- amp - амплитуда блока GEN;
- w - степень открытия клапана;
- k - влияние изменения степень открытия клапана на расход жидкости;

- consum - текущий расход жидкости;
- Zадanie, K_p, T_i, T_d, manual, Y_{manual} - параметры блока ПИД-регулятора;
- signal - выходной сигнал блока ПИД-регулятора;
- step, SUW1, SAW2 - параметры блока PWM;
- genout - выходной сигнал блока GEN;
- mode: GEN_MODE (тип генерируемого напряжения)
 - TRIANGLE треугольный от - AMPL. до + AMPL.;
 - TRIANGLE_POS треугольная от 0 до AMPL.;
 - SAWTOOTH_RISE пилообразное увеличение от -AMPL. до + AMPL.;
 - RECTANGLE треугольно-прямоугольное переключение от - AMPL. до + AMPL.

5.2.2 Разработка программы для реализации функциональных блоков

Для выработки управляющего воздействия на исполнительный механизм задвижки будем использовать функциональный блок «PID» из библиотеки «Util».

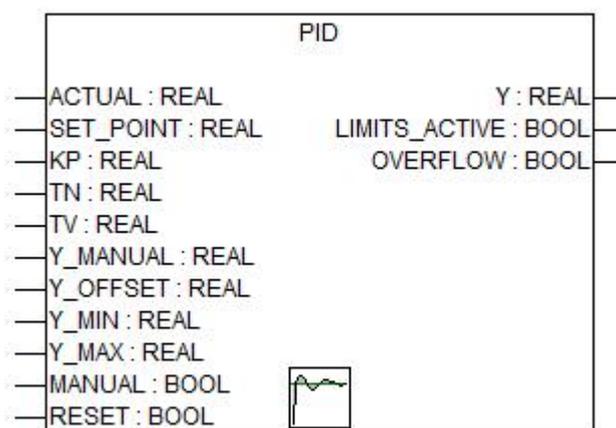


Рисунок 5.3 – Блок ПИД-регулятор

Описание блока ПИД-регулятора:

ACTUAL :REAL; (* фактическое значение, переменная процесса *)
SET_POINT:REAL; (*желаемое значение, заданное значение *)
KP:REAL; (* пропорциональная константа (P)*)
TN:REAL; (* время сброса (I) в секундах *)
TV:REAL; (* скорость, производное время (D) в сек*)
Y_MANUAL:REAL; (*установлено на это значение, пока
MANUAL = TRUE *)
Y_OFFSET:REAL; (* смещение для управляемой переменной *)
Y_MIN:REAL; (*минимальное значение для управляемой
переменной *)
Y_MAX:REAL; (*максимальное значение для управляемой
переменной *)
MANUAL:BOOL; (* TRUE: manual: Y не зависит от
контроллера, FALSE: контроллер определяет Y *)
RESET:BOOL; (*сброс: установить выход Y на Y_OFFSET
и сбросить составную часть*)
Y:REAL; (*манипулируемая переменная, заданное значение *)
LIMITS_ACTIVE:BOOL:=FALSE;(*истинное установленное значение
превысит пределы Y_MIN, Y_MAX *)
OVERFLOW:BOOL:=FALSE; (*переполнение в неотъемлемой
части*)

Выходной сигнал блока:

$$U(t) = k_p (err(t) + \frac{1}{T_I} * \int err(t) dt + T_D * \frac{derr(t)}{dt}) \quad (5.1)$$

Где: k_p – пропорциональный коэффициент;

T_i – постоянная интегрирования;

$err(t)$ – отклонение текущего значения от желаемого;

T_d – постоянная дифференцирования.

В связи с отсутствием у исполнительного механизма задвижки аналогового интерфейса управления, будем осуществлять управления по средствам ШИМ.

Используя аналоговый выходной сигнал ПИД-регулятора получим дискретные управляющие сигналы для управления исполнительным механизмом задвижки через ШИМ.

Создадим функциональный блок для расчёта расхода с именем «consumption» на языке ST. см. приложения А и Б.

Создадим функциональный блок для реализации ШИМ с именем «PWM» на языке ST.

Объявленные переменные блока «PWM» представлены на рисунке 5.4.

```
0001 FUNCTION_BLOCK PWM
0002 VAR_INPUT
0003     msianal: REAL;
0004     Y1: REAL;
0005     Y2: REAL;
0006 END_VAR
0007 VAR_OUTPUT
0008     Wout: REAL;
0009     per90: REAL;
0010     per110: REAL;
0011 END_VAR
0012 VAR
0013 END_VAR
0014
```

Рисунок 5.4 – Объявленные переменные блока «PWM»

На рисунке 5.5 представлен листинг функционального блока «PWM».

```
0001 per90:=0.9*Zadanie;
0002 per110:=1.2*Zadanie;
0003 IF signal> Y1 THEN
0004 Wout:=Wout-step;
0005 END_IF
0006 IF signal< Y2 THEN
0007 Wout:=Wout+step;
0008 END_IF
0009
0010 IF manual = TRUE THEN
0011 Wout:=Ymanual;
0012 END_IF
0013
```

Рисунок 5.5 – Листинг программы функционального блока «PWM»

5.2.3 Создание основной программы

Объявленные переменные основной программы представлены на рисунке 5.6.

```

0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003     PID: PID;
0004     GEN: GEN;
0005     PWM: PWM;
0006     a1: REAL := 3;
0007     q1: BOOL;
0008     q2: BOOL;
0009     q3: BOOL;
0010     q4: BOOL;
0011     q5: BOOL;
0012     q6: BOOL;
0013     rs1: RS;
0014     rs2: RS;
0015     e: REAL;
0016     con: consumption;
0017 END_VAR

```

Рисунок 5.6 – Объявленные переменные основной программы

На рисунке 5.7 представлен листинг основной программы.

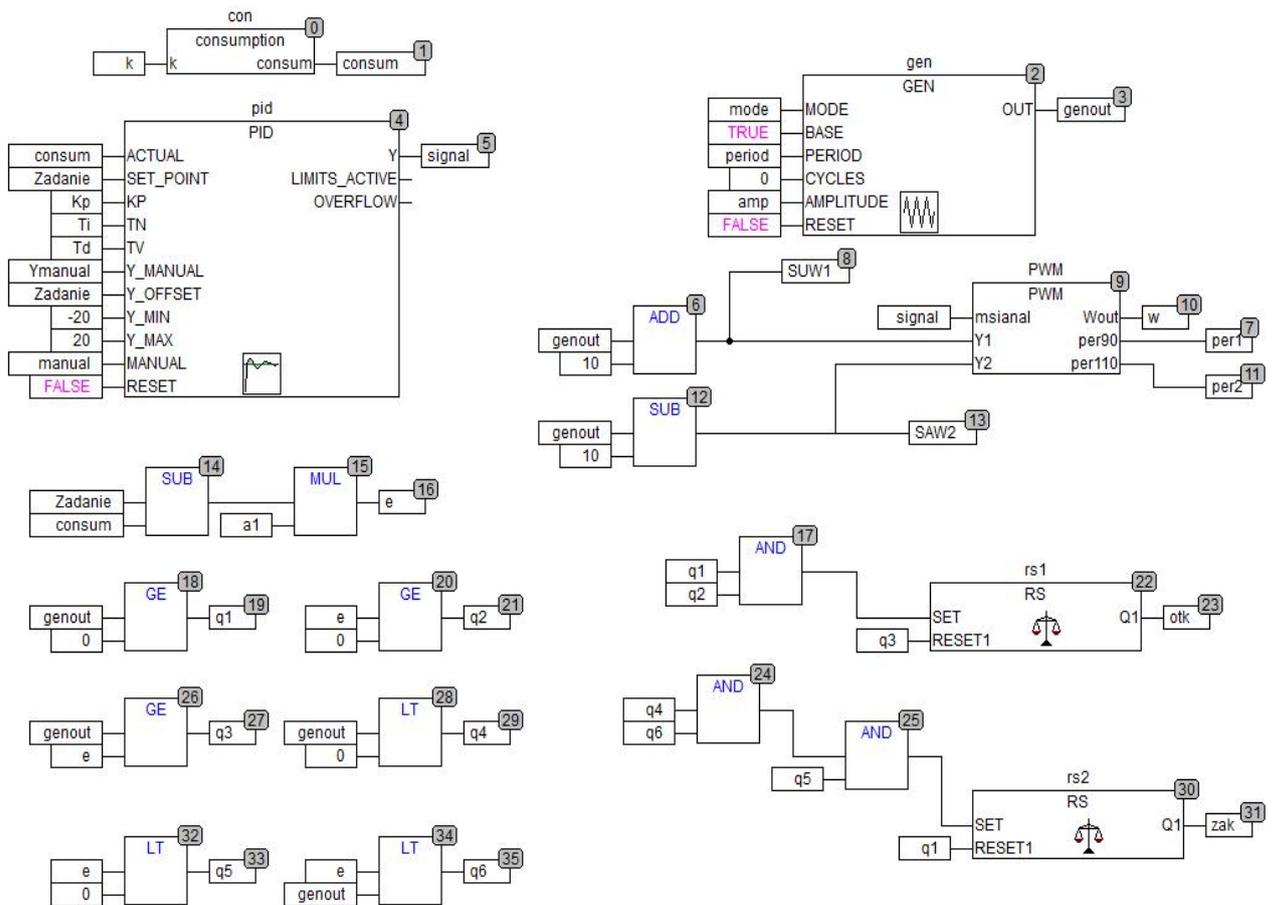


Рисунок 5.7 – Листинг основной программы на языке CFC

5.3 Создание и динамизация мнемосхемы

5.3.1 Создание мнемосхемы

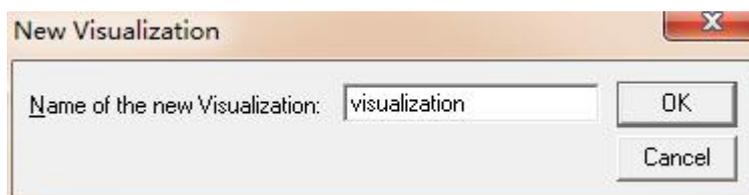


Рисунок 5.8 – Создание мнемосхемы

5.3.2 Создание расходомера

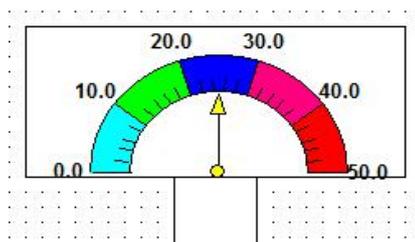


Рисунок 5.9 – Создание расходомера

5.3.3 Создание панелей кнопки

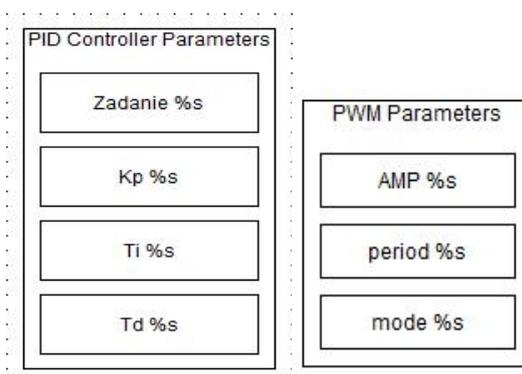


Рисунок 5.10 – Панели для настройки параметров ПИД-регулятора и ШИМ-преобразователя

5.3.4 Создание трендов

Создадим тренды переходного процесса и ШИМ-преобразователя для представления результатов и тренд для представления состояния клапана. (см. приложения В, Г, Д)

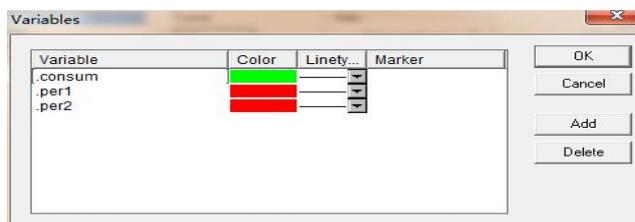


Рисунок 5.11 – Динамизация тренда переходного процесса

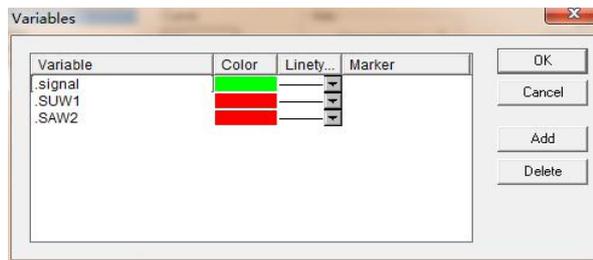


Рисунок 5.12 – Динамизация тренда ШИМ-преобразователя

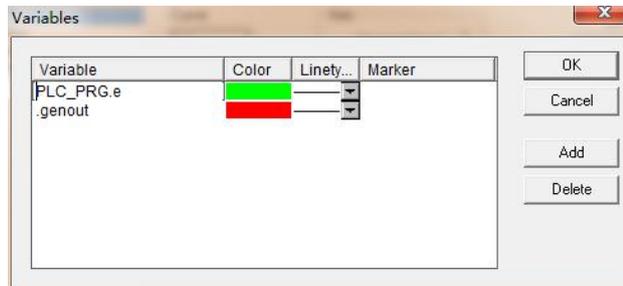


Рисунок 5.13 – Динамизация тренда для представления состояния клапана

Конечная мнемосхема представлена на рисунке 5.14.

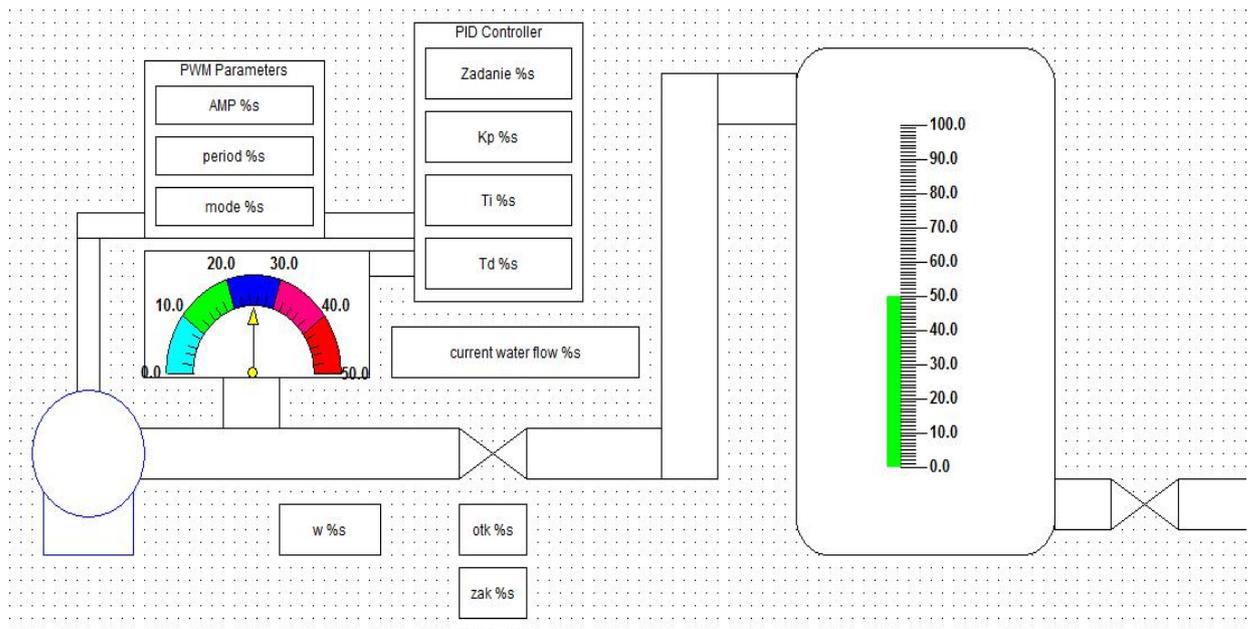


Рисунок 5.14 – Конечная мнемосхема

Current water flow — текущий расход воды.

5.4 Экспериментальные результаты

Проведём ряд экспериментов, которые позволят определить влияние параметров ШИМ (амплитуда, период, форма пилообразного напряжения для ШИМ) на качественные показатели регулирования (перерегулирование, времени регулирования).

5.4.1 Влияние амплитуды ШИМ на качественные показатели регулирования

Зададим период = 1 с, mode = TRIANGLE (модулирующее напряжение – равнобедренный разнополярный треугольник), изменяем амплитуду (параметр AMP). Рассмотрим влияния амплитуды ШИМ на качественные показатели регулирования (перерегулирование, времени регулирования).

