

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

Школа Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.03.01 - Теплоэнергетика и теплотехника  
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.Н. Бутакова

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Искусственные нейронные сети в задачах управления технологическими процессами

УДК 004.7.032.26:681.586

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7В	Свириденко Александр Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова	Шидловский Станислав Викторович	д.т.н.		

### Консультанты по разделам

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Клемашева Елена Игоревна	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

### ДОПУСТИТЬ ДО ЗАЩИТЫ:

Руководитель специализации ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Атрошенко Юлиана Константиновна	к.т.н.		

## Запланированные результаты обучения

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Способен применять принципы системного мышления и подхода к решению профессиональных задач в теплоэнергетике, осуществлять поиск необходимой информации и применять при ее синтезе методику критического и логически правильного мышления	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P2	Формулировать задачи в области теплоэнергетики и теплотехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области теплоэнергетики и теплотехники	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P4	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях теплоэнергетики и теплотехники	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 Профессиональный стандарт «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P5	Умеет толерантно воспринимать специфику межкультурного разнообразия с соблюдением этических норм и учетом социально-исторического и философского контекста	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 Профессиональный стандарт «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
		автоматизированных систем управления технологическими процессами)
P6	Непрерывно самообучаться и совершенствовать свои компетенции в области теплоэнергетики и теплотехники	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P7	Поддерживать уровень физической подготовки, обеспечивающий полноценную социальную и профессиональную деятельность	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Учитывать социальные, правовые и культурные аспекты, вопросы охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности при осуществлении комплексной инженерной деятельности в области теплоэнергетики и теплотехники	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 Профессиональный стандарт «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P9	Применять знания о методах защиты в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций, навыки оказания первой помощи	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Способен осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 Профессиональный стандарт «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P11	Способен применять математические, естественнонаучные, инженерные знания, компьютерные технологии, методы анализа и моделирования в теоретических и экспериментальных исследованиях при решении профессиональных задач расчета тепловых процессов, оборудования и систем автоматизации в промышленных и энергетических установках	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P12	Способен вести инженерную деятельность, разрабатывать, оформлять и использовать техническую проектную и эксплуатационную документацию в соответствии с требованиями действующих нормативных документов	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P13	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач, владеть навыками выполнения специальных расчетов, разработки проектной и конструкторской документации при проектировании теплоэнергетического оборудования и построении АСУ ТП	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ПК(У)-2), CDIO Syllabus (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.015 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P14	Способен выполнять предпроектное обследование объектов проектирования, разработку эскизных проектов и предварительной технико-экономическое обоснование для теплового оборудования, объектов теплоэнергетики и автоматизированных систем	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ПК(У)-3), CDIO Syllabus (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P15	Способен применять знания методов и средств автоматизации и контроля параметров, навыков выполнения измерений, а также теоретических основ метрологии и стандартизации при осуществлении контроля параметров технологических процессов и показателей качества рабочего тела и при организации метрологического обеспечения технологических процессов в теплоэнергетике	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P16	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия для объектов теплоэнергетики	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P17	Способен применять знания физико-химических, технологических процессов и технических условий производства на тепловых и атомных электрических станциях, демонстрировать знания назначения и принципов работы микропроцессорных устройств, технологических защит и блокировок в процессе ввода и эксплуатации АСУ технологическими процессами	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)

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

Школа Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
 Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

**УТВЕРЖДАЮ:**  
 Руководитель специализации ООП  
 Ю.К. Атрошенко  
(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
5Б7В	Свириденко Александр Сергеевич

Тема работы:

Искусственные нейронные сети в задачах управления технологическими процессами	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2021
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Объект исследования резервуар типа РВСП-20000.</li> <li>2. Тип автоматического регулятора: - ПИ. - регулирование на базе технологии обучения с подкреплением (DDPG).</li> <li>3. Требования к АСР уровня в резервуаре РВСП-20000: - обеспечение степени затухания переходных процессов не ниже 0,90. - обеспечение минимума первого интегрального критерия.</li> </ol>
---------------------------------	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Аналитический обзор по литературным источникам (технология объекта, структуры автоматизации, технических средств контроля и автоматизации). Выбор оптимальных вариантов.</li> <li>2. Проектирование автоматической системы контроля и регулирования уровня в резервуаре типа РВСП-20000 на базе современных технических средств.</li> <li>3. Экспериментальное определение динамических характеристик объекта управления; параметрический синтез системы управления (расчет ОПН регулятора).</li> <li>4. Разработка модели в программном обеспечении MatLab.</li> <li>5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li> <li>6. Социальная ответственность.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Схема функциональная.</li> <li>2. Схема принципиальная электрическая щита управления.</li> <li>3. Схема монтажная.</li> <li>4. Общий вид щита управления.</li> </ol>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p><b>Финансовый менеджмент</b></p>	
<p><b>Социальная ответственность</b></p>	
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>01.12.20</p>
--	-----------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Профессор НОЦ И.Н. Бутакова</p>	<p>Шидловский Станислав Викторович</p>	<p>д.т.н.</p>		<p>01.12.20</p>

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5Б7В</p>	<p>Свириденко Александр Сергеевич</p>		<p>01.12.20</p>

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 90 с., 18 рисунков, 33 таблицы, 28 источников, 15 л. графического материала.

Ключевые слова: автоматическая система регулирования (АСР), уровень в резервуаре РВСП-20000, технические средства автоматизации, искусственная нейронная сеть, обучение с подкреплением.

Цель работы – разработка АСР уровня в резервуаре типа РВСП-20000 при помощи искусственной нейронной сети.

В данной работе выбрана структура АСР, разработана функциональная схема, принципиальная электрическая схема, монтажная схема и общий вид щита управления, произведен выбор технических средств автоматизации и составлена заказная спецификация, рассчитаны параметры настройки регулятора и проведен сравнительный анализ с искусственной нейронной сетью, проведена оценка коммерческой ценности проекта, а также рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

## Содержание

Введение.....	11
1 Обзор предметной области.....	12
1.1 Биологическое понятие нейрона и искусственные нейронные сети	12
1.2 Архитектура нейронных сетей .....	15
2 Основная часть .....	18
2.1 Описание технологического процесса.....	18
2.2 Выбор структуры автоматической системы регулирования .....	18
2.3 Разработка функциональной схемы автоматической системы регулирования .....	20
2.4 Выбор технических средств АСР уровня в резервуаре РВСП-20000 .	22
2.4.1 Выбор датчиков температуры .....	22
2.4.2 Выбор расходомеров .....	24
2.4.3 Выбор датчиков давления .....	25
2.4.4 Выбор уровнемеров .....	27
2.4.5 Выбор регулирующего устройства .....	28
2.4.6 Выбор исполнительного механизма .....	34
2.4.7 Разработка электрической схемы соединений щита управления.....	35
2.4.8 Разработка монтажной схемы автоматической системы регулирования .....	38
2.4.9 Разработка общего вида щита управления.....	39
3 Расчет динамических характеристик .....	40
3.1 Получение математической модели.....	40
3.2 Расчет параметров настройки ПИ-регулятора.....	42
4 Реализация системы .....	45



4.1	Реализация модели с классическим ПИ-регулятором.....	45
4.2	Реализация модели при помощи нейронной сети.....	47
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	52
	Введение.....	52
5.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	52
5.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования .....	52
5.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	53
5.1.3	SWOT-анализ .....	55
5.2	Планирование научно-исследовательских работ .....	56
5.2.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	56
5.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	58
5.3	Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	64
5.3.1	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ.....	64
5.3.2	Основная заработная плата исполнителей проекта.....	65
5.3.3	Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	67
5.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	67
5.3.5	Услуги сторонних организаций.....	68
5.3.6	Накладные расходы .....	68
5.3.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	69
5.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..	69
5.4.1	Интегральный показатель ресурсоэффективности .....	69
	Вывод по разделу .....	71

6 Социальная ответственность .....	74
Введение.....	74
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	74
6.1.1 Специальные трудовые нормы правового законодательства .....	74
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	76
6.2 Производственная безопасность .....	77
6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов.....	77
6.2.2 Обоснование мероприятий по снижению неблагоприятных воздействий.....	82
6.3 Экологическая безопасность.....	83
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	84
Вывод по разделу .....	85
Заключение .....	86
Список использованных источников .....	87
Графический материал (на отдельных листах):	
Схема структурная – ФЮРА.421000.018 С1;	
Схема функциональная – ФЮРА. 421000.018 С2;	
Заказная спецификация – ФЮРА. 421000.018 С01;	
Схема электрическая – ФЮРА. 421000.018 Э3;	
Перечень элементов – ФЮРА. 421000.018 ПЭ;	
Схема монтажная – ФЮРА. 421000.018 С4;	
Общий вид щита управления – ФЮРА. 421000.018 ВО;	
Перечень элементов щита управления – ФЮРА. 421000.018 ПВО.	

## **Введение**

В связи с переходом в новую индустриальную революцию (Индустрия 4.0), а именно переход на полностью автоматизированное производство, где управление будет происходить интеллектуальными системами, а не людьми, стали больше проводить исследований в области искусственных нейронных сетей. Что является одним из перспективных направлений будущего.

На сегодняшний день нейронные сети стали широко применяться в разных областях, таких как прогнозирование, оптимизация технологических процессов, распознавание образов и т.п. Одной из главных особенностей нейронных сетей является способность обучаться на основе полученных данных, и в результате повышать свою точность вычислений.

Нейронная сеть хорошо себя проявляет в поиске воспроизводимых комбинаций и автоматизации процессов, что в больших организациях делает технологию многофункциональной. Из этого следует, что в будущем можно создать окружающую среду, в которой искусственный интеллект заменит целый ряд функций, которые сегодня выполняются людьми.

Целью данной выпускной квалификационной работы является внедрение нейронной сети в технологический процесс, а также проведение сравнительных оценок полученных при помощи классического метода регулирования и при помощи нейронной сети.