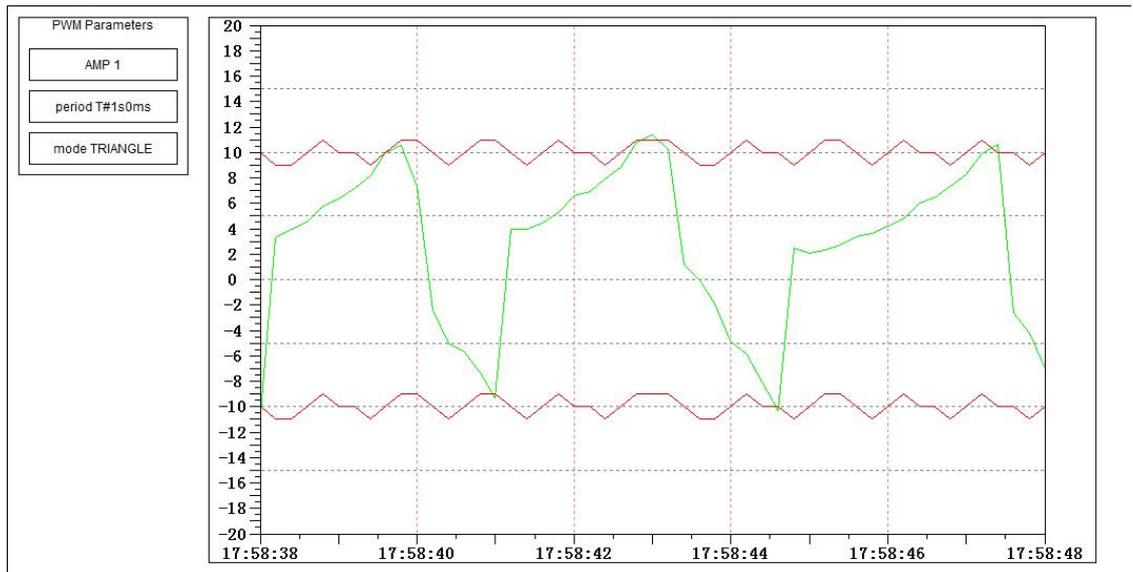


Рисунок 5.15 – Состояние ШИМ когда амплитуда = 1

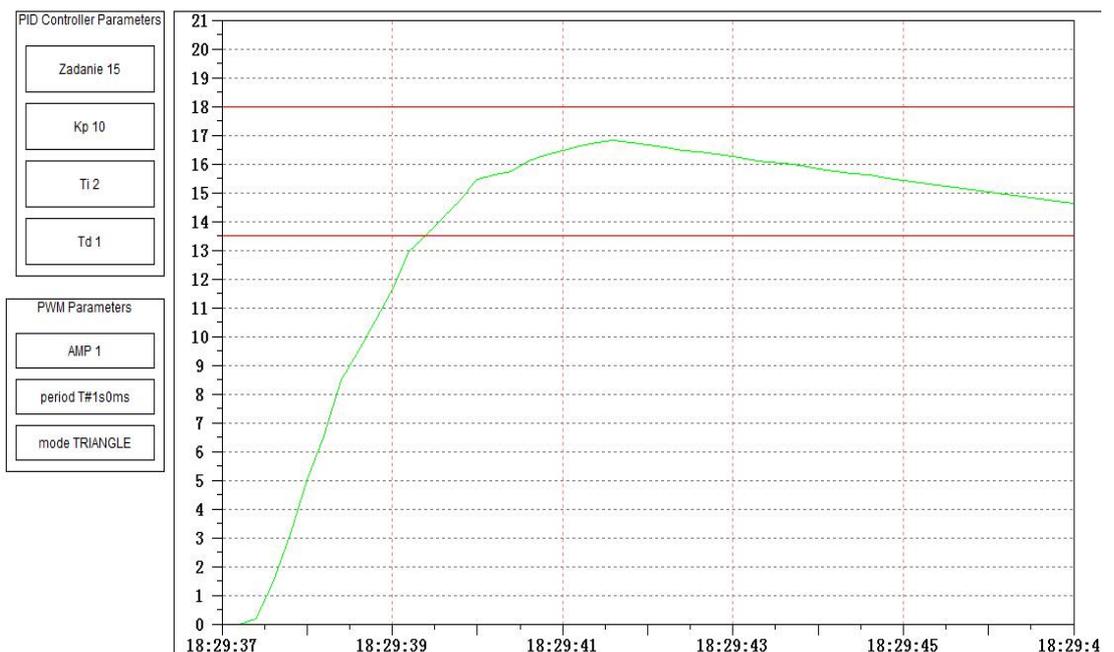


Рисунок 5.16 – Переходный процесс когда амплитуда = 1

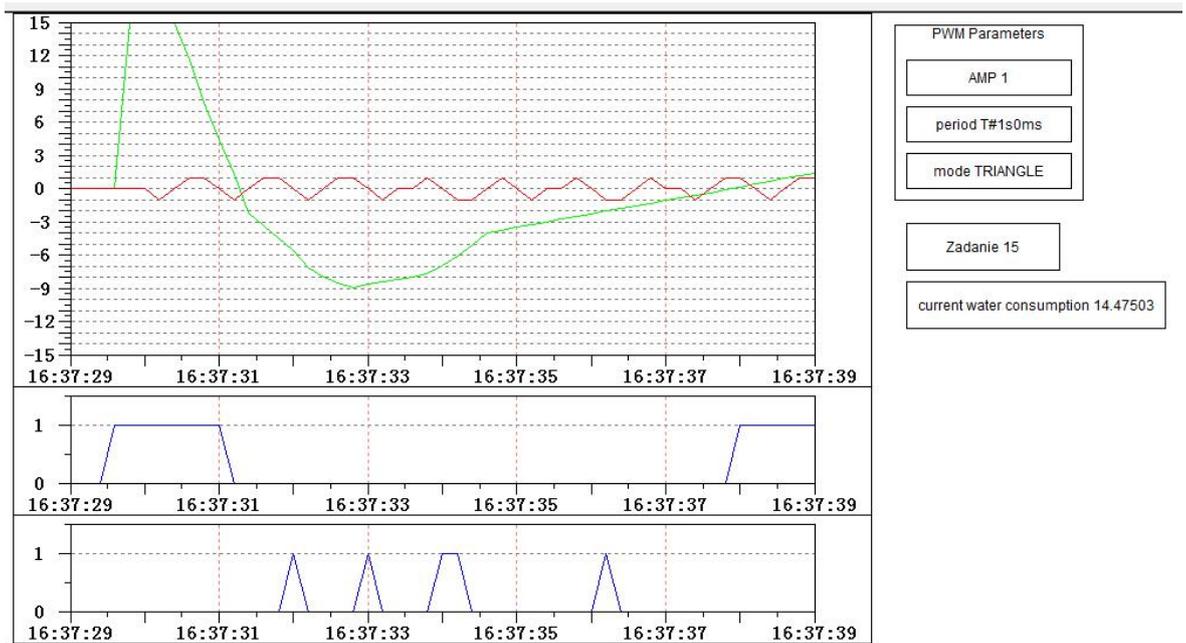


Рисунок 5.17 – Состояние клапана когда амплитуда = 1

Верхний тренд показывает отклонение текущего расхода от желаемого (ошибка в конечном состоянии — $u(t)$, см. Рисунок 2.5), и выходный сигнал блока gen.

Средний тренд показывает значение otk , когда $otk = TRUE$ клапан открывается.

Нижний тренд показывает значение zak , когда $zak = TRUE$ клапан закрывается.

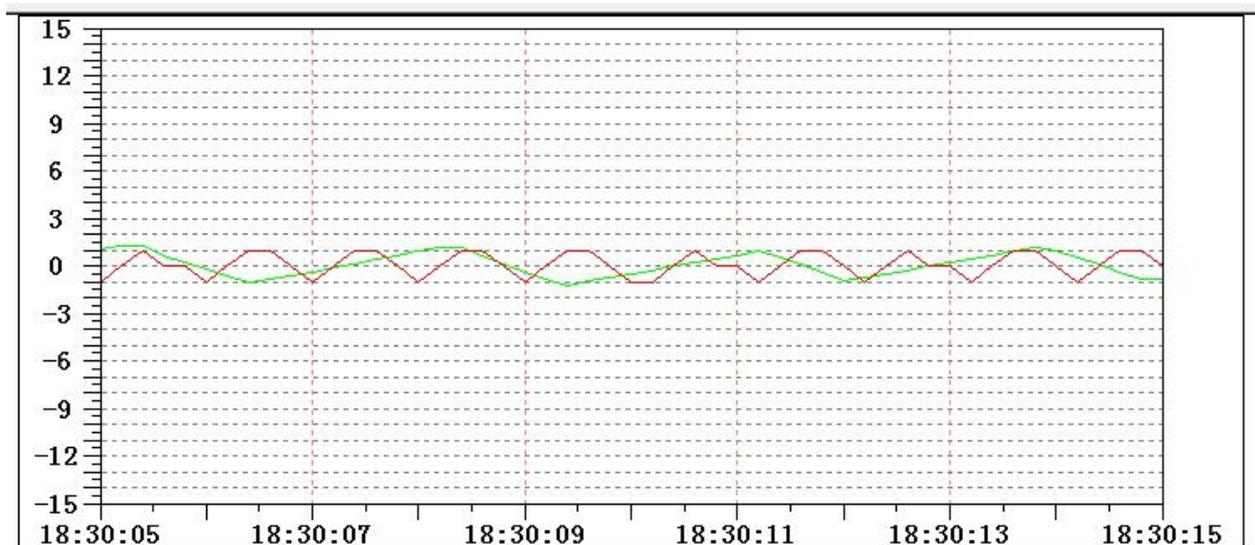


Рисунок 5.18 – ошибка в конечном состоянии — $u(t)$ при амплитуде равной 1

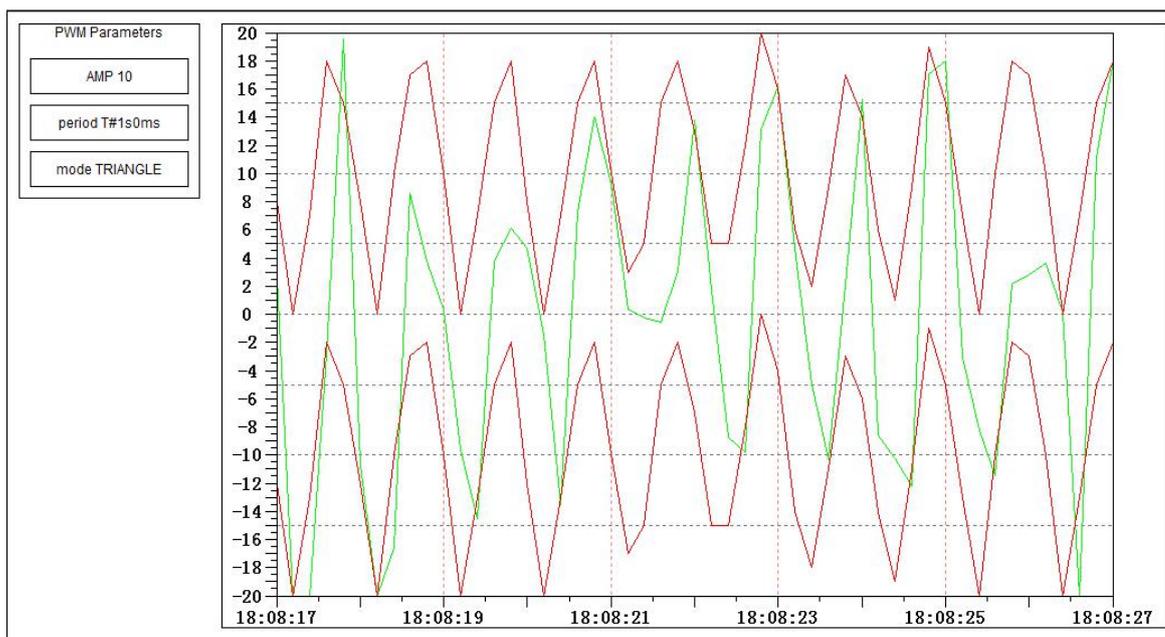


Рисунок 5.19 – Состояние ШИМ когда амплитуда = 10

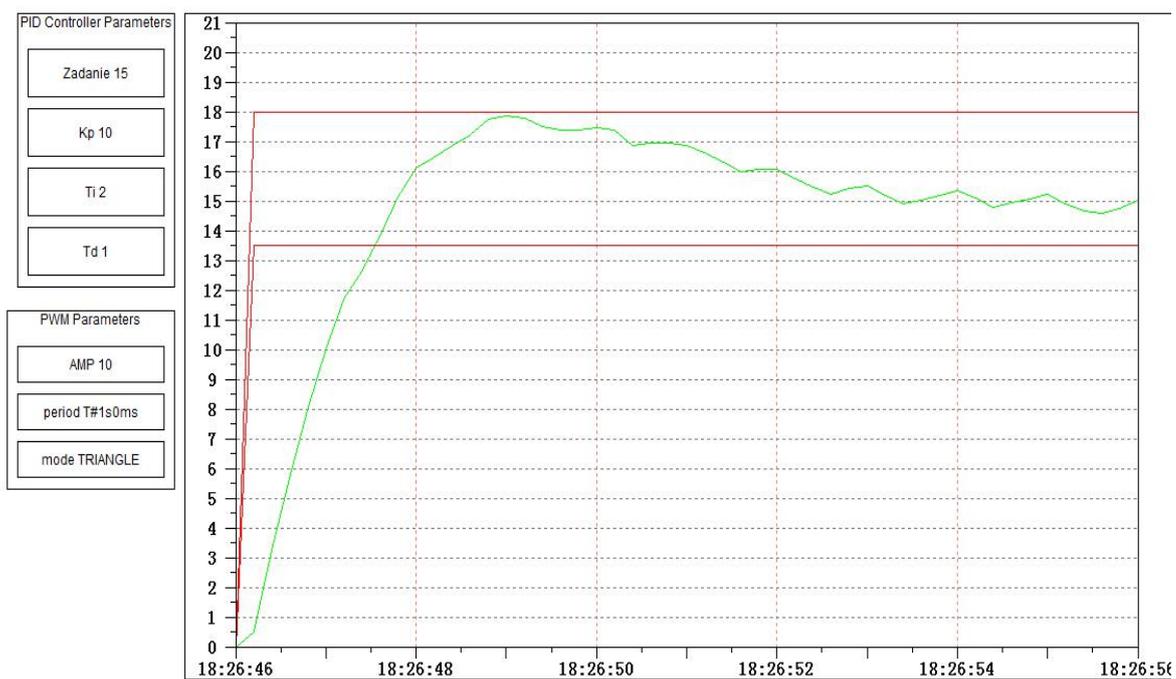


Рисунок 5.20 – Переходный процесс когда амплитуда = 10

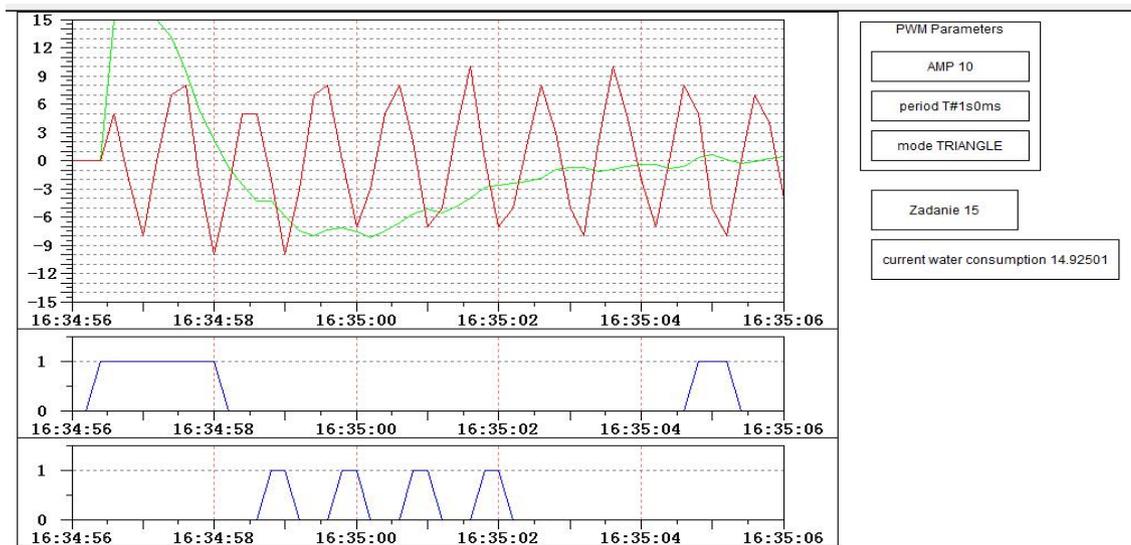


Рисунок 5.21 – Состояние клапана когда амплитуда = 10



Рисунок 5.22 – ошибка в конечном состоянии $u(t)$ при амплитуде равной 10

Сравнение результатов, представленных на рисунках 5.16 и 5.20 показывает, что при амплитуде равной 1, максимальное значение расхода $y(max)$ немного меньше 17, при амплитуде равной 10, максимальное значение равно 18.

Перерегулирование рассчитывается по формуле 5.2:

$$\sigma\% = \frac{y(max) - y(y_{уст})}{y(y_{уст})} * 100\% , \quad (5.2)$$

где: $y(max)$ — максимальное значение регулирования;

$y(y_{уст})$ — конечное значение регулирования.

В обоих случаях $y(y_{уст})=15$, поэтому чем больше $y(max)$, тем больше перерегулирование.

Сравнение результатов, представленных на рисунках 5.18 и 5.22 показывает, что при амплитуде равной 1, максимальное значение ошибки равно 1.5, при амплитуде равной 10, максимальное значение равно 1.

Время регулирования и максимальное значение ошибки в конечном состоянии наоборот при увеличении амплитуды ШИМ сигнала уменьшается.

Вывод

При постоянных периоде и форме пилообразного напряжения ШИМ, чем больше амплитуда ШИМ, тем больше перерегулирование и тем меньше время регулирования и максимальное значение ошибки в конечном состоянии.

Этот факт можно объяснить тем, что увеличение амплитуды можно толковать как увеличение коэффициента усиления контура, а следовательно и быстродействия.

5.4.2 Влияние периода ШИМ на качественные показатели регулирования

Зададим амплитуду = 10, mode = TRIANGLE, изменяем период (параметр period). Рассмотрим влияния периода ШИМ на качественные показатели регулирования (перерегулирование, времени регулирования).

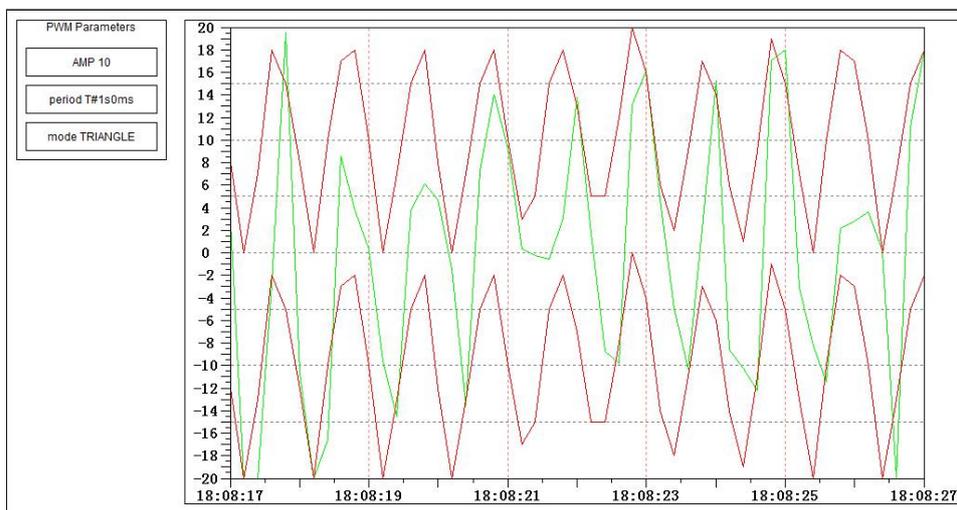


Рисунок 5.23 – Состояние ШИМ когда период равен 1 с.