## 1 Обзор предметной области

### 1.1 Биологическое понятие нейрона и искусственные нейронные сети

Первая модель нейронной сети была разработана в 1943 году Уорреном Мак-Каллоком и Волтером Питтсом. Основой для создания искусственных нейронных сетей послужила биологическая нейронная сеть, которая представляет ряд взаимосвязанных нейронов, выполняющие определенные функции. Одной из главной особенности нейрона является прием, обработка и передача сигналов по нервным путям, которые в свою очередь образуют коммуникационную систему мозга.

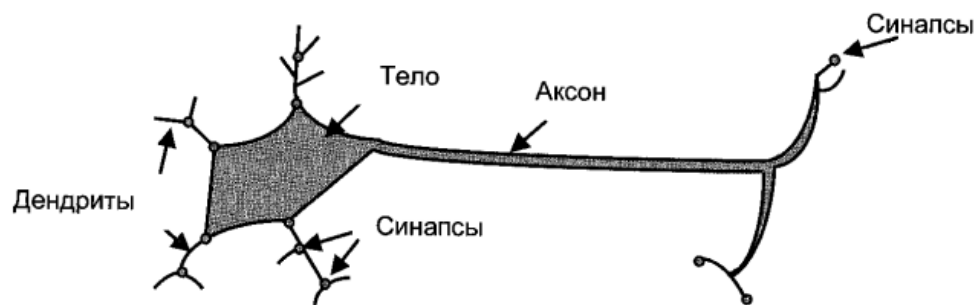


Рисунок 1.1 – Структура биологического нейрона

Строение нейрона включает три основные части: аксон, дендрит и тело клетки. Дендриты играют роль соединяющих звеньев, они принимают сигналы и передают ее другим нейронам при помощи синапсов. Синапсы в свою очередь принимают эту информацию, они подводят входные сигналы к телу нейрона. После чего входные сигналы суммируются, и когда суммарное возбуждение превышает определенный порог, нейрон возбуждается и посылает свой сигнал другим нейронам при помощи аксона.

Искусственная нейронная сеть это модель человеческого мозга, которая состоит из огромного количества нейронов. Скорость обработки информации нейрона равна приблизительно  $10^{18}$  операций в секунду, что

является очень высоким показателем по сравнению с современными компьютерами. Структура искусственного нейрона может быть представлена на основе биологического нейрона.

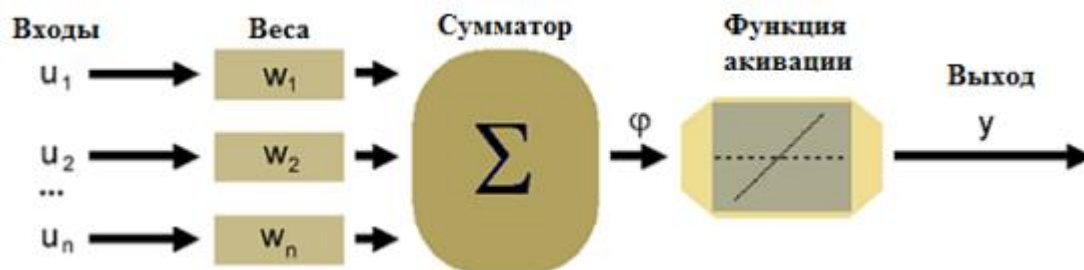


Рисунок 1.2 – Структура искусственного нейрона

На вход искусственного нейрона поступает множество сигналов, которые умножаются на соответствующие веса и затем суммируются. При помощи функции активации или передаточной функцией нейрона результат пересчитывается и посылается на выход нейрона.

Формула потенциала активации имеет следующий вид:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n w_i x_i = (X, W). \quad (1.1)$$

Если функция линейная, выходной сигнал может быть записан в следующем виде:

$$y = k\varphi. \quad (1.2)$$

Существует множество различных видов активационных функций, но более всего распространены следующие три вида:

- Пороговая функция;

$$(x) = \begin{cases} y = 1, & \text{если } S \geq P, \\ y = 0, & \text{если } S < P; \end{cases} \quad (1.3)$$

где  $P$  – некоторая постоянная пороговая величина.

- Сигмоидальная функция;

$$y = \frac{1}{1 + e^{-\alpha s}}, (\alpha < 0). \quad (1.4)$$

Данная функция активации используется для более точного моделирования биологического нейрона.

- Функция гиперболического тангенса.

$$y = \frac{e^{\beta s} - e^{-\beta s}}{e^{\beta s} + e^{-\beta s}}, (\beta < 0). \quad (1.5)$$

Функция гиперболического тангенса является S-образной функцией. В отличие от логической функции он симметричен относительно начала координат, и в точке  $S = 0$  значение выходного сигнала  $Y$  равно нулю. Функции гиперболический тангенс принимает значения различных знаков, что удобно для моделирования некоторых типов сетей. На рисунке 1.3 изображены графики функций активации.



Рисунок 1.3 – Графики функций активации

## 1.2 Архитектура нейронных сетей

Искусственные нейронные сети имеют несколько слоев, которые в основном состоят из входного, скрытого и выходного слоя. Слои состоят из узлов, которые между собой взаимосвязаны и имеют функцию активации. Изначально информация подается на входной слой, который связан со скрытыми слоями, где обработка данных происходит через систему взвешенных связей. После обработки данных скрытые слои соединяются с выходным слоем, на который выводится ответ.

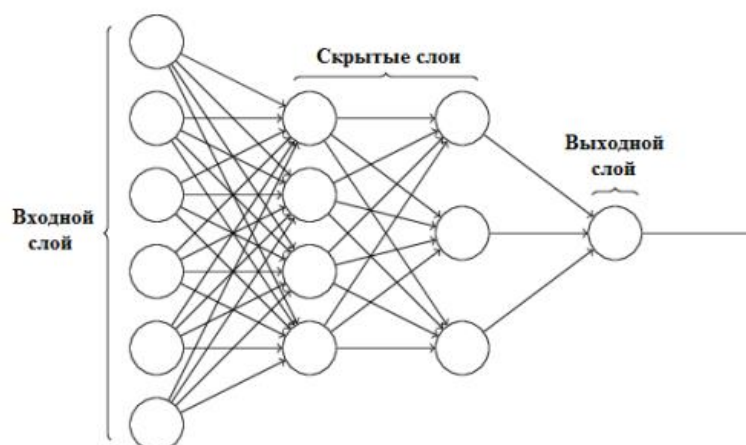


Рисунок 1.4 – Многослойная искусственная нейронная сеть

Нейронные сети содержат определенную форму обучения, которая может изменять веса связей в зависимости от входных данных. Принцип обучения нейронной сети можно привести на примере, как человек учится распознавать разные образы. Одно из самых распространенных обучений нейронных сетей является правило дельты. Данное обучение довольно часто используется общим классом нейронных сетей с обратным распространением ошибки. Обучение является контролируемым процессом, который происходит с каждым циклом посредством прямого потока активации выходов и обратным распространением ошибок корректировки веса. Проще говоря, нейронная сеть делает случайное предположение, затем при помощи

обратной связи она видит, как сильно отличается ее ответ и делает определенную корректировку своих весов соединений. На рисунке 1.5 представлен данный алгоритм обучения.

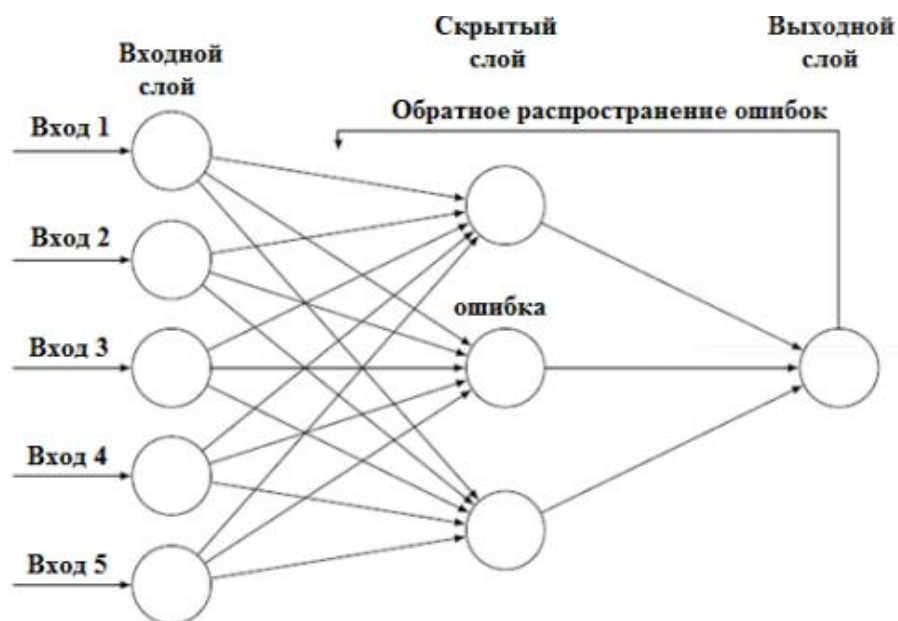


Рисунок 1.5 – Алгоритм метода обратного распространения ошибок

При помощи градиентного спуска выполняется обратное распространение ошибки в векторном пространстве решения в направлении глобального минимума вдоль самого крутого вектора поверхности ошибки. Глобальный минимум – это решение с наименьшей ошибкой. Поверхность ошибки выглядит, как гиперболический параболоид. Обычно пространство не имеет ровной траектории, оно содержит множество «ям» и «холмов». Они могут привести к локальному минимуму, что не является хорошим решением.