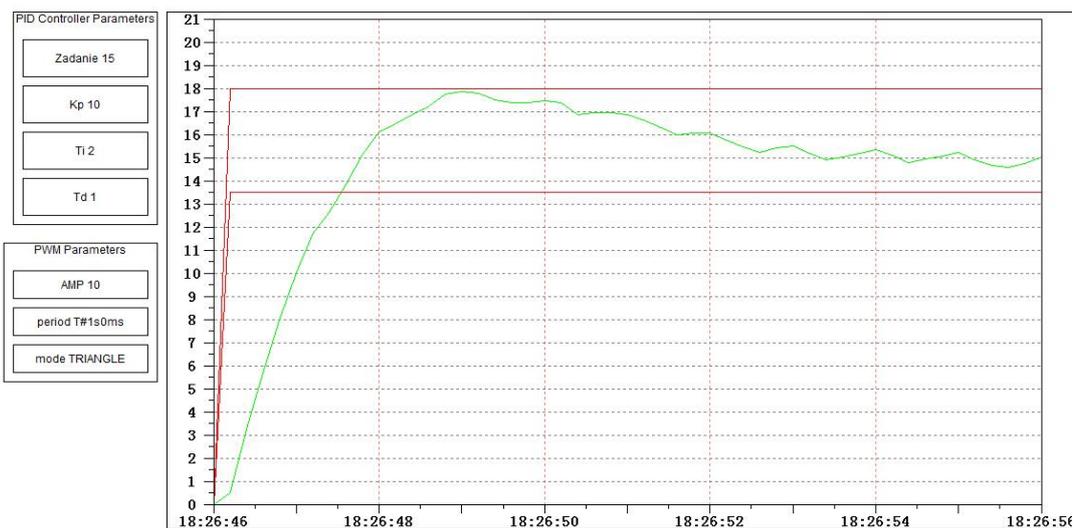


Рисунок 5.24 – Переходный процесс когда период = 1 с

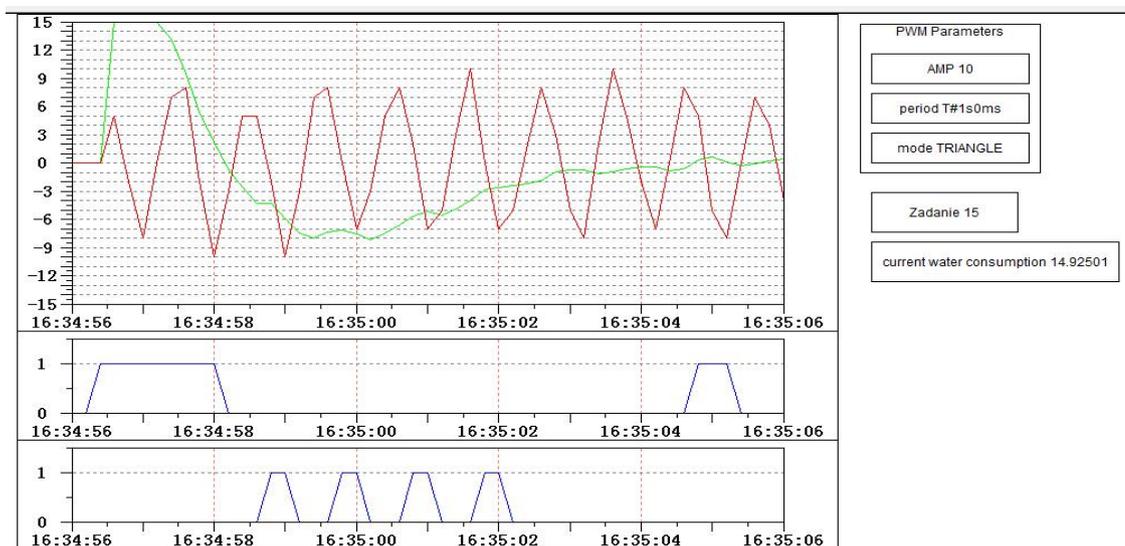


Рисунок 5.25 – Состояние клапана когда период = 1 с

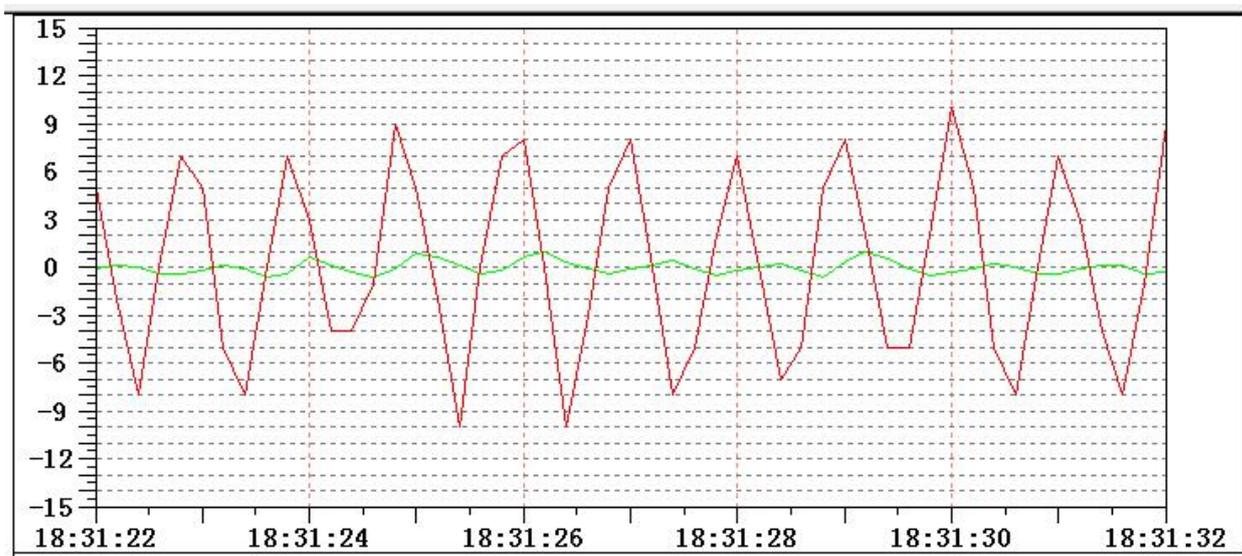


Рисунок 5.26 – ошибка в конечном состоянии $u(t)$ при периоде равном 1 с

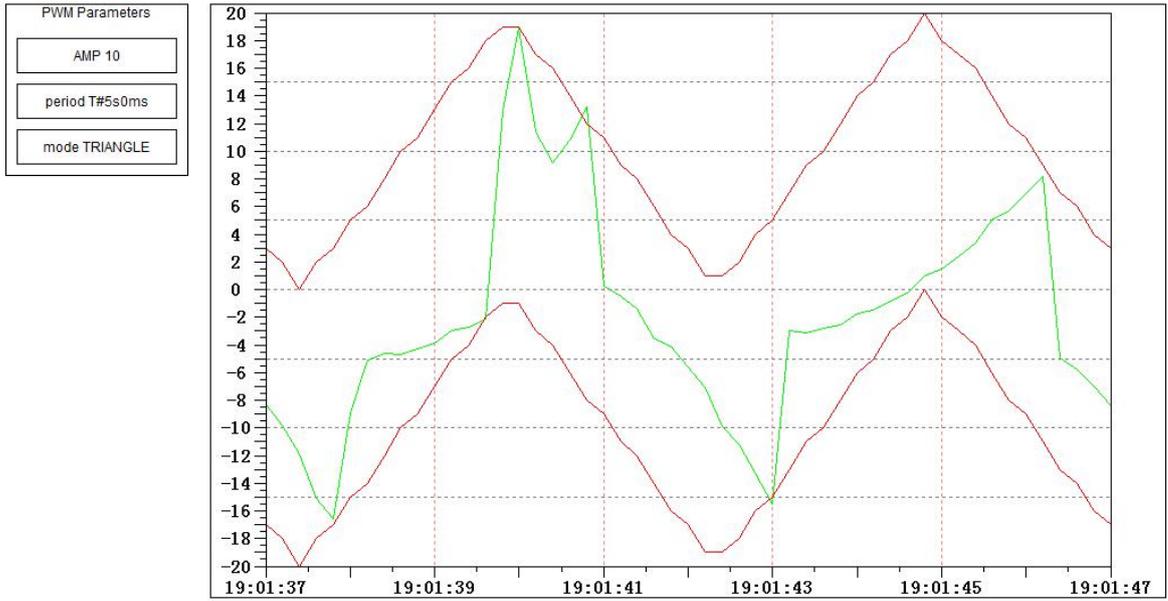


Рисунок 5.27 – Состояние ШИМ когда период = 5 с

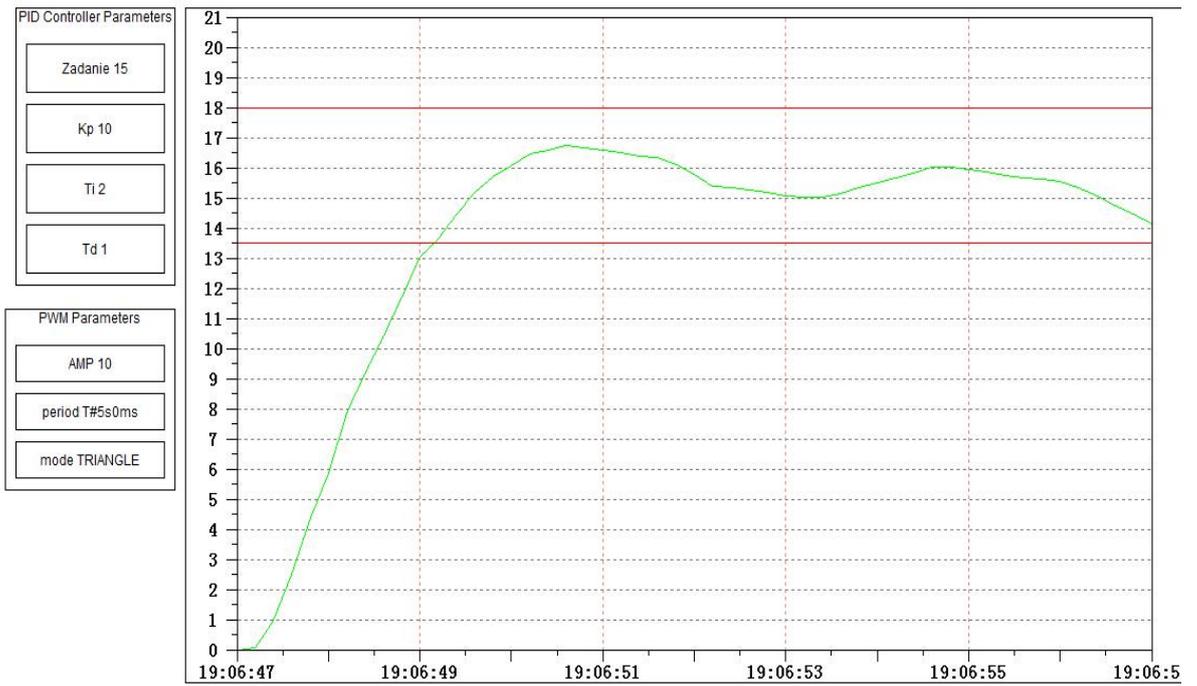


Рисунок 5.28 – Переходный процесс когда период = 5 с

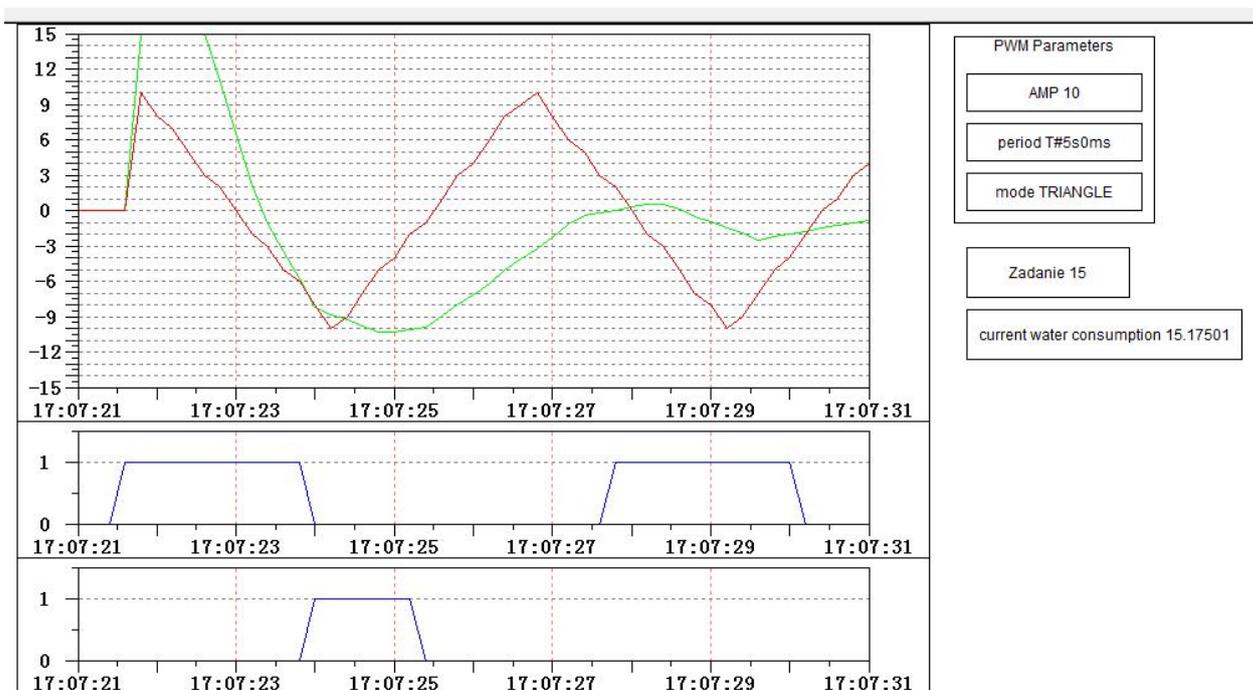


Рисунок 5.29 – Состояние клапана когда период = 5 с

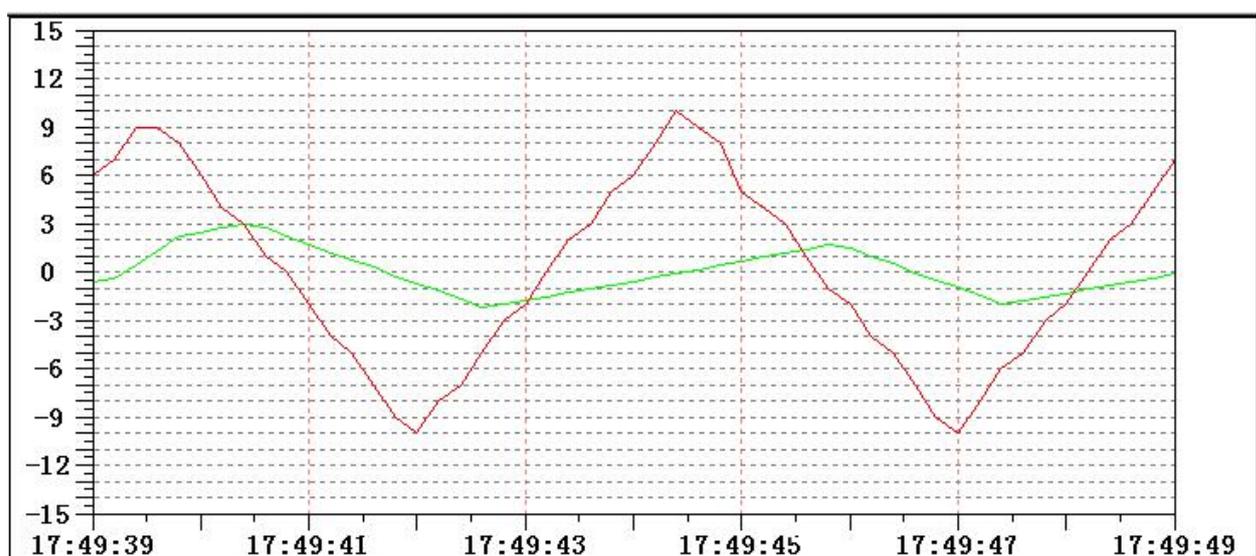


Рисунок 5.30 – ошибка в конечном состоянии $u(t)$ при периоде равном 5 с

Сравнение результатов, представленных на рисунках 5.24 и 5.28 показывает, что при периоде ШИМ сигнала равном 1 с., максимальное значение отклонения расхода больше, чем для случая 5 с.

Сравнение результатов, представленных на рисунках 5.26 и 5.30 показывает, что при периоде ШИМ сигнала равном 1 с., максимальное значение ошибки меньше, чем для случая 5 с.

Вывод

При постоянных амплитуде и форме пилообразного напряжения ШИМ, чем больше период ШИМ, тем меньше перерегулирование и тем больше время регулирования и максимального значения ошибки в конечном состоянии.

5.4.3 Влияние формы пилообразного напряжения ШИМ на качественные показатели регулирования

Таблице 5.1 – Виды формы пилообразного напряжения ШИМ

Виды	Замечание
TRIANGLE	треугольный от - AMPL. до + AMPL, разнополярный сигнал
TRIANGLE_POS	треугольная от 0 до AMPL, однополярный, используется два модулирующих сигнала для положительных и отрицательных отклонений ошибки
SAWTOOTH_RISE	пилообразное увеличение от -AMPL. до + AMPL
RECTANGLE	треугольно-прямоугольное переключение от -AMPL. до + AMPL

Зададим амплитуду ШИМ сигнала равной 10, период 1 с, изменим форму пилообразного напряжения ШИМ (параметр mode). Рассмотрим влияния формы пилообразного напряжения для ШИМ на качественные показатели регулирования (перерегулирование, времени регулирования).

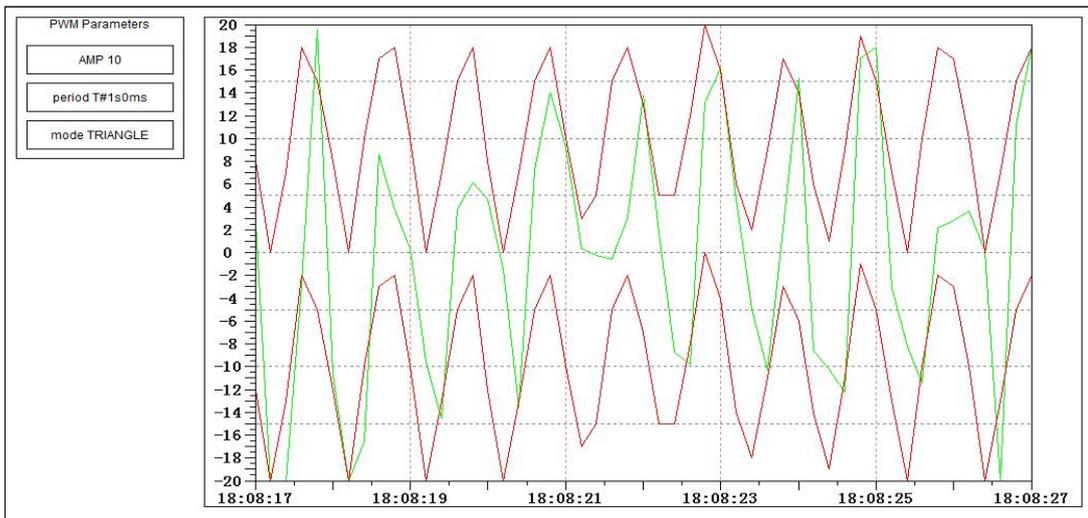


Рисунок 5.31 – Состояние ШИМ когда mode = TRIANGLE



Рисунок 5.32 – Переходный процесс когда mode = TRIANGLE

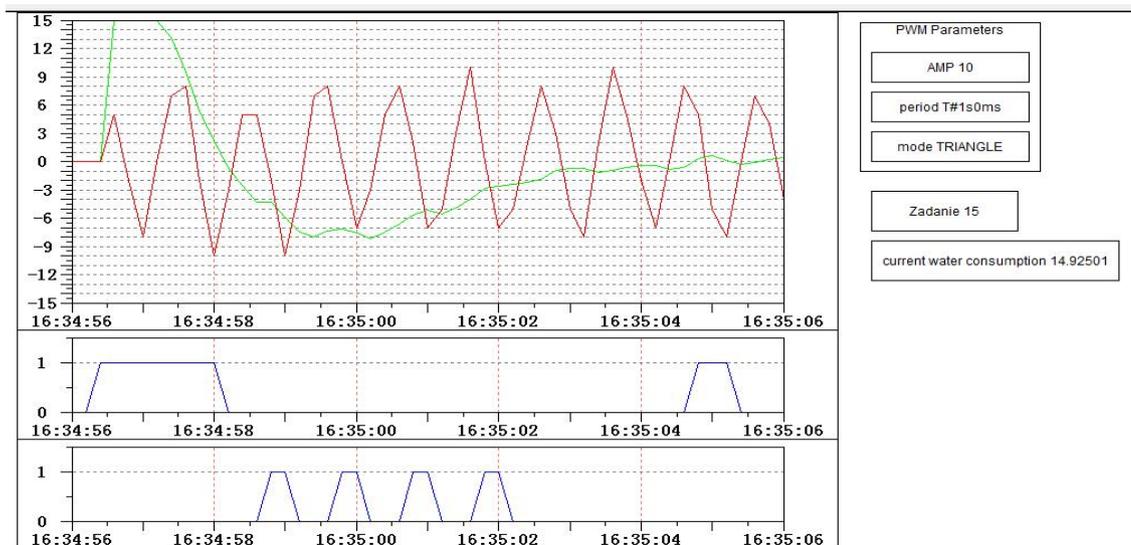


Рисунок 5.33 – Состояние клапана когда mode = TRIANGLE

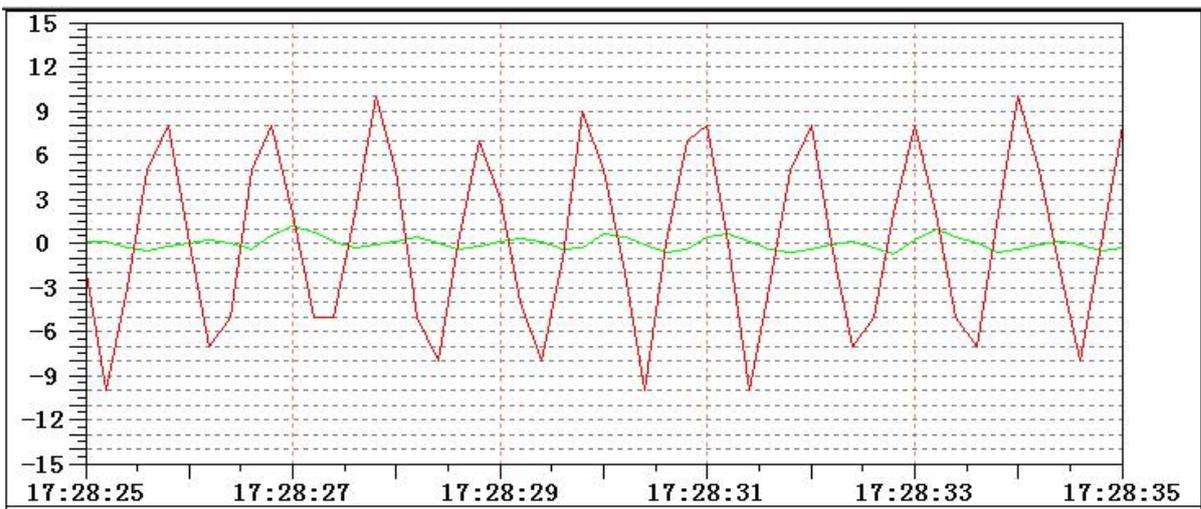


Рисунок 5.34 – ошибка в конечном состоянии $u(t)$ при mode равном TRIANGLE

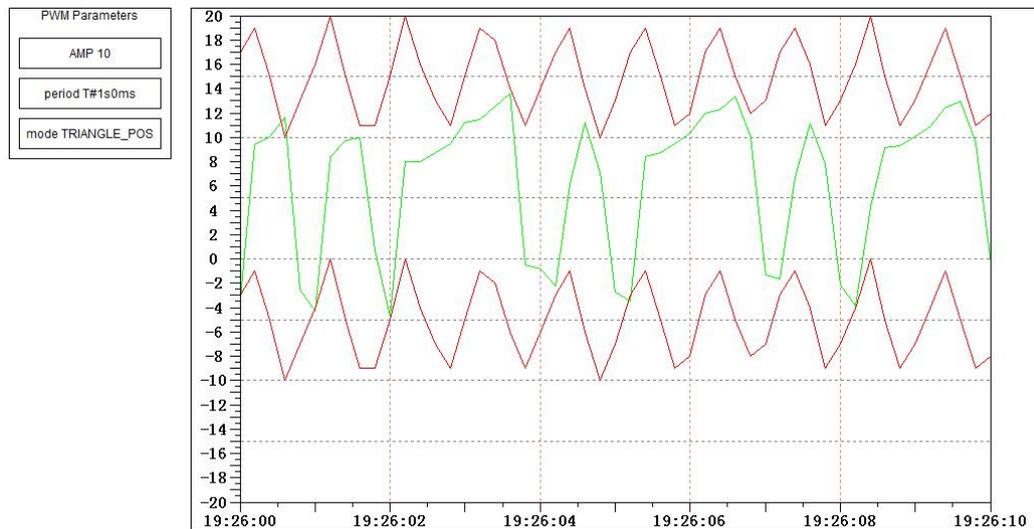


Рисунок 5.35 – Состояние ШИМ когда mode = TRIANGLE_POS

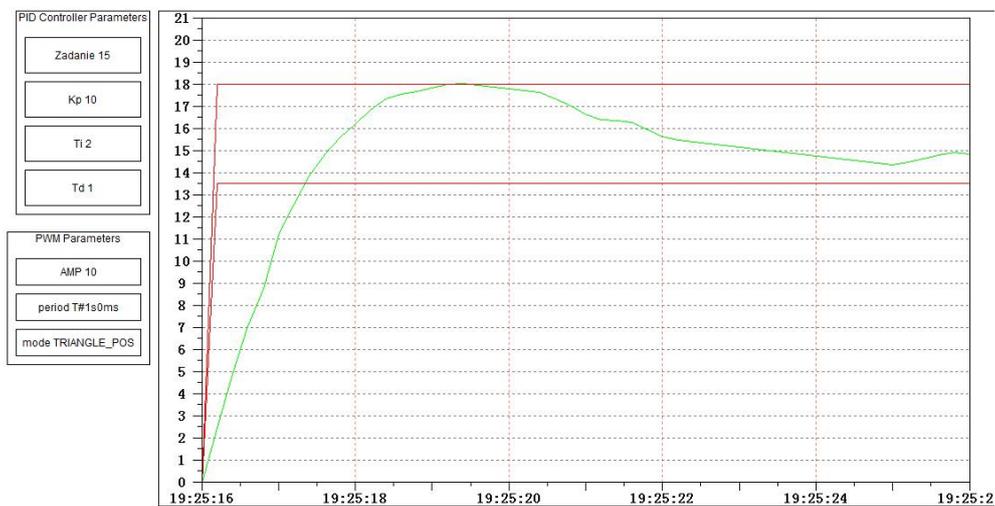


Рисунок 5.36 – Переходный процесс когда mode = TRIANGLE_POS

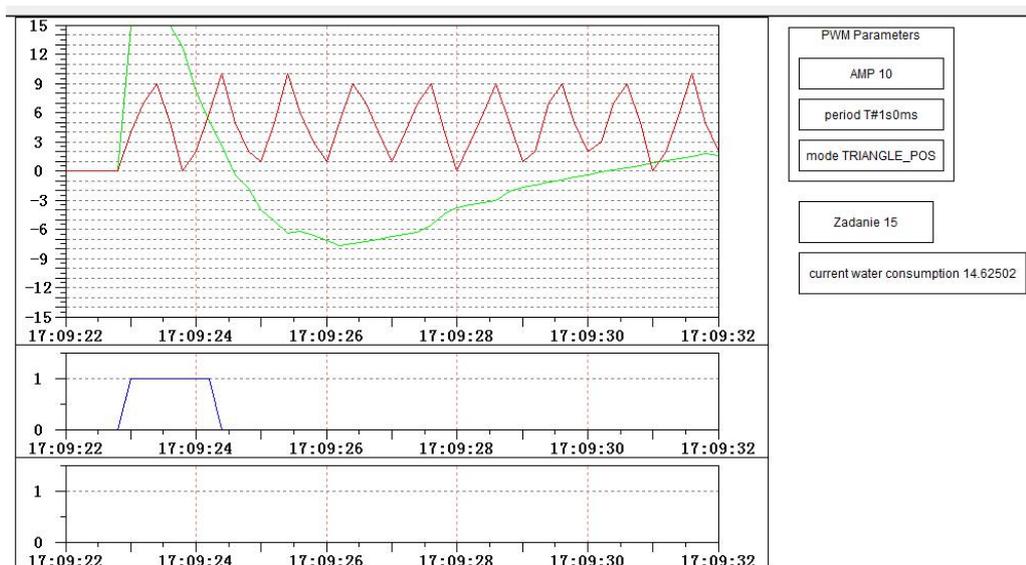


Рисунок 5.37 – Состояние клапана когда mode = TRIANGLE_POS

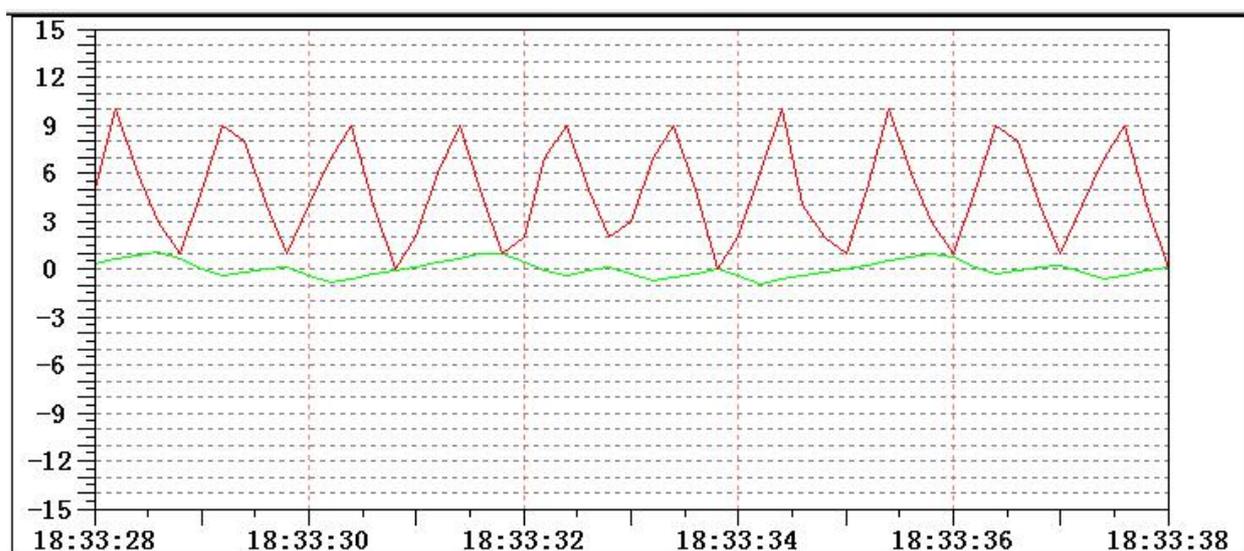


Рисунок 5.38 – ошибка в конечном состоянии $u(t)$ при mode равном TRIANGLE_POS

Анализируя результаты, представленные на рисунках 5.32 и 5.36 видим, что изменение формы пилообразного напряжения ШИМ на TRIANGLE, максимальное значение меньше 18, когда форма пилообразного напряжения ШИМ = TRIANGLE_POS, максимальное значение равно 18.

Из рисунка 5.32 видим, когда форма пилообразного напряжения для ШИМ = TRIANGLE, время регулирования меньше 10 с, из рисунка 5.36 видим, когда форма пилообразного напряжения для ШИМ = TRIANGLE_POS, время регулирования больше 10 с.

Из рисунка 5.34 и 5.38 видим, что в обоих случаях ошибка в конечном

состоянии равны 1.

поэтому переходим к выводу:

Вывод

При постоянных амплитуде и периоде ШИМ, изменение формы модулирующего пилообразного напряжения ШИМ с TRIANGLE на TRIANGLE_POS приводит к увеличению перерегулирования и времени регулирования, но максимальное значение ошибки в конечном состоянии не изменяется.

улирующее напряжение ШИМ на SAWTOOTH_RISE.

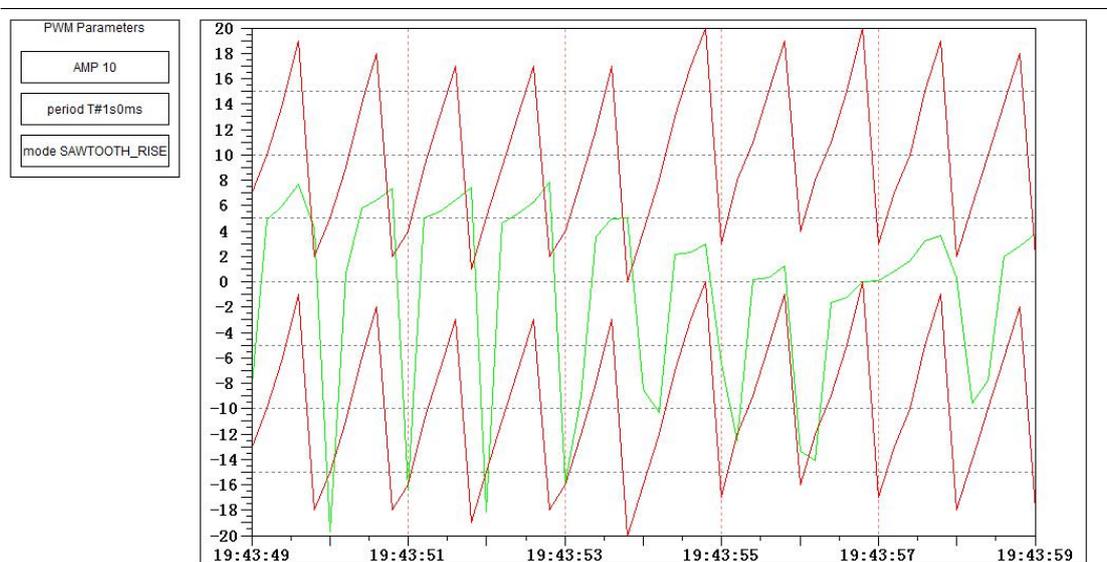


Рисунок 5.39 – Состояние ШИМ когда mode = SAWTOOTH_RISE

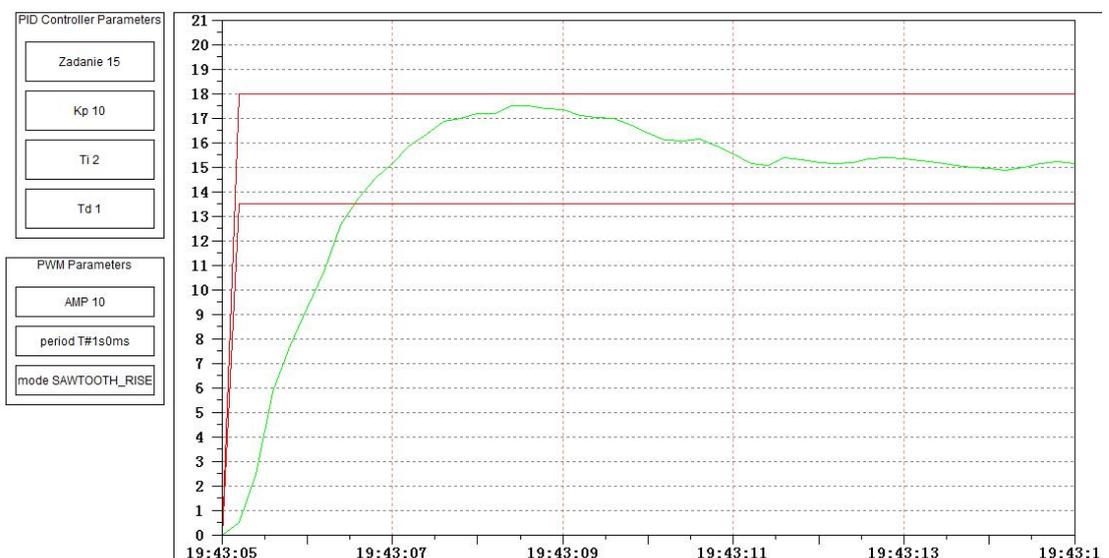


Рисунок 5.40 – Переходный процесс когда mode = SAWTOOTH_RISE

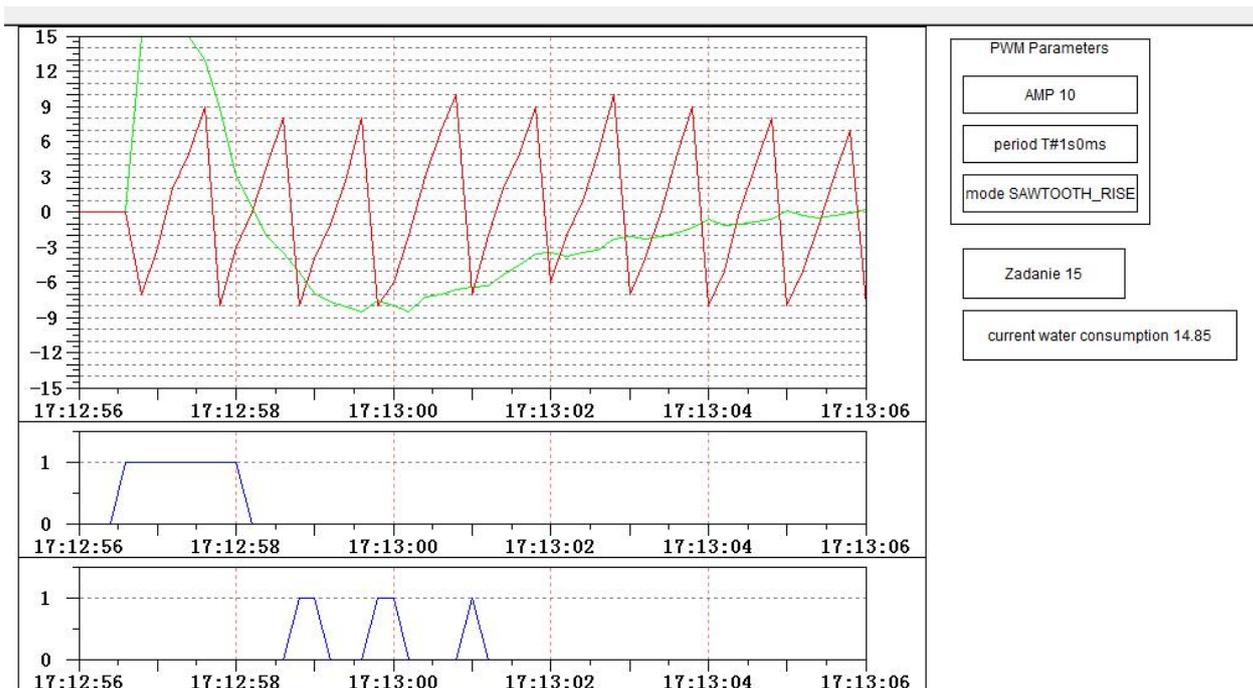


Рисунок 5.41 – Состояние клапана когда mode = SAWTOOTH_RISE

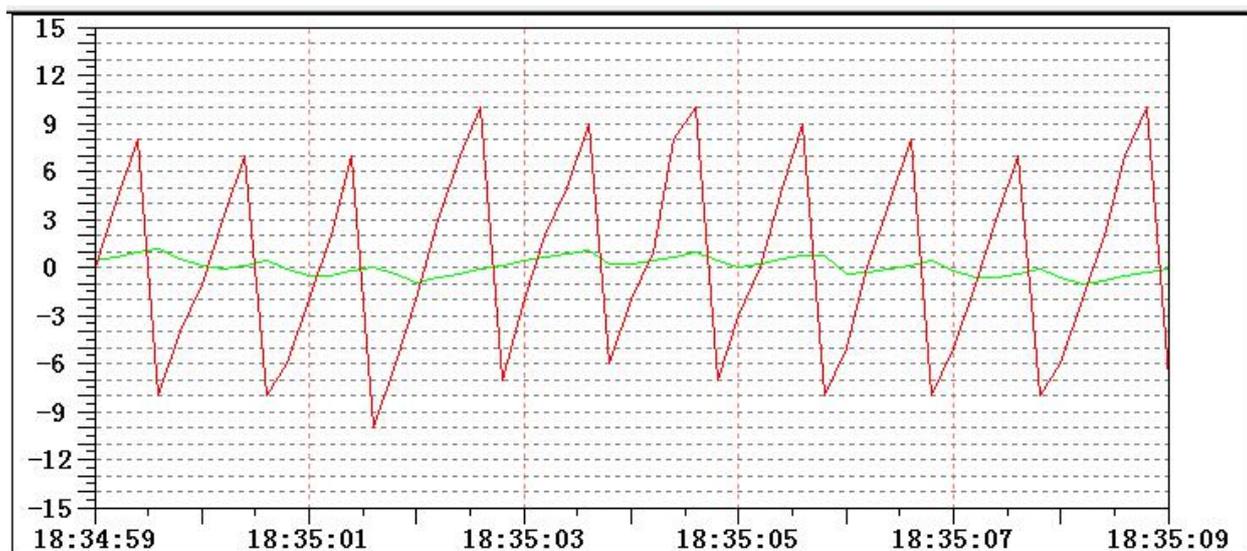


Рисунок 5.42 – ошибка в конечном состоянии $u(t)$ при mode равном SAWTOOTH_RISE

Анализ рисунков 5.36 и 5.40 показывает, что изменение форма пилообразного напряжения для ШИМ с TRIANGLE_POS на SAWTOOTH_RISE, перерегулирование уменьшается. Аналогичные изменения происходят и с временем регулирования.

Из рисунка 5.38 и 5.42 видим, что в обоих случаях ошибка в конечном состоянии равны 1.

Вывод

При постоянных амплитуде и периоде ШИМ, изменение формы модулирующего напряжения ШИМ с TRIANGLE_POS на SAWTOOTH_RISE приводит к уменьшению перерегулирования и времени регулирования, но максимальное значение ошибки в конечном состоянии не изменяется.