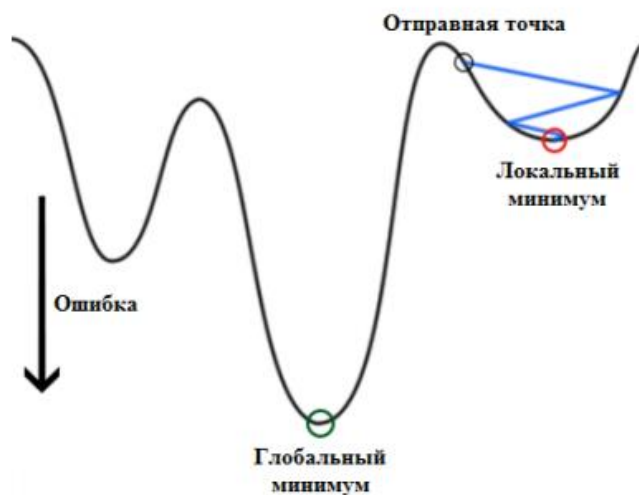


Рисунок 1.4 – Поверхность ошибки

Характер ошибки не может быть известен заранее, поэтому для анализа нейронных сетей требуется множество отдельных прогонов, чтобы выявить наилучших способ решения. Большинство алгоритмов обучения имеют встроенные математические выражения, которые задают скорость и импульс обучения. Под скоростью обучения понимается скорость сближения между текущим решением и глобальным минимумом.

После того как нейронная сеть обучена до требуемого уровня, ее можно использовать в работе. Для этого больше не требуется задавать тренировочные данные, нейронная сеть работает только в режиме прямого распространения. Новая информация постает на вход, где они фильтруются и обрабатываются при помощи средних слоев, как во время процесса обучения, но в данной ситуации выход сохраняется и не происходит обратное распространение.

## **2 Основная часть**

### **2.1 Описание технологического процесса**

Резервуарные парки являются одними из основных сооружений нефтеперерабатывающих заводов, которые состоят из различных видов резервуаров. После подготовки нефти до товарных качественных характеристик, нефтепродукты поступают в резервуарные парки, которые расположены в системе магистральных трубопроводов. Затем, жидкие углеводороды отпускаются на сторону потребителя в нужном количестве. Обеспечение бесперебойной и надежной работы системы резервуаров, позволяет организовывать постоянный грузопоток товарного продукта между грузоотправителем и грузополучателем, поэтому необходимость создания автоматической системы регулирования столь важна для данного процесса.

В качестве объекта автоматизации был выбран резервуар вертикальный стальной цилиндрический с понтоном вместимостью 20000 м<sup>3</sup>, в дальнейшей РВСП-20000. Данный тип резервуара преимущественно используются в нефтеперерабатывающей отрасли для приёма, хранения и выдачи жидкости таких как нефть, керосин, обычный бензин или реактивное топливо.

### **2.2 Выбор структуры автоматической системы регулирования**

На практике применяют два способа регулирования уровня в резервуаре, позиционное и непрерывное регулирование.

Когда нет необходимости постоянно поддерживать уровень на заданном значении, используют позиционное регулирование. Позиционное регулирование обычно используют на сборниках жидкости или промежуточных емкостях. Схема позиционного регулирования представлена на рисунке 2.1.

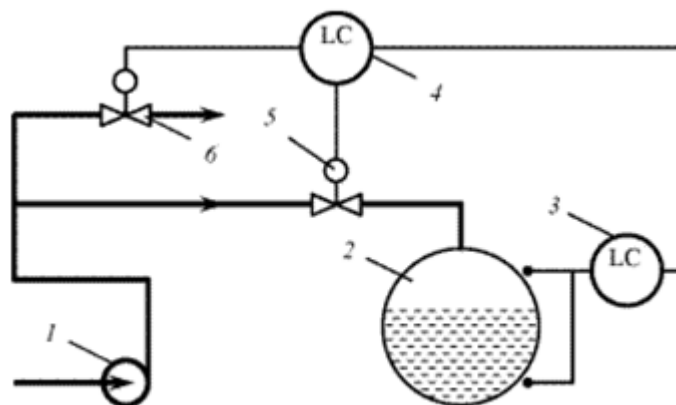


Рисунок 2.1 – Схема позиционного регулирования уровня:

1 – насос; 2 – барабан; 3,4 – датчик уровня; 5, 6 – регулирующий орган

Непрерывное регулирование применяют, когда уровень жидкости необходимо постоянно поддерживать на заданном значении. Такие системы регулирования устанавливают на теплообменных аппаратах. Схема непрерывного регулирования представлена на рисунке 2.2.

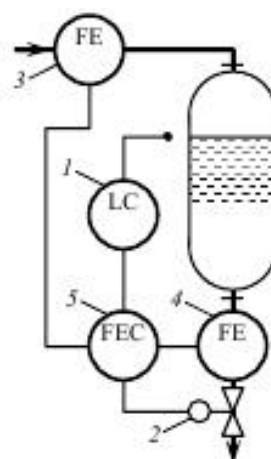


Рисунок 2.2 – Схема непрерывного регулирования уровня:

1 – датчик уровня; 2 – регулирующий орган; 3, 4 – датчик расхода; 5 – регулятор соотношения

Сопоставив приведенные варианты систем регулирования уровня жидкости в резервуаре, выберем позиционное регулирование, так как нам не требуется постоянно поддерживать уровень жидкости в резервуаре на одном уровне.

Структурная схема АСР уровня в резервуаре РВСП-20000 представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.018 С1.

С помощью датчиков расхода ДР1 и ДР2 информация о текущих значениях расходов передается на ПЛК. Датчик давления ДД, датчик температуры ДТ, датчик уровня ДУ передают информацию о текущих значениях давления, температуры и уровня в резервуаре РВСП-20000 на ПЛК. ПЛК обрабатывает поступающие сигналы и при необходимости вырабатывает управляющие воздействия, которые поступают на вход встроенных интеллектуальных блоков КИМ2, при помощи которого также можно осуществлять как дистанционное, так и регулирование по месту. В интеллектуальном блоке КИМ2 также реализован встроенный бесконтактный пускатель с функцией безударного пуска. При поступлении сигнала контроллер КИМ2 подает питание на двигатель электропривода, выходной орган электропривода движется в соответствии с поступившей командой и изменяет положение регулирующего органа РО. Информация о положении регулирующих органов РО1 и РО2 поступает на ПЛК.

### **2.3 Разработка функциональной схемы автоматической системы регулирования**

Функциональная схема систем автоматизации технологических процессов является основным техническим документом, определяющим структуру и характер систем автоматизации технологических процессов, а также оснащения их приборами и средствами автоматизации.

В ходе работы была разработана функциональная схема системы регулирования уровня в резервуаре РВСП-20000. Перечень регулируемых и

контролируемых параметров и их диапазоны измерений приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Перечень регулируемых и контролируемых параметров

Наименование	Значение
Регулируемые параметры	
Расход бензина перед резервуаром	2050 м <sup>3</sup> /ч
Расход бензина после резервуара	2050 м <sup>3</sup> /ч
Контролируемые параметры	
Температура жидкости в резервуаре	до 55 °С
Давление в резервуаре	до 200 кПа
Уровень жидкости в резервуаре	17,1 м

Функциональная схема АСР регулирования уровня в резервуаре РВСП-20000 представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.018 С2.

Назначение каналов на функциональной схеме: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9 – измерительные каналы, служат для определения расходов жидкости, давления, температуры, уровня жидкости и положений регулирующих органов; 6, 8 – каналы управления, предназначены для регулирования расходов жидкости. Функции измерения реализуются с помощью измерительных приборов, посредством которых определяется значение параметра и передается на сигнальный модуль ПЛК в виде унифицированного токового сигнала.

Информация о значениях регулируемых параметров поступает от датчиков 1а, 2а, 3б, 4б, 5а. В данной схеме измерение расхода жидкости происходит по принципу измерения времени распространения ультразвуковых колебаний в измеряемой среде. На входной аналоговый модуль контроллера поступают унифицированные сигналы с датчиков (4...20 мА). С модуля выходных сигналов контроллера на пусковые устройства, входящее в состав исполнительных механизмов 6а, 8а, подается

регулирующее воздействие о необходимости изменения расхода жидкости. Исполнительные механизмы 6а, 8а, изменяя положение регулирующего органа, изменяют расход жидкости.

## **2.4 Выбор технических средств АСР уровня в резервуаре РВСП-20000**

### **2.4.1 Выбор датчиков температуры**

В разрабатываемой автоматической системе регулирования процесса хранения нефтепродуктов в резервуаре РВСП-20000, регистрируется температура. Для измерения температуры в резервуаре необходимо использовать многозонные термопары для получения средней температуры среды. Основные критерии выбора датчиков температуры:

- диапазон измерений;
- длина монтажной части;
- тип выходного сигнала датчика температуры.

Для обоснования выбора рассмотрим два датчика температуры и их характеристики:

#### 1) Датчик температуры ТР-Е-10

Термометры сопротивления ТР-Е-10 многозонные применяются для измерения жидкости в разных отраслей промышленности, в том числе для агрессивных сред [1]. Технические характеристики приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Технические характеристики датчика температуры ТР-Е-10

Наименование	Значение
Диапазон измерений	-196...660 °С
Выходной сигнал	4...20 мА, HART, Profibus-PA
Длина монтажной части	от 120 до 30000 мм
Цена	от 24240 руб

## 2) Датчик температуры ТП-Е-10

Термопара ТП-Е-10 многозонная применяется для измерения жидкости в различных отраслях промышленности, в том числе в нефтеперерабатывающей промышленности [2]. Технические характеристики приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технические характеристики датчика температуры ТП-Е-10

Наименование	Значение
Диапазон измерений	-40...1250 °С
Выходной сигнал	4...20 мА, HART, Profibus-PA
Длина монтажной части	от 100 до 50000 мм
Цена	от 26539 руб

На основании технических характеристик приведенных в таблицах 2.1 и 2.2 выбираем датчик температуры ТР-Е-10 многозонный, так как максимальная температура среды не должна превышать 55 °С, также датчик имеет унифицированный токовый сигнал, что позволяет не использовать дополнительные нормирующие преобразователи, возможность использования в агрессивных средах. Цена данного датчика температуры составляет 24240 рублей.