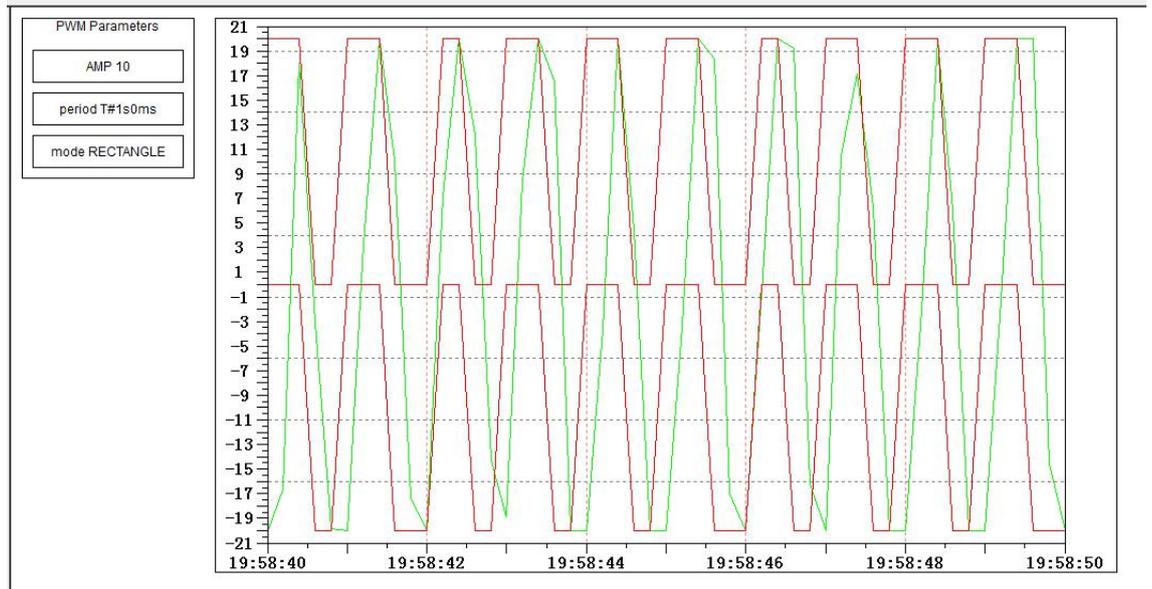


Рисунок 5.43 – Состояние ШИМ когда mode = RECTANGLE

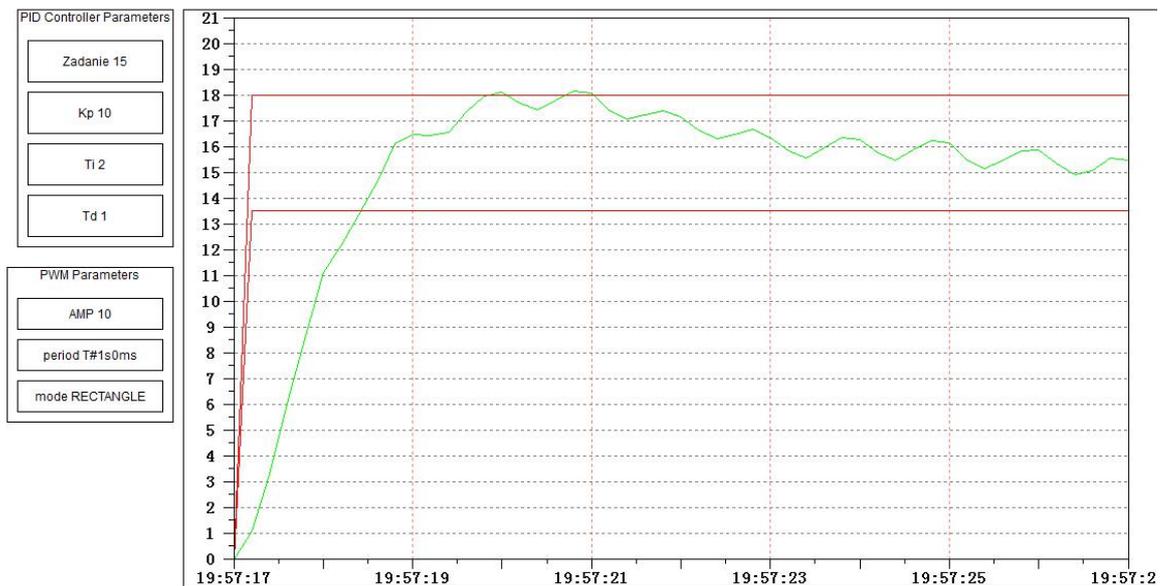


Рисунок 5.44 – Переходный процесс когда mode = RECTANGLE

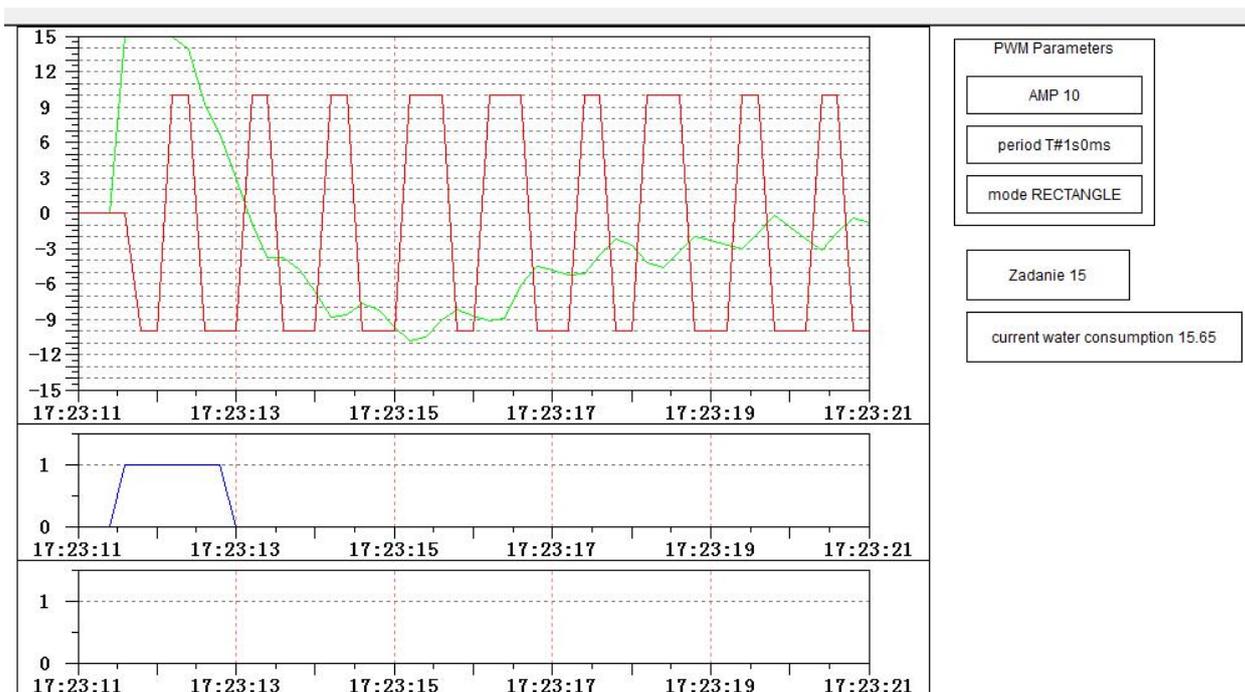


Рисунок 5.45 – Состояние клапана когда mode = RECTANGLE

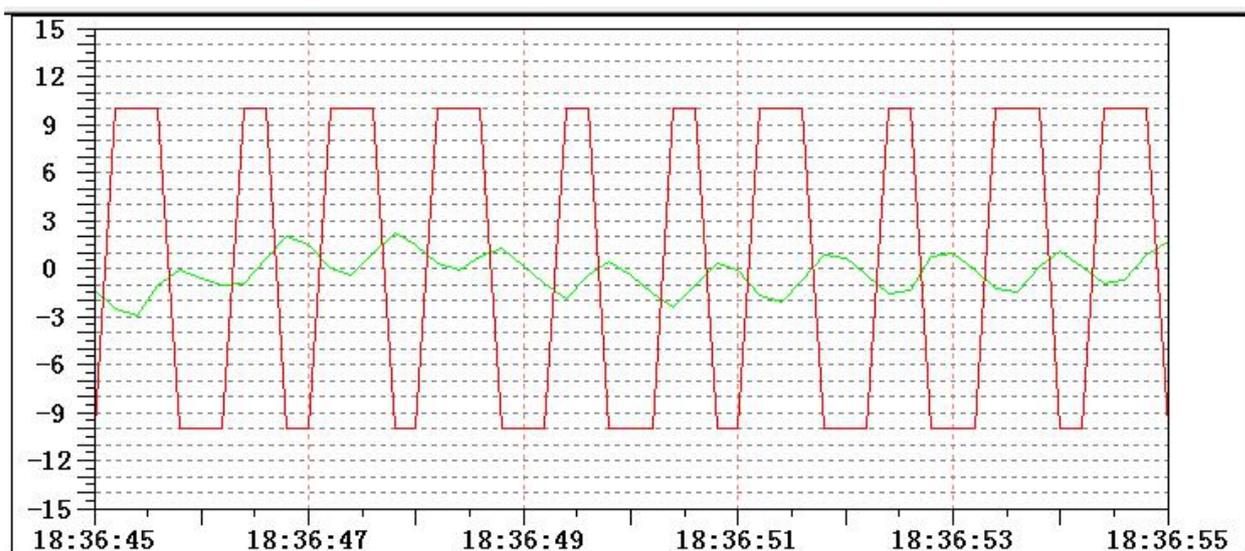


Рисунок 5.46 – ошибка в конечном состоянии $u(t)$ при mode равном RECTANGLE

Аналогичные эксперименты были проведены для модулирующих напряжений ШИМ SAWTOOTH_RISE и RECTANGLE. Результаты экспериментов представлены на рисунках 5.40 и 5.44.

Сравнение результатов, представленных на рисунке 5.42 и 5.46 показывает, что максимальное значение в конечном состоянии в случае, когда mode=SAWTOOTH_RISE меньше чем, максимальное значение в конечном состоянии в случае, когда mode=RECTANGLE.

Вывод

При постоянных амплитуде и периоде для ШИМ, изменение формы модулирующего пилообразного напряжения ШИМ изменена с SAWTOOTH_RISE на RECTANGLE приводит увеличению перерегулирования и времени регулирования и максимального значения ошибки в конечном состоянии – $u(t)$.

Все расчетные показатели качества экспериментальных исследований сведены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Расчетные показатели качества экспериментальных исследований

Качественные показатели		Перерегулирование δ	Время регулирования t_p/c	Максимальное значение ошибка в конечном состоянии — $u(t)$
A (T=1c, mode=TRIANGLE)	1	12.7 %	9	1.5
	10	19.3 %	7	1
T/c (A=10, mode=TRIANGLE)	1	19.3 %	7	1
	5	12 %	10	3
mode (A=10, T=1c)	TRIANGLE	19.3 %	7	1
	TRIANGLE_POS	20 %	10	1
	SAWTOOTH_RISE	18 %	7	1
	RECTANGLE	20.7 %	9.5	2

6. Заключение

В ходе выполнения ВКР изучены принципы преобразования непрерывного выходного сигнала ПИД-регулятора в импульсный сигнал с помощью широтно-импульсного модулятора. Такая задача возникает в случае использования исполнительных механизмов с импульсным управлением.

Разработаны алгоритмы и программы регулирования расхода, выполнены эксперименты на реальном объекте, позволяющие сделать выводы о влиянии параметров модулирующего напряжения ШМИ на качественные показатели переходного процесса, возникающего при ступенчатом управляющем воздействии в замкнутом контуре регулирования.

Получены следующие выводы.

Основной вывод заключается в том, что увеличение амплитуды модулирующего напряжения при любой его форме приводит к увеличению перерегулирования и уменьшению времени регулирования.

Увеличение периода ШИМ также является значимым возмущающим воздействием и ухудшает показатели качества. Но с другой стороны сокращение управляющих воздействий на исполнительный механизм, что при увеличении периода ШИМ является положительным моментом.

Влияние формы модулирующего напряжения на показатели качества переходного процесса показывает, что наиболее приемлемым модулирующим напряжением является пилообразное напряжение SAWTOOTH_RISE с амплитудой от $-AMPL$ до $+AMPL$.

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью работы является разработка автоматизированной системы регулирования расхода и исследование влияния параметров ШИМ на качественные показатели процесса регулирования расхода. В ходе работы разработан алгоритм управления. В среде CoDesys разработана программа, обеспечивающая регулирование расхода жидкости с помощью импульсного исполнительного механизма, управление на который формируется широтно-импульсным преобразователем. Проведено исследование, позволяющее оценить влияние параметров ШИМ на качественные показатели регулирования.

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

В настоящее время перспективы научных исследований не зависят от масштаба открытия, и масштаб открытия может быть трудно оценить на начальном этапе жизненного цикла высокотехнологичных и ресурсосберегающих продуктов, но его ценность сопоставима. Оценка коммерческой ценности (потенциала) развития является предварительным условием для нахождения источника финансирования исследований и коммерциализации его результатов.

7.1 Организация и планирование ОКР (НИР) работ

При организации процесса реализации конкретных проектов необходимо оптимально планировать ситуацию с занятостью и личным рабочим временем каждого участника.

На этом этапе составляется полный список работ и определяются их исполнители и оптимальная продолжительность. Результатом рабочего плана является сетевой план или линейный план реализации проекта. Наиболее удобный, простой и интуитивно понятный метод для этих целей - использовать линейные графики. Для его построения мы составим список работ и

соответствие между произведениями и исполнителями, продолжительностью работ и перечислим их в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Подготовительный этап		
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 80% И – 80%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 100%
Изучение предметной области	И	И – 100%
<i>Разработка программы и мнемосхемы</i>		
Разработка программы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка мнемосхемы	НР, И	НР – 10% И – 100%
<i>Экономическое обоснование</i>		
Анализ перспективности разработки, оценка целесообразности разработки и затрат	И	И – 100%

Продолжение таблицы 7.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

<i>Анализ опасных и вредных производственных факторов</i>		
Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, защита в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	И	И – 100%
<i>Документирование</i>		
Составление и согласование расчетно-пояснительной записки	НР, И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 100% И – 100%

7.1.1 Определение продолжительности этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых ОКР (НИР) процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами, то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя ОКР (НИР) не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой ОКР (НИР). В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов (этапов работы).

Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ $t_{ож}$ применяется по усмотрению исполнителя одна из двух формул.

Для определения ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ применяется вероятностный метод – метод двух оценок t_{min} и t_{max} .

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

Для выполнения перечисленных в таблице 7.5 работ требуются специалисты:

- инженер или научный сотрудник – в его роли действует исполнитель ВКР;
- научный руководитель ВКР.

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

$$T_{рД} = \frac{t_{ож}}{k_{ВН}} \cdot k_{Д} \quad (7.2)$$

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

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

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

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ($T_{кД}$) ведется по формуле 5.3:

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

где $T_{К}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле 7.4:

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

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

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

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

$$T = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1.205$$

В таблице 7.2 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 7.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

<i>Этап</i>	<i>Исполнители</i>	<i>Продолжительность работ, дни</i>			<i>Длительность работ, чел/дн.</i>			
		<i>t_{min}</i>	<i>t_{max}</i>	<i>t_{ож}</i>	<i>ТРД</i>		<i>ТКД</i>	
					<i>НР</i>	<i>И</i>	<i>НР</i>	<i>И</i>
<i>Подготовительный этап</i>								
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	2	5	3.2	3.84	-	4.63	-
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	3	4	3.4	4.08	0.41	4.92	0.49
Разработка календарного плана	НР, И	2	4	2.8	3.36	3.36	4.05	4.05
Изучение предметной области	И	6	10	7.6	-	9.12	-	10.99

Продолжение таблицы 7.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

<i>Разработка программы и мнемосхемы</i>								
Разработка программы	И	12	17	14	-	16.8	-	20.24
Разработка мнемосхемы	И	6	9	7.2	-	8.64	-	10.41
<i>Экономическое обоснование</i>								
Анализ перспективности разработки, оценка целесообразности разработки и затрат	И	4	6	4.8	–	5.76	-	6.94

Продолжение таблицы 7.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

<i>Анализ опасных и вредных производственных факторов</i>									
Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды защита в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	И	2	4	2.8	-	3.36	-	4.05	
<i>Документирование</i>									
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	3	6	4.2	-	5.04	-	6.07	
Оформление графического материала	И	2	5	3.2	-	3.84	-	4.63	
Поведение итогов	НР, И	4	7	5.32	6.38	6.38	7.69	7.69	
Итого:				58.52	17.66	62.71	21.29	75.56	

7.1.2 Расчёт накопления готовности работ

Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов выполнена работа на каждом этапе. Данная величина вычисляется по формуле:

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{ОБЩ}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{ОБЩ}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}} \quad (7.5)$$

где $TP_{общ.}$ – общая трудоемкость проекта;

$TP_i(TP_k)$ – трудоемкость i -го (k -го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;

TP_i^H – накопленная трудоемкость i -го этапа проекта по его завершении;

$TP_{ij} (TP_{kj})$ – трудоемкость работ выполняемых j -м участником на i -м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$, – индекс исполнителя, $m = 2$.

Результаты вычислений отражены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

<i>Этап</i>	<i>TP_i, %</i>	<i>CG_i, %</i>
Постановка целей и задач, получение исходных данных	2,03	2,03
Составление и утверждение ТЗ	10,47	12,5
Разработка календарного плана	4,07	16,57
Изучение предметной области	12,93	29,5
Расчет модели, приведение полученных результатов	25,67	55,17
Оформление методики разработки программы	15,87	71,04

Продолжение таблицы 7.3 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Анализ перспективности разработки, оценка целесообразности разработки и затрат	6,13	77,17
Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, защита в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	4,53	81,7
Составление и согласование расчетно-пояснительной записки	7,7	89,4
Оформление графического материала	5,53	94,93
Подведение итогов	5,07	100

Таблица 7.4— Линейный график работ (пример)

Этап	НР	И	Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	4.63	–	■										
2	4.92	0.49	■	■									
3	4.05	4.05		■	■								
4	–	10.99			■	■							
5	–	20.24				■	■	■					
6	–	10.41					■	■					
7	–	6.94						■	■				
8	–	4.05							■	■			
9	–	6.07								■	■		
10	–	4.63									■	■	
11	7.69	7.69										■	■

НР – ■ И – ■

7.2 Расчёт сметы затрат на выполнение проекта

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

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

Если расходы, по каким-либо из перечисленных статей отсутствуют, например арендная плата или командировочные расходы, то соответствующие пункты сметы следует опустить без пояснений.

7.2.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю.

Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это (5 – 20) %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах.

Таблица 7.5 – Расходные материалы

<i>Наименование материалов</i>	<i>Цена за ед., руб.</i>	<i>Количество</i>	<i>Сумма, руб.</i>
Бумага для принтера формата А4	200	1 уп.	200
Ручка шариковая	20	2 шт.	40
Карандаш	20	1 шт.	20
Оплетка для расчетно-пояснительной записки	50	1 шт.	50
Итого:			310

Пусть ТЗР составляет 5% от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны:

$$C_{\text{мат}} = 220 \cdot 1.05 = 325.5 \text{ рублей.} \quad (7.6)$$

7.2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера или МНС (в его роли выступает исполнитель проекта), включая премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада. Величины месячных окладов (МО) для сотрудников ТПУ можно получить на его портале (*Главная → Структура ТПУ → Управление первого проректора → Планово-финансовый отдел → Регламентирующие документы*). Оклад инженера (МНС) принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации в организации, на базе которой выполнялась ВКР или где исполнитель проходил преддипломную практику. При отсутствии этих данных берется оклад инженера (МНС) собственной кафедры (лаборатории).

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формулам:

$$ЗП_{\text{дн-т-6}} = \text{МО}/25.083$$

$$ЗП_{\text{дн-т-5}} = \text{МО}/20,75 \quad (7.7)$$

Расчета затрат на полную заработную плату приведены в таблице 7.6. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 7.2. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и(6)}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$. Вышеуказанное значение $K_{\text{доп.ЗП}}$ применяется при 6-дневной рабочей неделе, при 5-дневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_{\text{и(5)}} = 1,59$.

Таблица 7.6 – Затраты на основную заработную плату

<i>Исполнитель</i>	<i>Оклад, руб./мес</i>	<i>Среднедневная ставка, руб./день</i>	<i>Затраты времени, дни</i>	<i>Коэффициент</i>	<i>Фонд з/платы, руб.</i>
НР	21325.56	850.19	7	1.699	10111.31
И	17765	856.14	70	1.59	95288.38
<i>Итого:</i>					105399.69

Примечание – для «И» здесь принята 5-дневная неделя.

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили

$$C_{зп} = 105399.69 \text{ руб.}$$

7.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $C_{соц.} = C_{зп} * 0,3$. Итак, в нашем случае $C_{соц.} = 105399.69 * 0.3 = 31619.91$ руб.

7.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{эл.об.} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot Ц_{э} \quad (7.8)$$

где $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{э}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $Ц_{э} = 6,59$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 7.2 для инженера ($T_{рд}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{об} = T_{рД} * K_t, \quad (7.9)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{рД}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{об}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном.} * K_C \quad (7.10)$$

где $P_{ном.}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 7.7.

Таблица 7.7—Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$ час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты Эо руб.
Персональный компьютер	290	0.5	955.55
Струйный принтер	2.3	0.2	3.0314
Итого:			958.58

7.2.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула:

$$C_{AM} = \frac{H_A * C_{OB} * t_{рф} * n}{F_d}, \quad (7.11)$$

где H_A – годовая норма амортизации единицы оборудования $H_A = 33,3\%$;

C_{OB} – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.; $C_{OB} = 40000$ руб.

F_d – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку C_{AM} . Например, для ПК в 2015 г. (298 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять $F_d = 298 * 8 = 2384$ часа;

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

Для ПК это 2–3 года. [Если актуальный тип основных средств в приложении отсутствует, следует обратиться к полному тексту постановления, его дополнительные адресные реквизиты «от 1.01.2002 г. № 1 в редакции от 10.12.2010 г.»] Необходимо задать конкретное значение CA из указанного интервала, например, 2,5 года. Далее определяется HA как величина обратная CA , в данном случае это $1 / 2,5 = 0,4$.

Стоимость ПК 56000 руб., время использования 290 часа, тогда для него $САМ(ПК) = (0,4 * 56000 * 290 * 1) / 2408 = 2697,67$ руб. Стоимость принтера 18000 руб., его $F_d = 580$ час.; $HA = 0,5$; $t_{рф} = 25$ час., тогда его $САМ(Пр) = (0,5 * 18000 * 25 * 1) / 580 = 387,93$ руб. Итого начислено амортизации 3085,6 руб.

7.2.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)

Сюда относятся:

- командировочные расходы, в т.ч. расходы по оплате суточных, транспортные расходы, компенсация стоимости жилья;
- арендная плата за пользование имуществом;
- оплата услуг связи;
- услуги сторонних организаций.

Норма оплаты суточных – 100 руб./день. Отметим, что в любых расходах этой группы отсутствуют транспортно-заготовительные составляющие. Не должны учитываться в составе всех статей сметы затраты на проезд от места проживания до места работы и обратно (в том числе и во время пребывания в командировке), считается, что они покрываются заработной платой или оплатой суточных.

Время пребывания в командировке составило 60 календарных дней (с учетом дней приезда и отъезда); оплата проживания в общежитии 50 руб./день*55 дней = 2750 руб. (основные расходы за счет принимающей стороны); оплата проезда по ж.д. в обе стороны – 4500 руб.; аренда специальных приборов – 4000 руб.; почтовые расходы – 220 руб.; консалтинговые услуги – 1300 руб. Итого по данному пункту $C_{\text{нр}} = (60 - 1) \cdot 100 + 2750 + 4500 + 4000 + 220 + 1300 = 18670$ руб.

7.2.7 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1$$

Для нашего примера это

$$C_{\text{проч.}} = (325.5 + 105399.69 + 31619.91 + 958.58 + 3085.6 + 18670) \cdot 0.1 = 16005.93 \text{ руб.}$$

7.2.8 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Макет демонстрационной модели принципов КТ»[Тема условная].

Таблица 5.8—Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	325.5
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	105399.69
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	31619.91
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	958.55
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	3085.6
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	18670
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	16005.93
Итого:		176065.18

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 176065.18$ руб.

7.2.9 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере (5 – 20) % от полной себестоимости проекта. В нашем работе она составляет 35213.036 руб. (20 %) от расходов на разработку проекта.

7.2.10 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(176065.18 + 35213.036) * 0.2 = 211278.216 * 0.2 = 42255.64$ руб.

7.2.11 Цена разработки ОКР (НИР)

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае:

$$Ц_{\text{ОКР (НИР)(КР)}} = 176065.18 + 35213.036 + 42255.64 = 253533.9 \text{ руб.}$$

7.3 Определение срока окупаемости инвестиций (PP – payback period)

Срока окупаемости инвестиций рассчитывается по формуле (7.12).

$$PP = \frac{I_0}{PP_{ч}}, \quad (7.12)$$

где I_0 – величина инвестиций;

$PP_{ч}$ – годовая чистая прибыль.

Формула (7.12) применяется когда величины $PP_{ч}$ примерно равны по годам эксплуатационной стадии проекта. В других случаях используется формулой (7.13).

$$PP = n_{цj} + \frac{\Delta PP_{чj}}{PP_{чj+1}}, \quad (7.13)$$

где $n_{цj}$ – целое число лет, при котором накопленная сумма прибыли наиболее близка к величине инвестиций I_0 , но не превосходит ее;

$\Delta PP_{чj}$ – непокрытая часть инвестиций по истечении $n_{цj}$ лет реализации проекта;

$PP_{чj+1}$ – прибыль за период, следующий за $n_{цj}$ -м.

Расчет приведен в таблице (7.9)

Таблица 7.9 – Накопленные денежные поступления по проекту

Год	Инвестиции	Прибыль	Накопленный денежный поток
0	-14.5	0	-14.5
1		2.5	-12
2		6.5	-5.5

Продолжение таблицы 7.9 – Накопленные денежные поступления по проекту

3		4.8	-0.7
4		3.0	2.3
5		2.5	4.8

Здесь 3-й год эксплуатационного периода дает минимум непокрытого остатка (0.7) инвестированной суммы 14.5 млн. руб., следовательно, $n_{цj}=3$. Тогда

$$\frac{\Delta PR_{чj}}{PR_{чj+1}} = 0.7/2.3 = 0.30; \text{ следовательно, } PP = 3.3 \text{ лет.}$$

Величина накопленного чистого эффекта определяется по формуле (7.14):

$$NPV = \sum_{j=1}^n PR_{чj} - I_0 \quad (7.14)$$

где n – продолжительность в годах периода оценки эффекта.

В случае, когда период реализации проекта больше одного года и величины $PR_{ч}$ существенно различаются по годам реализационного периода, то необходимо учесть изменение ценности денег во времени.

В таком случае при расчете по формулам (7.12) – (7.14) вместо величин $PR_{чj}$ и $PR_{чj+1}$ следует использовать их дисконтированные аналоги, которые получаются путем деления $\Delta PR_{чj}$ и $PR_{чj+1}$ на $(1+i)^j$, где i – ставка дисконтирования.

В таблице 7.10 показано определение значения PP для тех же исходных данных, что и в таблице 7.9, с учетом убывания реальной стоимости результатов в будущие периоды (годы) относительно периода инвестирования – чем дальше в будущее, тем она меньше на единицу номинального эффекта, принято, что $i = 0,1$.

Таблица 7.10—Расчет дисконтированного срока окупаемости

Год	Инвестиции	Номинальная прибыль	Коэффициент дисконтирования $1/(1+0,1)^j$	Дисконтированная прибыль	Накопленный денежный поток
0	-14.5	0	1	0	-14.5
1		2.5	0.9091	2.27275	-12.2273

Продолжение таблицы 7.10—Расчет дисконтированного срока окупаемости

2		6.5	0.8264	5.3716	-6.8557
3		4.8	0.7513	3.60624	-3.2495
4		3.0	0.683	2.049	-1.2005
5		2.5	0.6209	1.5523	0.35175

8. Социальная ответственность

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

В ходе данной работы разработка и исследование высокоэффективного источника питания для телекоммуникационного оборудования. Работа выполнялась в лаборатории ИОА СО РАН. Все работы выполнялись с использованием компьютера. Раздел также включает в себя оценку условий труда на рабочем месте, анализ вредных и опасных факторов труда, разработку мер защиты от них.

8.1 Производственная безопасность

8.1.1 Анализ выявленных вредных факторов

Отклонение показателей микроклимата в помещении

Проанализируем микроклимат в помещении, где находится рабочее место. Микроклимат производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Эти факторы влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата приведены в таблице 8.1 и 8.2

Таблица 8.1 - Оптимальные нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19-23	40-60	0.1
Теплый	23-25		0.1

Таблица 8.2 - Допустимые нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
	Нижняя допустимая граница	Верхняя допустимая граница		
Холодный	15	24	20-80	<0.5
Теплый	22	28	20-80	<0.5

Температура в теплый период года 23-25°С, в холодный период года 19-23°С, относительная влажность воздуха 40-60%, скорость движения воздуха 0,1 м/с.

Общая площадь рабочего помещения составляет 42м², объем составляет 147м³. По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 санитарные нормы составляют 6,5 м² и 20 м³ объема на одного человека. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

После анализа габаритных размеров рассмотрим микроклимат в этой комнате. В качестве параметров микроклимата рассмотрим температуру, влажность воздуха, скорость ветра.

В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством наличия легко открываемого оконного проема (форточки), а также дверного проема. По зоне действия такая вентиляция является общеобменной. Основным недостатком - приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более 40м³[12]. В нашем случае объем воздуха на одного человека составляет 42 м³, из этого следует, что дополнительная вентиляция не требуется. Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления с нагревом воды до 100°С, а в теплое время года – за счет кондиционирования, с параметрами

согласно [13]. Нормируемые параметры микроклимата, ионного состава воздуха, содержания вредных веществ должны соответствовать требованиям [14].

Превышение уровней шума

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он создается рабочим оборудованием, преобразователями напряжения, рабочими лампами дневного света, а также проникает снаружи. Шум вызывает головную боль, усталость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, память ухудшается, реакция уменьшается.

Основным источником шума в комнате являются компьютерные охлаждающие вентиляторы и. Уровень шума варьируется от 35 до 42 дБА. Согласно СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03, при выполнении основных работ на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 82 дБА [15].

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства индивидуальной защиты(СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума.

Средства коллективной защиты:

1. устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
2. изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов);
3. применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

Средства индивидуальной защиты:

1. применение спецодежды и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий

диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц до 2кГц, 2,5В/м в диапазоне от 2 до 400кГц [12]. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250нТл, и 25нТл в диапазоне от 2 до 400кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В [12]. В ходе работы использовалась ПЭВМ типа Acer VN7-791 со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В (основы противопожарной защиты предприятий ГОСТ 12.1.004 и ГОСТ 12.1.010 – 76.)[16].

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона при работе на ПЭВМ у человеческого организма сердечно-сосудистые, респираторные и нервные расстройства, головные боли, усталость, ухудшение состояния здоровья, гипотония, изменения сердечной мышцы проводимости. Тепловой эффект ЭМП характеризуется увеличением температуры тела, локальным селективным нагревом тканей, органов, клеток за счет перехода ЭМП на теплую энергию.

Предельно допустимые уровни облучения (по *ОСТ 54 30013-83*):

- а) до 10 мкВт/см² , время работы (8 часов);
- б) от 10 до 100 мкВт/см² , время работы не более 2 часов;
- в) от 100 до 1000 мкВт/см² , время работы не более 20 мин. при условии пользования защитными очками;
- г) для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см².

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ

1. защита временем;
2. защита расстоянием;

3. снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;

4. экранирование источника;

5. защита рабочего места от излучения;

СИЗ

1. Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

2. Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO_2).

Освещенности

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

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

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

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

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 7$ м, ширина $B = 6$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B, \quad (8.1)$$

где A – длина, м;
 B – ширина, м.
 $S = 7 \times 6 = 42 \text{ м}^2$

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

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

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

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

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (8.2)$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,
 h_p – высота рабочей поверхности над полом.

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

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2,0 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2 = 2,2 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{6}{2,2} = 2,72 \approx 3$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{7}{2,2} = 3,2 \approx 3$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 3 \cdot 3 = 9$$

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

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,2}{3} = 0,7 \text{ м}$$

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

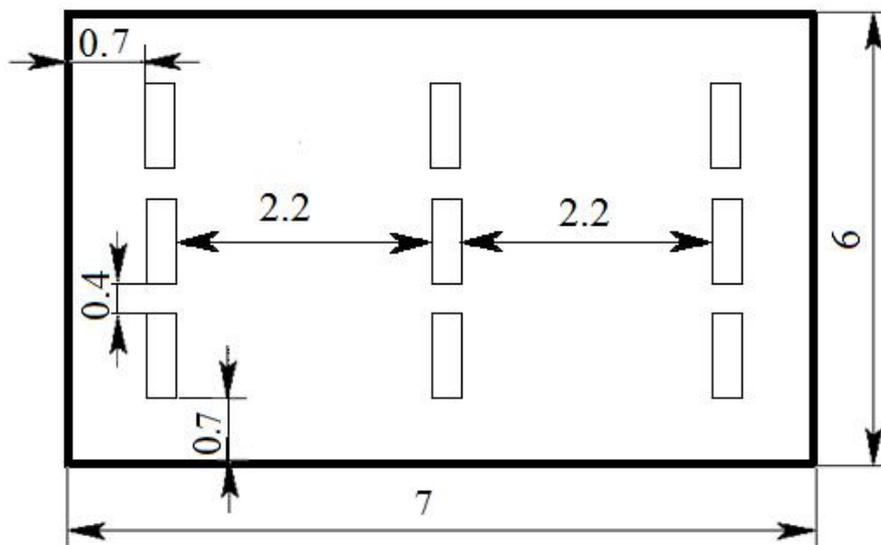


Рисунок 8.1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{7 \cdot 6}{2,0 \cdot (7 + 6)} = 1,6$$

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

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{П}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{9 \cdot 0,47} = 2457,44 \text{ лм} \quad (8.3)$$

где N —это количество ламп;

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$
$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{2600 - 2457,44}{2600} \cdot 100\% = 5,5\%.$$

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

$$P_{\text{оу}} = N \cdot P_{\text{одор}}$$

$$P_{\text{оу}} = 9 \cdot 40 = 360 \text{ Вт}$$

8.1.2 Анализ выявленных опасных факторов

Поражение электрическим током

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует повышенная влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного сприкосновения токоведущих элементов с заземленными металлическими корпусами оборудования [6].

Лаборатория относится к помещению с без повышенной опасностью поражения электрическим током. Безопасными номиналами являются: $I < 0,1 \text{ А}$; $U < (2-36) \text{ В}$; $R_{\text{зазем}} < 4 \text{ Ом}$. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Каждому необходимо знать меры медицинской помощи при поражении электрическим током. В любом рабочем помещении необходимо иметь медицинскую аптечку для оказания первой медицинской помощи.

Поражение электрическим током чаще всего наступает при небрежном обращении с приборами, при неисправности электроустановок или при их повреждении.

Для освобождения пострадавшего от токоведущих частей необходимо использовать непроводящие материалы. Если после освобождения пострадавшего из-под напряжения он не дышит, или дыхание слабое, необходимо вызвать бригаду скорой медицинской помощи и оказать пострадавшему доврачебную медицинскую помощь:

- обеспечить доступ свежего воздуха (снять с пострадавшего стесняющую одежду, расстегнуть ворот);
- очистить дыхательные пути;
- приступить к искусственной вентиляции легких (искусственное дыхание);
- в случае необходимости приступить к непрямому массажу сердца.