## 2.4.2 Выбор расходомеров

В процессе работы необходимо отслеживать количество отпущенного углеводородного сырья. Для правильного отслеживания углеводородного сырья необходимо выбирать ультразвуковые расходомеры, так как сенсоры не имеют непосредственного контакта с измеряемой средой.

Основные критерии выбора расходомера:

- диапазон измерений;
- тип выходного сигнала расходомера;
- вязкость измеряемой жидкости;

Для обоснования выбора рассмотрим два расходомера и их характеристики:

### 1) Расходомер Sentinel LCT4

Расходомер жидкости ультразвуковой Sentinel LCT4 разработан специально для высокоточного измерения расхода сырой нефти и других жидких нефтепродуктов. Принцип действия ультразвукового расходомера Sentinel LCT4 основан на измерении времени распространения ультразвуковых колебаний в измеряемой среде [3]. Технические характеристики приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технические характеристики расходомера Sentinel LCT4

Наименование	Значение
Диапазон измерений	5...12022 м <sup>3</sup> /ч
Выходной сигнал	4...20 мА, Modbus, RS-485, HART
Вязкость измеряемой среды	не более 600 мм <sup>2</sup> /с



## 2) Расходомер РОТЭКмер

Двухроторный счётчик жидкости РОТЭКмер является прибором промышленного назначения, предназначен для технологических и коммерческих измерений, контроля и учёта объемного расхода жидкостей. [4]. Технические характеристики приведены в таблице 2.4.

Таблица 2..4 – Технические характеристики расходомера РОТЭКмер

Наименование	Значение
Диапазон измерений	0,03...1800 м <sup>3</sup> /ч
Выходной сигнал	4...20 мА, Modbus, RS-485, HART
Вязкость измеряемой среды	0,3 ... 20000 МПа · с

На основании технических характеристик приведенных в таблицах 2.3 и 2.4 выбираем расходомер Sentinel LCE4 , так как диапазон измерения у него больше, а также он имеет унифицированный токовый сигнал, что позволяет не использовать дополнительные нормирующие преобразователи, возможность использования в агрессивных средах.

### 2.4.3 Выбор датчиков давления

Для измерения давления в РВСП-20000 необходимо использовать средства измерения давления. Датчики давления работают по разному принципу и имеют различные характеристики. Основным критерием является возможность использования в агрессивных средах.

Основные критерии выбора датчиков давления:

- диапазон измерений;
- параметры окружающей среды;
- тип выходного сигнала датчика давления;

Для обоснования выбора рассмотрим два датчика давления и их характеристики:

### 1) Датчик давления APZ-3240

Датчик давления APZ-3240 предназначены для работы в различных отраслях промышленности [5]. Технические характеристики приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Технические характеристики датчика давления APZ-3240

Наименование	Значение
Диапазон измерений	0...10 бар
Температура контролируемой среды	-40...+125 °С
Температура окружающей среды	-50...+85 °С
Выходной сигнал	4...20 мА, HART, RS-485

### 2) Датчик давления APZ-3410

Датчик давления APZ-3410 предназначен для работы в различных отраслях промышленности [6]. Технические характеристики приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Технические характеристики датчика давления APZ-3410

Наименование	Значение
Диапазон измерений	0...600 бар
Температура контролируемой среды	-25...+135 °С
Температура окружающей среды	-50...+85 °С
Выходной сигнал	4...20 мА, 0...20 мА, 0...10 В

На основании технических характеристик приведенных в таблицах 2.5 и 2.6 выбираем датчик давления APZ-3240, так как у данного датчика диапазон температуры контролируемой среды больше, а также он имеет унифицированный токовый сигнал, что позволяет не использовать дополнительные нормирующие преобразователи, возможность использования в агрессивных средах.

## 2.4.4 Выбор уровнемеров

Для измерения уровня жидкости в РВСП-20000 необходимо использовать уровнемеры радарного типа, так как они предназначены для бесконтактного непрерывного измерения уровня.

Основные критерии выбора датчиков давления:

- Давление контролируемой среды;
- диапазон измерений;
- температура измеряемой среды;
- температура окружающей среды;
- тип выходного сигнала датчика давления;

Для обоснования выбора рассмотрим два уровнемера и их характеристики:

### 1) Уровнемер УР 203 Ех-30

УР-203-Ех-30 бесконтактный уровнемер радиоволновый предназначен для бесконтактного непрерывного измерения уровня жидких в технологических резервуарах [7]. Технические характеристики приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Технические характеристики уровнемера УР 203 Ех-30

Наименование	Значение
Диапазон измерений	0,5...30 м
Температура контролируемой среды	-40...+150 °С
Давление контролируемой среды	до 1,6 МПа
Температура окружающей среды	-40...+50 °С
Выходной сигнал	4...20 мА, RS-485
Цена	от 59900 руб

## 2) Уровнемер БАРС 351И

Радарный (радиоволновый) бесконтактный уровнемер БАРС 351И предназначен для непрерывного бесконтактного высокоточного измерения уровня различных жидких сред в резервуарах [8]. Технические характеристики приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Технические характеристики уровнемера БАРС 351И

Наименование	Значение
Диапазон измерений	до 30 м
Температура контролируемой среды	-40...+100 °С
Давление контролируемой среды	до 1,6 МПа
Температура окружающей среды	-40...+50 °С
Выходной сигнал	4...20 мА, RS-485
Цена	от 147350 руб

На основании технических характеристик приведенных в таблицах 2.7 и 2.8 заметим, что по техническим характеристикам оба датчика не уступают друг другу. В целях экономии выбираем уровнемер УР 203 Ех-30.

### 2.4.5 Выбор регулирующего устройства

Для реализации алгоритмов управления и упрощения системы управления используем программируемый контроллер.

В зависимости расположения модулей ввода-вывода промышленных контроллеров различают: моноблочные ПЛК, модульные ПЛК, распределенные ПЛК.

В данной работе в ПЛК будет внедряться нейросеть, одной из ведущих компания, которая внедряет в свои продукты нейросети, является фирма Siemens. Для регулирования уровня жидкости в резервуаре при помощи

нейросети достаточно будет использовать контроллер фирмы Siemens SIMATIC S7 300.

Контроллер фирмы Siemens SIMATIC S7 300 - предназначен для построения систем автоматизации низкой и средней степени сложности.

1) Модуль центрального процессора CPU 317-2 DP

Центральный процессор предназначен для выполнения программ большого объема и решения сложных задач автоматического управления [9].

Технические данные приведены в таблице 2.9

Таблица 2.9 – Технические данные модуля центрального процессора CPU 317-2 DP

Питание	
Номинальное значение напряжения питания	24 В
Номинальный потребляемый ток	870 мА
Память	
Встроенная память для выполнения программы и хранения данных	512 Кбайт
Емкость энергозависимой памяти для сохранения блоков данных	256 Кбайт
Сохранение данных при перебоях в питании	Есть
Сохранение информации в ММС	До 10 лет
Время выполнения	
Типовое время выполнения логических операций со словами	0,05 мкс
Типовое время выполнения логических операций с фиксированной/плавающей точкой	0,2 мкс
Функции времени	
Часы реального времени	Есть
Встроенные интерфейсы MPI	
Типа интерфейса	RS 485
Гальваническое разделение внешних и внутренних цепей	Есть
Питание интерфейса, не более	200 мА
Встроенные интерфейсы PROFIBUS DP	
Тип интерфейса	RS 485

## Продолжение таблицы 2.9

Гальваническое разделение внешних и внутренних цепей	Есть
Габариты и масса	
Габариты (ШхВхГ) в мм.	40х125х130
Масса	360 г.

### 2) Модуль питания PS 307

Блок питания контроллеров SIPLUS S7-300 с входным напряжением постоянного тока. Имеет расширенный диапазон рабочих температур [9]. Технические данные приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Технические данные модуля питания PS 307

Размеры и вес	
Размеры ШхВхГ (мм)	80х125х120
Вес	570 г.
Входные данные	
Номинальное значение входного напряжения	120/230 В перем. тока
Частота сети для номинального значения	50 Гц или 60 Гц
Выходные данные	
Номинальное значение выходного напряжения	24 В пост. тока
Допустимый диапазон	24 В $\pm$ 5%
Номинальное значение выходного тока	2 А

### 3) Модуль ввода аналоговых сигналов SM 331-7HF01-0AB0

Модуль ввода аналоговых сигналов SM 331 предназначен для подключения к контроллеру аналоговых датчиков, выполнения аналогово-цифрового преобразования входных аналоговых сигналов и формирования цифровых величин, используемых центральным процессором в ходе выполнения программы [9]. Технические данные приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Технические данные модуля ввода аналоговых сигналов SM 331-7HF01-0AB0

Конструктивные особенности	
Габариты (ШxВxГ) в мм.	40x125x117
Масса	0,23 кг
Подключение внешних цепей через	40-полюсный фронтальный соединитель
Характеристика модуля	
Общее количество входов	8
Количество изолированных групп x количество каналов в группе	4x2
Напряжение, токи, потенциалы	
Напряжение питания входной электроники модуля	24 В
Выходной ток одного канала для цепи питания датчиков	30 мА
Гальваническое разделение между каналами и внутренней шиной контроллера	Есть
Гальваническое разделение между каналами и цепью питания электроники модуля	Есть
Данные для выбора датчиков	
Параметры входных сигналов для датчиков напряжения	$\pm 1$ В/ 1МОм; $\pm 5$ В/ 100 кОм; $\pm 10$ В/ 100 кОм; 1...5 В/ 100 кОм
Параметры входных сигналов для датчиков силы тока	$\pm 20$ мА/ 50 Ом; 0...20 мА/ 50 Ом; 4...20 мА/ 50 Ом
Условия эксплуатации	
Диапазон температур при горизонтальной установке	0...+60°C
Диапазон температур при вертикальной установке	0...+40°C

#### 4) Модуль вывода аналоговых сигналов SM 332-5HF00-0AB0

Модуль вывода аналоговых сигналов предназначен для цифро-аналогово преобразования внутренних цифровых величин контроллера и

формирования его выходных аналоговых сигналов [9]. Технические данные представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Технические данные модуля вывода аналоговых сигналов SM 332-5HF00-0AB0

Конструктивные особенности	
Габариты (ШxВxГ) в мм.	40x125x117
Масса	0,272 кг
Подключение внешних цепей через	40-полюсный фронтальный соединитель
Характеристика модуля	
Общее количество выходов	8
Количество изолированных групп x количество каналов в группе	1x8
Напряжение, токи, потенциалы	
Напряжение питания нагрузки	24 В
Гальваническое разделение между каналами и внутренней шиной контроллера	Есть
Гальваническое разделение между каналами и цепью питания электроники модуля	Есть
Данные для выбора исполнительных устройств	
Диапазоны изменения выходных сигналов для каналов напряжения	1...5 В; 0...10 В;
Диапазоны изменения выходных сигналов для каналов силы тока	0...20 мА; 4...20 мА
Условия эксплуатации	
Диапазон температур при горизонтальной установке	0...+60°C
Диапазон температур при вертикальной установке	0...+40°C

5) Модуль ввода-вывода дискретных сигналов SM 323-1BL00-0AA0.