Любой электроприбор должен быть немедленно обесточен в случае:

- возникновения угрозы жизни или здоровью человека;
- появления запаха, характерного для горящей изоляции или пластмассы;
- появления дыма или огня;
- появления искрения;

- обнаружения видимого повреждения силовых кабелей или коммутационных устройств.

Для защиты от поражения электрическим током используют СИЗ и СКЗ.

Средства коллективной защиты:

1. Заземление источников электрического тока;
2. Использование щитов, барьеров, клеток, ширм, а также заземляющих и шунтирующих штанг, специальных знаков и плакатов.

Средства индивидуальной защиты:

Использование диэлектрических перчаток, изолирующих клещей и штанг, слесарных инструментов с изолированными рукоятками, указатели величины напряжения, калоши, боты, подставки и коврики.

Пожарная опасность

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

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории В – горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудногорючим материалам).

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

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

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

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

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

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

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

Для предупреждения пожара и взрыва необходимо предусмотреть:

1. специальные изолированные помещения для хранения и разлива легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), оборудованные приточно-вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении - соответствии с ГОСТ 12.4.021-75 и СНиП 2.04.05-86;

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

3. первичные средства пожаротушения на производственных участках (передвижные углекислые огнетушители ГОСТ 9230-77, пенные огнетушители ТУ 22-4720-80, ящики с песком, войлок, кошма или асбестовое полотно);

4. автоматические сигнализаторы (типа СВК-3 М 1) для сигнализации о присутствии в воздухе помещений до взрывных концентраций горючих паров растворителей и их смесей.

Лаборатория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 1, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.

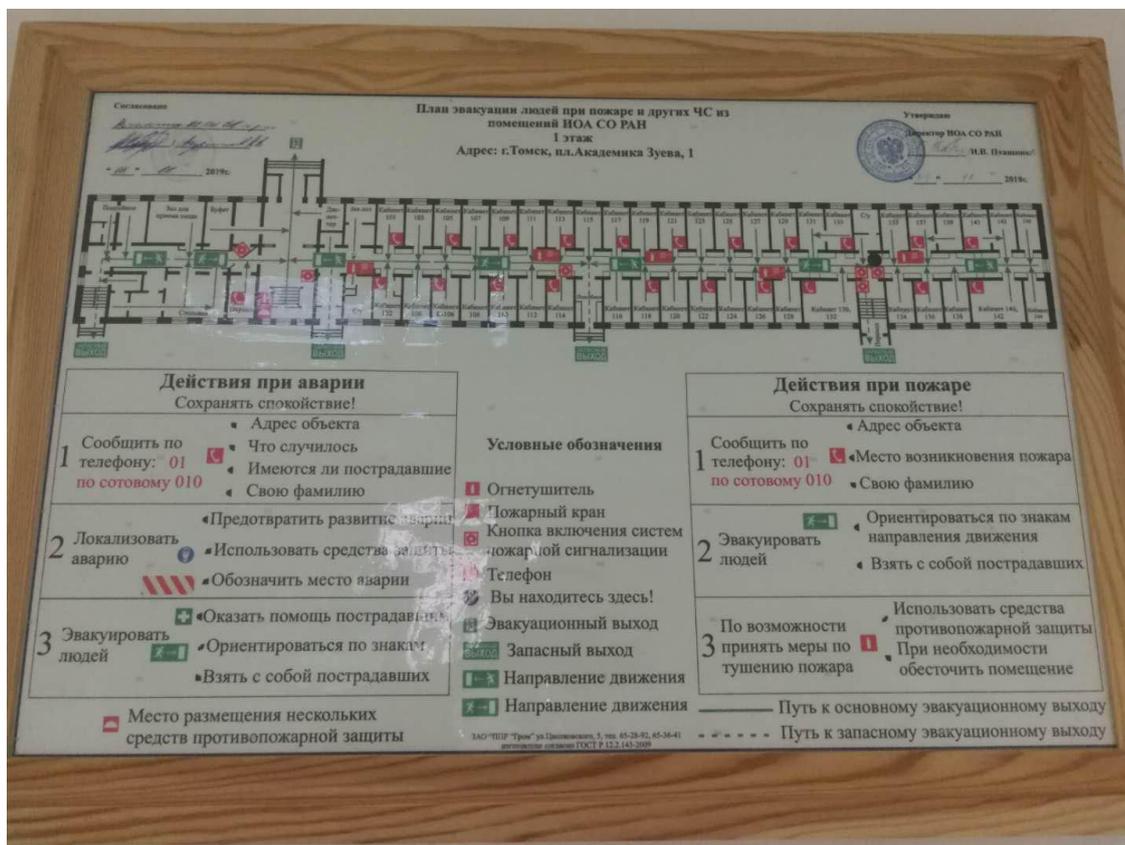


Рисунок 8.2 – План эвакуации

8.2 Экологическая безопасность

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

К таким веществам относятся:

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

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части компьютера подвергаются специально переработке[17];

Исходя из сказанного выше перед планированием покупки компьютера необходимо:

- Побеспокоится заранее о том, каким образом будет утилизирована имеющаяся техника, перед покупкой новой.

- Узнать насколько новая техника соответствует современным эко-стандартам и примут ее на утилизацию после окончания срока службы.

Утилизировать оргтехнику, а не просто выбрасывать на «свалку» необходимо по следующим причинам:

Во-первых, в любой компьютерной и организационной технике содержится некоторое количество драгоценных металлов. Российским законодательством предусмотрен пункт, согласно которому все организации обязаны вести учет и движение драгоценных металлов, в том числе тех, которые входят в состав основных средств. За несоблюдение правил учета, организация может быть оштрафована на сумму от 20000 до 30000 руб. (согласно ст. 19.14. КоАП РФ);

Во-вторых, предприятие также может быть оштрафовано за несанкционированный вывоз техники или оборудования на «свалку»;

Стадия утилизации, утилизируя технику мы заботимся об экологии: количество не перерабатываемых отходов минимизируется, а такие отходы, как пластик, пластмассы, лом черных и цветных металлов, используются во вторичном производстве. Электронные платы, в которых содержатся драгметаллы, после переработки отправляются на аффинажный завод, после чего чистые металлы сдаются в Госфонд, а не оседают на свалках.

Таким образом утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

1. Использовать услуги профессиональной компании по рециклингу, которая может приехать и забрать все приборы, которые планируется сдать в переработку.
2. Можно обратиться в местный муниципалитет по вопросу переработки электроники.

8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

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

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

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

В лаборатории ИОА СО РАН наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера.

ЧС техногенного характера — это ситуации, которые возникают в результате производственных аварий и катастроф на объектах, транспортных магистралях и продуктопроводах; пожаров, взрывов на объектах.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

Список использованных источников

1. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3. -Смоленск.: Типография компании Пролог, 2008.
2. Лоскутов А.Б. Программирование ПЛК в CoDeSys. / Лоскутов А.А., Зырин Д.В. -Нижний Новгород.: Типография НГТУ, 2018.
3. Петров И.В. Программируем временные сложности. / Пастушенков Д.В. -Смоленск.: Типография компании Пролог, 2004.
4. Чистофорова Н.В. Технические измерения и приборы. / Колмогоров А.Г. -Ангарск.: АГТА, 2008.
5. OWEN ПЛК 150 Контроллер программируемый логический. [Электронный ресурс]: – режим доступа:
https://masteropc.insat.ru/products/owen/re_plc150.pdf
6. Клапан запорно-регулирующий ЗРК 25ч945п Ду15-50 [Электронный ресурс]: – режим доступа: <https://tomsk.dn.ru/regulyator/reguliruiushchii-klapan/energotehnomash/zrk-25ch945p-s-belimo-150-gr>
7. Насос вихревой самовсасывающий APSm 37 [Электронный ресурс]: – режим доступа: <http://www.promsnab-tomsk.ru/product/15390>
8. Принцип действия ультразвукового расходомера [Электронный ресурс]: – режим доступа: <http://ultrasonic-time.ru/princip-dejstviya-ultrazvukovogo-rashodomera/>
9. Ультразвуковой расходомер DMTFC [Электронный ресурс]: – режим доступа: <http://tomsk.spectrnk.ru/products/ultrazvukovoj-rashodomer-dmtfc/>
10. CoDesys [Электронный ресурс]: - режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/CoDeSys>
11. Конотопский В.Ю. Методические указания к выполнению раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» - Томск.: Изд-во ТПУ, 2015.
12. ГОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности.
13. ГОСТ 12.4.154-85 “ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от

электрических полей промышленной частоты”

14. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

15. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".

16. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

17. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

Приложение А. Объявленные переменные блока «consumption»

FUNCTION_BLOCK consumption

VAR_INPUT

k: REAL;

END_VAR

VAR_OUTPUT

consum: REAL;

END_VAR

VAR

v: REAL:=1;

PCSA: REAL:=0.5;

Flowmetercolor: DWORD;

valvecolor: DWORD;

tankcolor: DWORD;

level: REAL;

f1: REAL:=1;

f2: REAL;

color: DWORD;

END_VAR

Приложение Б. Листинг программы блока «consumption»

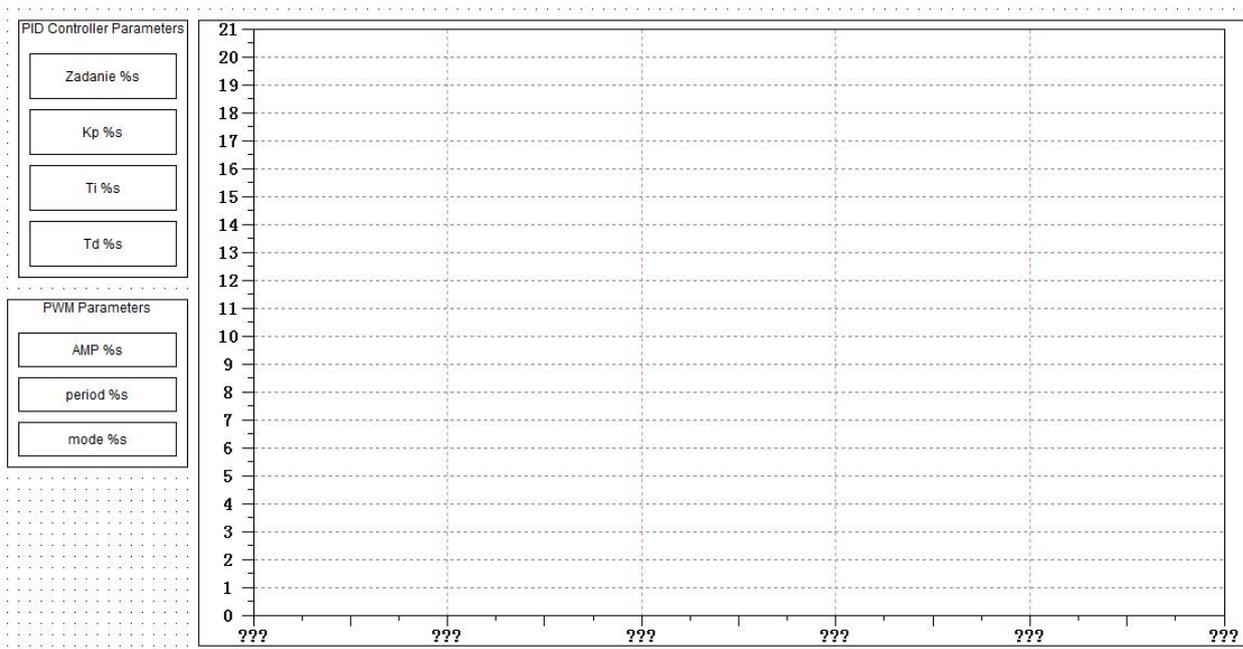
```
k:=1.5*w;
f2:=1.5*f1;
consum:=consum+0.5*(v-k*v);
IF consum <=0 THEN
consum:=0;
Flowmetercolor:=16#FFFFFF;
ELSE IF consum < 10 THEN
Flowmetercolor:=16#FFFF33;
ELSE IF consum < 20 THEN
Flowmetercolor:=16#33FF33;
ELSE IF consum < 30 THEN
Flowmetercolor:=16#FF0033;
ELSE IF consum < 40 THEN
Flowmetercolor:=16#FF33CC;
ELSE IF consum < 50 THEN
Flowmetercolor:=16#000099;
END_IF
END_IF
END_IF
END_IF
END_IF
END_IF
END_IF
IF otk = TRUE THEN
valvecolor:=16#FF0033;
ELSE IF otk = FALSE THEN
valvecolor:=16#FFFFFF;
END_IF
END_IF
IF zak = TRUE THEN
```

```

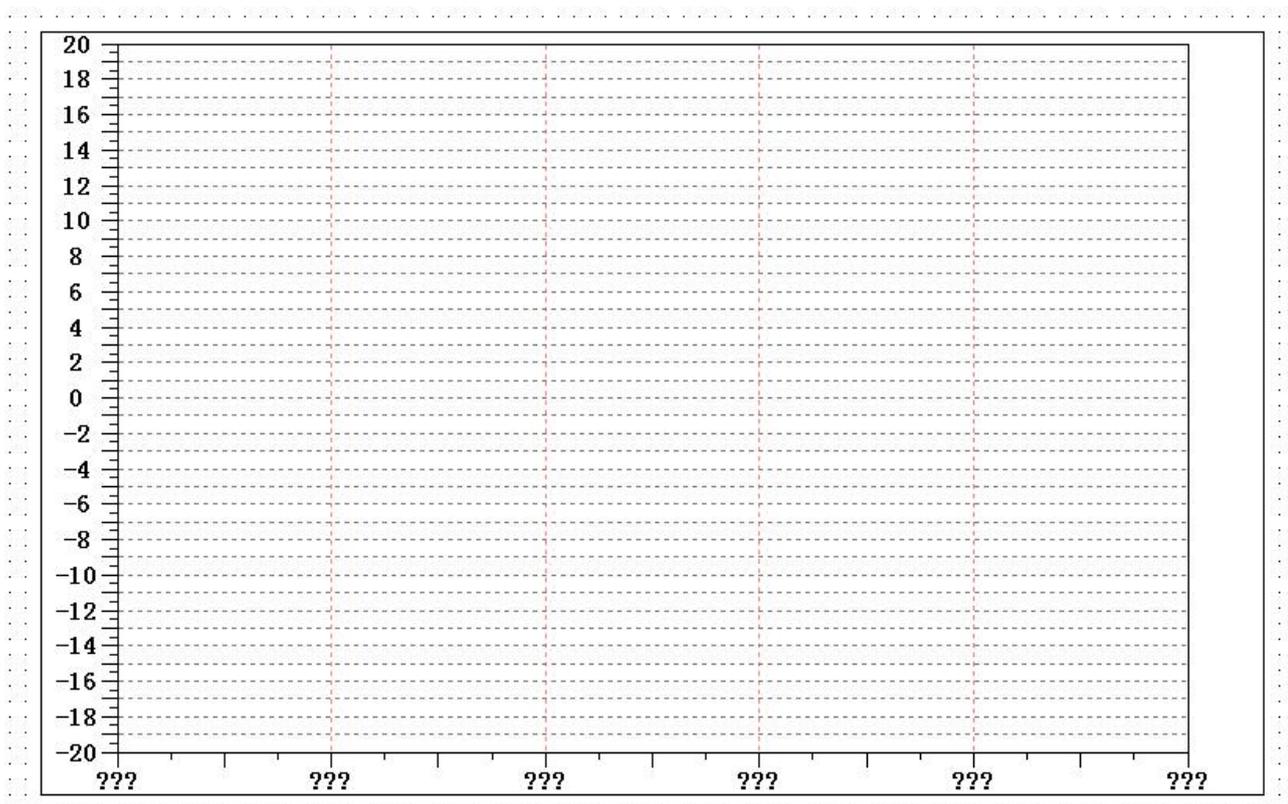
valvecolor:=16#0000FF;
ELSE IF zak = FALSE THEN
valvecolor:=16#FFFFFF;
END_IF
END_IF
IF level < 100 THEN
level:=level+(0.5*consum)/12.56;
ELSE IF level >= 100 THEN
level:=100;
END_IF
END_IF
IF level < 20 THEN
tankcolor:=16#FFFF33;
ELSE IF level < 40 THEN
tankcolor:=16#33FF33;
ELSE IF level < 60 THEN
tankcolor:=16#FF0033;
ELSE IF level < 80 THEN
tankcolor:=16#00CCFF;
ELSE IF level <= 100 THEN
tankcolor:=16#0000FF;
END_IF
END_IF
END_IF
END_IF
END_IF
IF level >= 100 THEN
color:=16#FF0033;
END_IF

```

Приложение В. Тренд переходного процесса



Приложение Г. Тренд ШИМ-преобразователя



Приложение Д. Тренд для представления состояния клапана