Модуль ввода-вывода дискретных сигналов предназначен для преобразования входных дискретных сигналов контроллера в логические



сигналы, а также преобразования внутренних логических сигналов контроллера в его выходные дискретные сигналы [9]. Технические данные представлены в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Технические данные модуля ввода-вывода дискретных сигналов SM 323-1BL00-0AA0

Конструктивные особенности	
Габариты (ШxВxГ) в мм.	40x125x120
Масса	0,26 кг
Подключение внешних цепей через	40-полюсный фронтальный соединитель
Дискретные входы и выходы	
Количество входов	16
Количество изолированных групп x количество каналов в группе	1x16
Количество выходов	16
Количество изолированных групп x количество каналов в группе	2x8
Напряжение, токи, потенциалы	
Номинальное значение напряжение внешних цепей	24 В
Гальваническое разделение между каналами и внутренней шиной контроллера	Есть
Гальваническое разделение между каналами и цепью питания электроники модуля	Есть
Данные для выбора датчиков	
Номинальное входное напряжение	24 В
Данные для выбора исполнительных механизмов	
Выходное напряжение высокого уровня не менее	0,8 В
Номинальное значение выходного тока высокого уровня	0,5 А
Условия эксплуатации	
Диапазон температур при горизонтальной установке	0...+60°C
Диапазон температур при вертикальной установке	0...+40°C

## 2.4.6 Выбор исполнительного механизма

Исполнительный механизм выбираем исходя из вида регулирующего органа и крутящего момента.

Максимальный крутящий момент вычисляется по формуле:

$$M_{max} = 6,89 \cdot D_y - 338 = 6,89 \cdot 250 - 338 = 1384 \text{ Н} \cdot \text{м} ,$$

где  $D_y$  - условный диаметр трубопровода, мм.

При выборе учитывалось условие:

$$M_H > M_{max},$$

где  $M_H$  – номинальный крутящий момент на выходном валу ИМ, Н·м.

Выбираем ИМ типа МЭО(Ф)-1600-Е2-08К с номинальным значением момента на выходном валу 1600 Н·м, номинальное значение времени полного хода 25 с. Данный исполнительный механизм снабжен датчиком положения выходного вала и функцией ручного управления. Питание данного исполнительного механизма осуществляется от сети переменного тока 380 В [10]. ИМ идет в составе с интеллектуальным блоком КИМ2, который устанавливается непосредственно на электроприводе для обеспечения местного управления. Кроме того для электроприводов с интеллектуальным блоком КИМ2 применены бесконтактные цифровые датчики положения и момента, что позволяет обойтись без установки дополнительных датчиков положения. В интеллектуальном блоке КИМ2 реализован встроенный бесконтактный пускатель с функцией безударного пуска, что позволяет обойтись без самостоятельного пускового устройства [10].

## 2.4.7 Разработка электрической схемы соединений щита управления

Принципиальные электрические схемы определяют полный состав приборов, аппаратов и устройств (а также связь между ними), действие, которое обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации [13].

Электрическая схема АСР регулирования уровня в резервуаре приведена на листах с шифром ФЮРА.421000.018 Э3. Перечень элементов электрической схемы представлен на листах с шифром ФЮРА.421000.018 ПЭ3.

На листе 1 с шифром ФЮРА.421000.018 Э4 представлена электрическая схема подсистемы электрического питания и микроклимата щита управления.

Подсистема электрического питания включает себя:

- автоматические выключатели (QF1...QF3), предназначенные для защиты разделительных и групповых цепей;
- щитовая розетка (XS1), предназначенная для подключения электрического инструмента;
- блоки зажимов (XT1...XT3), предназначенные для соединения кабелей;
- устройство защиты от перенапряжений (Z1), предназначенное для защиты устройств от перенапряжений при протекании через сеть импульсов тока;
- модуль питания (G1), предназначенный для обеспечения устройств напряжением 24 В.

Подсистема электрического питания обеспечивает питание всех элементов щита управления и имеет защиту от перенапряжений.

Подсистема микроклимата включает в себя:

- концевой выключатель (SQ1), предназначенный для замыкания и размыкания рабочей цепи;
- осветительный прибор (EL1), предназначенный для освещения;
- реле контроля температуры (КК1), предназначенное для контроля температуры в шкафу управления;
- фильтрующий вентилятор (M1), предназначенный для нагнетания холодного воздуха.

Подсистема микроклимата щита управления поддерживает оптимальную температуру шкафа, что является одной из основ обеспечения безаварийной работы.

На листах 2-5 с шифром ФЮРА.421000.018 Э4 представлена электрическая схема подсистемы ввода-вывода аналоговых сигналов.

Подсистема ввода аналоговых сигналов включает в себя:

- модуль питания программируемого логического контроллера Siemens (A1);
- модуль центрального процессора Siemens (A2);
- модуль ввода аналоговых сигналов программируемого логического контроллера Siemens (A3-A4);
- 20-полюсный фронтальные соединители (XP3-XP4);
- преобразователи аналоговых сигналов (UY1...UY6), пассивные разъединители, предназначенные для разделения аналоговых сигналов;
- п-образные соединители (S1-S5), предназначенные для подключения модулей к внутренней шине контроллера;
- блоки зажимов (XT1-XT10).

Подсистема вывода аналоговых сигналов включает в себя:

- модуль вывода аналоговых сигналов программируемого логического контроллера Siemens (A5);
- 40-полюсный фронтальный соединитель (XP5) для сигнальных модулей клемм с винтовыми зажимами, предназначенный для подключения к контроллеру внешних входных и выходных цепей;
- преобразователи аналоговых сигналов (UY7, UY8), пассивные разъединители, предназначенные для разделения аналоговых сигналов;
- п-образный соединитель (S6), предназначенный для подключения модулей к внутренней шине контроллера;
- блоки зажимов (XT10...XT12).

Подсистема аналогового ввода-вывод обеспечивает безопасное подключение аналоговых сигналов к сигнальному модулю контроллера.

На листах 6-7 с шифром ФЮРА.421000.018 ЭЗ представлена электрическая схема подсистемы ввода-вывода дискретных сигналов.

Подсистема ввода-вывода дискретных сигналов включает в себя:

- модуль ввода-вывода дискретных сигналов программируемого логического контроллера Siemens (A6-A7);
- 40-полюсный фронтальный соединитель для сигнальных модулей клемм с винтовыми зажимами, предназначенный для подключения к контроллеру внешних входных и выходных цепей (XP5);
- релейный модуль (K1...K20), предназначенный для повышения нагрузочной способности управляющих выходов слаботочного, низковольтного оборудования посредством релейных «сухих» контактов;
- п-образный шинный соединитель (S7), предназначенный для подключения модулей к внутренней шине контроллера;
- блоки зажимов (XT11, XT12).

Подсистема ввода-вывода дискретных сигналов обеспечивает безопасное подключение дискретных сигналов к модулю контроллера.

## **2.4.8 Разработка монтажной схемы автоматической системы регулирования**

Схема соединений внешних проводок – это комбинированная схема, на которой показывают электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, установленными на технологическом оборудовании, вне щитов и на щитах, а также подключения проводок к приборам и щитам [13].

Монтажные схемы внешних электрических проводок приведены на листе с шифром ФЮРА.421000.018 ЭЗ.

В правой верхней части монтажной схемы расположен силовой щит ХТ8, в нижней части расположен щит управления и его клеммные блоки ХТ1...ХТ12. В средней части показаны внешние соединения датчиков, исполнительных механизмов, частотных преобразователей и блоков управления симисторами и тиристорами со щитом управления. Для соединений применены изолированные провода. В цепях измерения, управления, питания применены провода и кабели с медными жилами. В маркировке кабеля указан тип кабеля, количество и сечение жил, длина кабеля. На монтажной схеме используются следующие типы кабелей:

1) КВВГНГ – контрольный кабель с изоляцией из ПВХ пластиката с оболочкой из поливинилхлоридного пластиката без защитного покрова, не распространяющий горение при групповой прокладке;

2) КВВГЭ – контрольный кабель с изоляцией из ПВХ пластиката с оболочкой из поливинилхлоридного пластиката без защитного покрова, экранированный;

Для соединения и разветвления кабелей используются соединительная коробка (КС-10).

## 2.4.9 Разработка общего вида щита управления

Щиты и пульты управления в системах автоматического контроля, регулирования и управления являются конструктивными элементами для размещения приборов и аппаратуры, относящихся к данной системе [13].

Общий вид щита представлен на листе с шифром ФЮРА.421000.018 ВО.

В верхней части шкафа расположены модули контроллера Siemens SIMATIC S7-300, осветительный прибор и концевой выключатель. В нижней части шкафа расположены клеммные блоки и шина заземления. В средней части шкафа расположено остальное оборудования, включая блок питания, автоматические выключатели, релейные модули, преобразователи, розетка. На лицевой стороне двери расположены элементы управления и сигнализации, а именно сигнальные лампы, кнопки и переключатели, а также фильтрующий вентилятор. На лицевой стороне двери расположена сигнальная аппаратура (HL1...4) и показано расположение фильтрующего вентилятора (M1).

Для размещения оборудования выбран компактный распределительный шкаф SE 8 IP 66/NEMA 4 производителя Rittal. 600x1800x400 мм, листовая сталь, IP66 / NEMA 4, с монтажной панелью, однодверный спереди. Оборудование размещено на монтажных шинах с перфорацией NS 35/7,5 производителя Phoenix Contact.

### 3 Расчет динамических характеристик

#### 3.1 Получение математической модели

Передачная функция объекта описывается апериодическим звеном со звеном запаздывания.

$$W_{об}(P) = \frac{K}{T \cdot P + 1} \cdot e^{-P \cdot \tau}, \quad (3.1)$$

где  $P$  – оператор Лапласа.

Коэффициентом передачи, определяем по статической характеристике:

$$K_{об} = \frac{\Delta H}{\Delta Q}, \quad (3.2)$$

где  $\Delta H$  – разность пределов измерения уровнемера, мм;  $\Delta Q$  – разность пределов измерения расходомера, м<sup>3</sup>/ч.

Подставив значения для  $\Delta H$  и  $\Delta Q$  в формулу (3.2), получим:

$$K_{инп} = \frac{17800 - 0}{2050 - 24} = 8,8 \frac{\text{мм}}{\text{м}^3/\text{ч}}.$$

Постоянную времени найдем зная максимальный объём резервуара и расход жидкости на притоке.

$$T_{об} = \frac{20000}{0,5627} = 35542 \text{ с}. \quad (3.3)$$

Постоянная времени объекта характеризует время, которое необходимо для заполнения резервуара. Время запаздывания для резервуаров принимается в пределах 3...5 с, примем время запаздывания равное 5 с.

Подставим числовые значения получим окончательное выражение для передачной функции объекта регулирования:

$$W_{об}(P) = \frac{8,8 \cdot e^{-P \cdot 5}}{35543 \cdot P + 1}.$$

Определим расширенные частотные характеристики объекта регулирования, для этого необходимо произвести замену оператор  $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$ , в результате получим выражение для РАФЧХ объекта регулирования.



$$\frac{8,8 \cdot e^{-(-m \cdot \omega + i\omega) \cdot 5}}{35543 \cdot (-m \cdot \omega + i\omega) + 1}$$

При помощи преобразований найдем расширенную вещественно частотную характеристику (РВЧХ), а также расширенную мнимую частотную характеристику (РМЧХ).

Расширенная вещественная частотная характеристика (РВЧХ):

$$\begin{aligned} Re_{об}(m, \omega) &= \\ &= \frac{8,8 \cdot e^{5 \cdot \omega \cdot 0,366} \cdot [(1 - 35543 \cdot 0,366 \cdot \omega) \cdot \cos(5\omega) - 35543 \cdot \omega \cdot \sin(5\omega)]}{(1 - 35543 \cdot 0,366 \cdot \omega)^2 + 35543^2 \omega^2} \end{aligned}$$

Расширенная мнимая частотная характеристика (РМЧХ):

$$\begin{aligned} Im_{об}(m, \omega) &= \\ &= \frac{8,8 \cdot e^{5 \cdot \omega \cdot 0,366} \cdot [(35543 \cdot 0,366 \cdot \omega - 1) \cdot \sin(5\omega) - 35543 \cdot \omega \cdot \cos(5\omega)]}{(1 - 35543 \cdot 0,366 \cdot \omega)^2 + 35543^2 \omega^2} \end{aligned}$$

Для нахождения расширенных амплитудно-частотных характеристик (РАЧХ) и расширенных фазо-частотных характеристик (РФЧХ) применяют следующие формулы:

$$A_{об}(m, \omega) = \sqrt{Re_{об}^2(m, \omega) + Im_{об}^2(m, \omega)}, \quad (3.4)$$

$$\varphi_{об}(m, \omega) = \arctan\left(\frac{Im_{об}(m, \omega)}{Re_{об}(m, \omega)}\right).$$

Все необходимые расчеты были произведены в программе Mathcad. На рисунке 3.1 представлен РАФЧХ объекта регулирования.

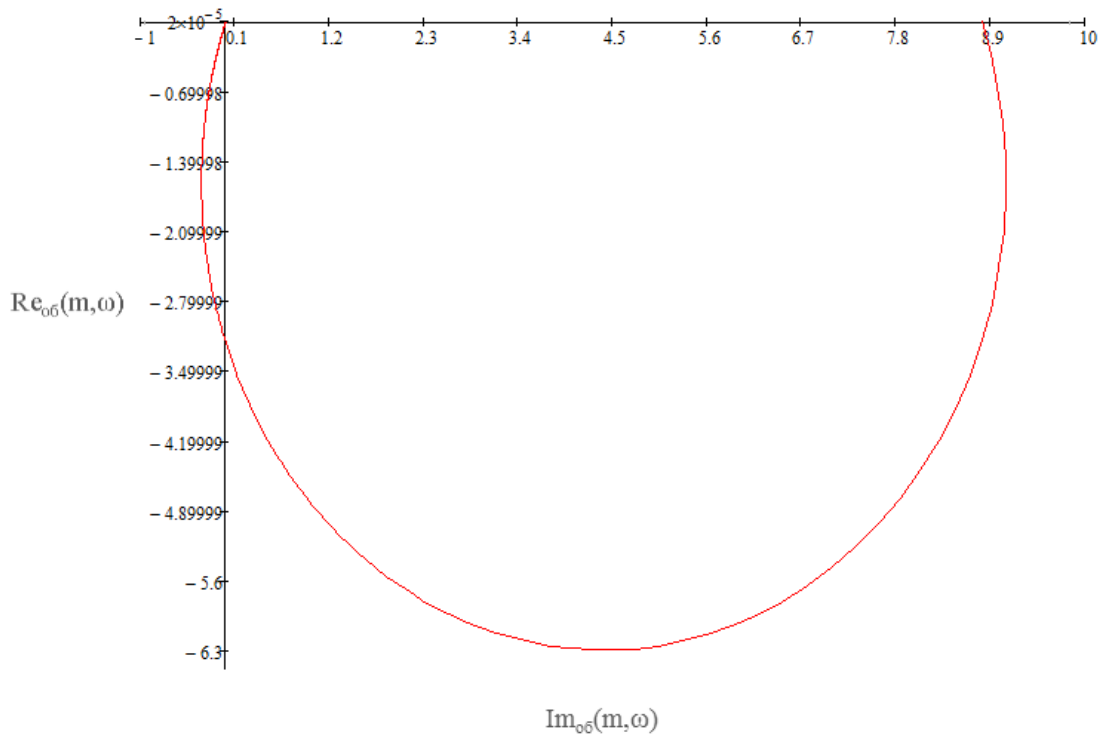


Рисунок 3.1 – РАФЧХ объекта регулирования

### 3.2 Расчет параметров настройки ПИ-регулятора

Расчёт параметров произведем с помощью корневого метода параметрического синтеза, основанного на понятии расширенных амплитудно-фазочастотных характеристик (РАФЧХ).

Для степени затухания  $\Psi = 0,90$  соответствуют следующие границы заданной степени колебательности:

$$m = 0,221,$$

$$M = 2,38.$$

При определении настроек регулятора в качестве показателя оптимальности системы регулирования был выбран первый интегральный критерий качества.

$$I_1 = \int_0^{\infty} \varepsilon(t) dt, \quad (3.5)$$

где  $\varepsilon(t)$  – ошибка регулирования.

Для нахождения значения параметров регулятора корневым методом необходимо выразить оператор  $p$  в передаточной функции объекта  $W_{об}(p)$  как  $p = (i - m) \cdot \omega$  или  $p = \eta + i\omega$ , где  $m$  — степень колебательности,  $\eta$  — степень устойчивости,  $\omega$  — частота. Затем применяются следующие расчётные формулы для ПИ-регулятора:

$$\frac{K_p}{T_u} = - \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot Im_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}, \quad (3.6)$$

$$K_p = - \frac{m \cdot Im_{об}(m, \omega) + Re_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)},$$

где  $K_p$  — коэффициент передачи ПИ-регулятора,  $T_u$  — постоянная интегрирования ПИ-регулятора.

На рисунке 3.2 изображена область параметров настройки ПИ-регулятора.

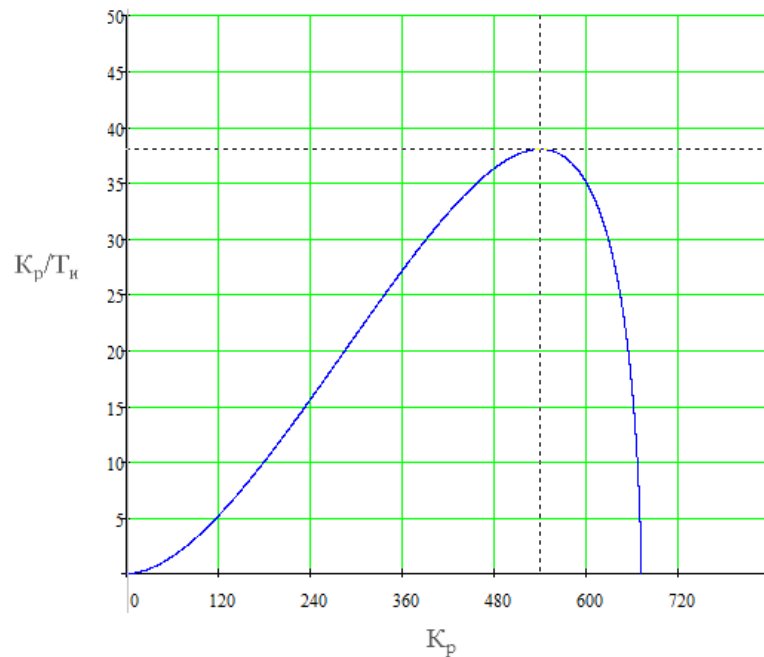


Рисунок 3.2 – Область параметров настройки ПИ-регулятора

Полученная кривая является границей заданной степени затухания  $\Psi_{зад}=0,90$  процесса регулирования, что соответствует степени колебательности. Таким образом, все значения, лежащие на этой кривой, обеспечивают определенную степень затухания.

Оптимальные параметры настройки ПИ-регулятора имеют значения:

$$K_p = 541, \frac{K_p}{T_u} = 38.$$

Время ПИ – регулятора находится по формуле:

$$T_u = \frac{K_p}{\frac{K_p}{T_u}} = \frac{541}{38} = 14,2 \text{ с.}$$

Передаточная функция регулятора:

$$W_p(P) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_u P}\right) = 541 \cdot \left(1 + \frac{1}{14,2 \cdot P}\right).$$

## 4 Реализация системы

### 4.1 Реализация модели с классическим ПИ-регулятором

Моделирование было произведено в специализированном программном пакете визуального моделирования MatLab Simulink.

В процессе эксплуатации будем поддерживать уровень в резервуаре – 10 метров. В качестве передаточной функции задания используется постоянное воздействие, которое выдает сигнал равный 10.

Модель с классическим ПИ-регулятором в специализированном программном пакете визуального моделирования MatLab Simulink представлена на рисунке 4.1.

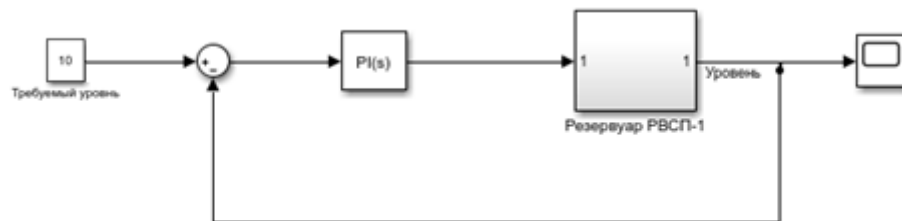


Рисунок 4.1 – Модель с классическим ПИ-регулятором

Полученный результат представлен на рисунке 4.2.

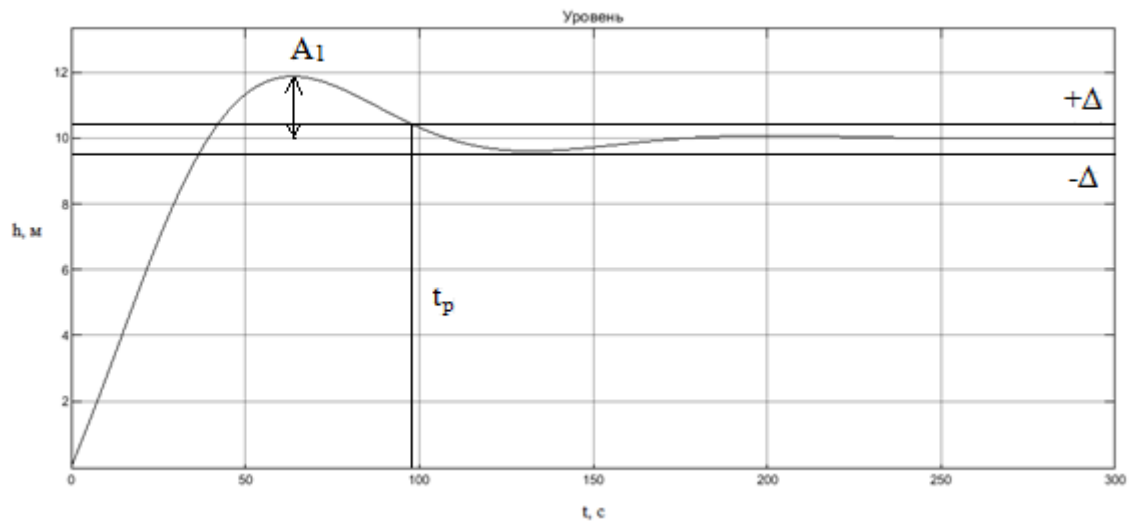


Рисунок 4.2 – Результат моделирования

Проведём оценку качества полученного переходного процесса путем определения следующих характеристик:

- 1) Динамическая ошибка:

$$A_1 = 2.$$

- 2) Перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_1 \cdot 100\%}{y(\infty)} = \frac{2 \cdot 100\%}{10} = 20\%.$$

- 3) Статическая ошибка:

$$\varepsilon_{ст} = S - y(\infty) = 10 - 10 = 0,$$

где  $S$  – величина сигнала задания.

- 4) Степень затухания:

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{2 - 0}{2} = 1,$$

где  $A_2$  – вторая амплитуда колебания.

- 5) Время регулирования:

$$t_p = 95 \text{ с.}$$

## 4.2 Реализация модели при помощи нейронной сети

В качестве реализации данной системы был выбран алгоритм Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG), в основе которого лежит обучение Q-функции критиком, а обучением  $\pi(\theta)$  агентом.

Основой данного метода является изучение взаимодействия агента и окружения. Конечная цель обучения — выработка стратегии, позволяющей достичь объектом управления требуемого состояния. Алгоритм обучения описывается множеством состояний окружения  $S$  и множеством возможных действий агента  $A$ . Поведение системы определяется с функцией вероятности переходов  $S \times A \rightarrow [0, 1]$ .

В момент времени  $t$  агент имеет информацию о состоянии среды  $s_t \in S$  и в соответствии с выбранной стратегией поведения  $\pi(s)$ , которую также можно представить в параметрическом виде:

$$\pi(\theta) = P(a | s, \theta), \quad (4.1)$$

совершает действие  $a_t \in A$ , в результате чего состояние меняется на  $s_{t+1}$ , а агент получает награду  $r_t$ . Алгоритм повторяется до тех пор, пока не найдётся стратегия управления, при которой происходит получением максимального вознаграждения.

При агентном подходе обучения вводится функция полезности (Q-функция):

$$Q^\pi(s, a) = E_\pi \left[ \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} \mid s_t = s, a_t = a \right]. \quad (4.2)$$



Рисунок 4.3 – Развернутая схема обучения с подкреплением

Для наглядности рассмотрим пример с беспилотным автомобилем, агентом является бортовой компьютер. С помощью наблюдения агент получает состояния среды. Действие агента величина угла поворота рулевого управления, величина торможения или величина газа. С помощью действия агент влияет на среду, в результате изменения на среды, среда дает агенту обратную связь в виде вознаграждения. Вознаграждения получается в зависимости от того какая ставится задача. После обучения системы, ее можно применить на реальном объекте.

Модель с использованием обучения с подкреплением представлена на рисунке 4.4.

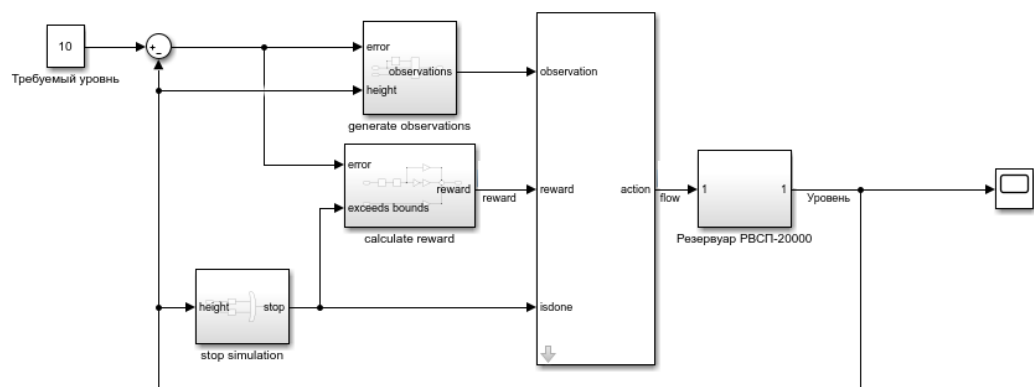


Рисунок 4.4 – Модель с использованием обучения с подкреплением



Полученный результат представлен на рисунке 9.

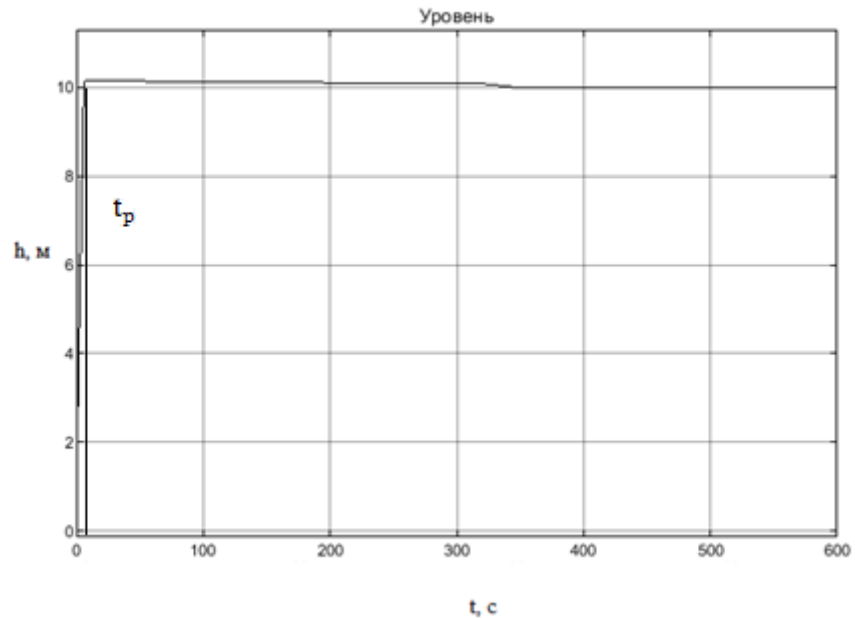


Рисунок 4.4 – Результат моделирования

Проведём оценку качества полученного переходного процесса путем определения следующих характеристик:

1) Динамическая ошибка:

$$A_1 = 0.$$

2) Перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_1 \cdot 100\%}{y(\infty)} = 0\%.$$

3) Статическая ошибка:

$$\varepsilon_{\text{ст}} = S - y(\infty) = 10 - 10 = 0,$$

где  $S$  – величина сигнала задания.

4) Время регулирования:

$$t_p = 10 \text{ с.}$$

Оценить качество процесса регулирования можно с помощью следующих показателей: максимальное динамическое отклонение  $A_1$ , перерегулирование  $\sigma$ , статическая ошибка  $\varepsilon_{ст}$ , время регулирования  $t_p$ .

В таблице 4.1 представлено качественное сравнение процессов регулирования при классическом ПИ-регуляторе и обучения с подкреплением.

Таблица 4.1 – Качественное сравнение процессов регулирования

Показатель качества	ПИ-регулятор	Система с алгоритмом DDPG
$A_1$	0	0
$\sigma, \%$	20	0
$\varepsilon_{ст}$	0	0
$t_p, с$	95	10

Из таблицы 4.1 может наблюдать, что регулирования технологического процесса при помощи системы с алгоритмом DDPG намного эффективнее, чем с классическим ПИ-регулятором. Перерегулирования с системой с алгоритмом DDPG равняется 0. Также время регулирования намного меньше, что означает выход в установившееся значение происходит гораздо быстрее. На основе этих данных можем сделать вывод, что система с алгоритмом DDPG регулирует процесс намного эффективнее, чем ПИ-регулятор.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Б7В	Свириденко Александр Сергеевич

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа энергетики</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>НОЦ И.Н. Бутакова</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 150000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 91103,5 руб; затраты на оборудование – 11050 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент – 1,3; Накладные расходы – 16%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды: для руководителя и исполнителя – 30,2%.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений; SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование научно-исследовательских работ; Определение трудоемкости работ; Построение диаграммы Ганта.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Сравнительная оценка характеристик проекта; Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.

**Перечень графического материала:**

1. Матрица SWOT; 2. Диаграмма Ганта.
---

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Клемашева Елена Игоревна	канд.экон.наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5Б7В	Свириденко Александр Сергеевич		

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **Введение**

Целью данного раздела является оценка коммерческой ценности разработанной автоматической системы управления установок подпора воздуха в зону безопасности маломобильных групп населения станционного комплекса «улица Строителей» Московского метрополитена с точки зрения финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением ряда задач:

- определение потенциальных потребителей исследования;
- анализ конкурентов;
- определение структуры работ, сколько времени и финансовых средств необходимо для достижения поставленной цели;
- определение ресурсоэффективности исследования.

### **5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

В связи с тем, что разрабатываемая АСР предназначена для управления приемом и хранением нефтепродуктов в резервуарах, к потенциальными потребителям можно отнести организации в нефтегазовой отрасли, в частности нефтеперерабатывающие заводы, крупные предприятия, имеющие резервуарные парки I и II категории для хранения и отпуска нефти и нефтепродуктов.

## 5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам, позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направление для ее будущего повышения [14].

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты. Для этого отберем три конкурирующие разработки, обеспечивающие регулирование расхода воздуха.

- 1) Регулирование уровня в резервуаре при помощи ПИ регулятора .
- 2) Регулирование уровня в резервуаре при помощи нейронной сети .

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений приведена в таблице 1. Позиции разработок приведены под номерами 1, 2 соответственно. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 1, подобраны с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 5.1.

Таблица 5.1 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б <sub>1</sub>	Б <sub>2</sub>	К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1. Динамическая точность	0,20	3	5	0,80	1,00
2. Простота эксплуатации	0,05	5	4	0,20	0,10
3. Надежность	0,10	3	5	0,40	0,70
4. Качество регулирования	0,20	4	5	0,70	1,00
5. Простота наладки	0,10	5	3	0,45	0,30

Продолжение таблицы 5.1

Экономические критерии оценки эффективности					
1. Цена	0,10	5	3	0,50	0,20
2.Предполагаемый срок эксплуатации	0,20	4	5	0,70	1,00
3. Стоимость обслуживания	0,05	4	5	0,30	0,10
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>33</b>	<b>35</b>	<b>3,95</b>	<b>4,55</b>

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i, \quad (5.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $\text{Б}_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Пример расчета для конкурента 1:

$$K_1 = \sum B_i \cdot \text{Б}_i = 0,20 \cdot 3 + 0,05 \cdot 5 + 0,10 \cdot 3 + 0,20 \cdot 4 + 0,10 \cdot 5 + \\ + 0,10 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 = 3,95.$$

$$K_2 = \sum B_i \cdot \text{Б}_i = 0,20 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,10 \cdot 5 + 0,20 \cdot 5 + 0,10 \cdot 3 + \\ + 0,10 \cdot 3 + 0,20 \cdot 5 + 0,05 \cdot 5 = 4,55.$$

Анализируя полученные результаты, делаем вывод, что разработки под номером 2 является наиболее конкурентоспособными и выгодными. Такие разработки обеспечивают большие качество регулирования, надежность и динамическую точность, в отличие от варианта под номером 1.

В данной работе используется система под номером 2. Далее будем рассматривать её.

### 5.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта, применяется для исследования внешней и внутренней среды проекта [14].

В данном разделе проведем SWOT-анализ выбранного проектного решения. Для этого необходимо описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта, которые появились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице 5.2.

Таблиц 5.2 – Матрица SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Использование современных компонентов системы. С2. Высокая надежность системы. С3. Большой срок эксплуатации. С4. Снижение уровня опасных ситуаций. С5. Высокая точность регулирования.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Требуются контроллеры, предназначенные для систем высокой степени сложности. Сл2. Высокая стоимость.
<b>Возможности:</b> В1. Повышение спроса на реализацию проекта. В2. Повышение стоимости конкурентных разработок. В3. Понижение стоимости на компоненты системы.	Результаты анализа полей «Сильные стороны и возможности». 1. Повышение спроса на продукт из-за перехода на современные технологии.	Результаты анализа полей «Слабые стороны и возможности». 1. При повышении стоимости конкурентных разработок, стоимость разработки системы на их фоне может выглядеть не высокой. 2. При понижении стоимости компонентов системы, стоимость системы также понизится.

## Продолжение таблицы 5.2

<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на реализацию проекта. У2. Повышение стоимости на компоненты системы. У3. Усовершенствование конкурентных систем. У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции. У5. Появление новых проектных решений.	Результаты анализа полей «Сильные стороны и угрозы». 1. При использовании современных компонентов системы, повышение стоимости на компоненты системы приведет к удорожанию системы в целом.	Результаты анализа полей «Слабые стороны и угрозы». 1. Отсутствие спроса на продукт из-за высокой стоимости системы. 2. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции, может привести к повышению стоимости на продукт.
---	--	---

Проведение SWOT-анализа позволило выявить сильные и слабые стороны проекта, а также существующие возможности и угрозы для дальнейшей реализации проекта.

Основными достоинствами такой системы является то, что она включает в себя современные компоненты, использует надежные ПЛК и обладает соответствующей точностью.

У системы также существует ряд недостатков, которые в первую очередь связаны с потребностью в высококвалифицированном персонале, способным обеспечить обслуживание данной системы. Выявленные недостатки возможно устранить путем соответствующей подготовки специалистов.

## 5.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ, установлена продолжительность работ, построен график проведения научного исследования.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по видам работ приведен в таблице 5.3.



Таблица 5.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель
	3	Выбор направления исследования	Исполнитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель темы
Теоретические исследования	5	Поиск и анализ существующих проектных решений	Исполнитель
	6	Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков, поиск способ усовершенствования	Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель темы
	8	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель темы
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка проектной конструкторской документации, подбор оборудования	Исполнитель
	10	Разработка мероприятий связанных с охраной труда и экологической безопасностью	Исполнитель
	11	Оценка коммерческого потенциала, ресурсоэффективности, ресурсосбережения	Исполнитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	12	Составление пояснительной записки ВКР	Исполнитель

## 5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

В данном разделе определена трудоемкость работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях и носит вероятностных характер.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожi}$  используется следующая формула [14]:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (5.2)$$

где  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;  $t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка), чел.-дн.;  $t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями [14].

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (5.3)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;  $Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого воспользуемся формулой [14]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5.4)$$

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле [2]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5.5)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;  $T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;  $T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Количество календарных дней в 2021 году составило 365 дней, количество выходных и праздничных дней – 118 дней.

Коэффициент календарности равен [14]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48.$$

Для руководителя коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22.$$

В таблице 5.4 указан перечень работ, исполнители и временные показатели выполнения проекта.

Таблица 5.4 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	$t_{min}$ , чел.-дни		$t_{max}$ , чел.-дни		$t_{ож}$ , чел.-дни		$T_{pi}$		$T_{ki}$	
	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель
Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	4	-	5	-	4,4	-	5	-	10
Выбор направления исследования	-	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4
Календарное планирование работ по теме	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Поиск и анализ существующих проектных решений	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6

Продолжение таблицы 4

Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков, поиск способов усовершенствования	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Оценка эффективности полученных результатов	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Определение целесообразности проведения ОКР	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Разработка проектной конструкторской документации, подбор оборудования	-	22	-	24	-	22,8	-	23	-	46
Разработка мероприятий связанных с охраной труда и экологической безопасностью	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Оценка коммерческого потенциала, ресурсоэффективности, ресурсосбережения	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Составление пояснительной записки ВКР	-	4	-	5	-	4,4	-	5	-	10

Пример расчета для первой строки:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел. - дн.};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{1,4}{1} = 2 \text{ дня};$$

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ дней.}$$

### 2.3 Разработка графика проведения научного исследования

В данном разделе построен ленточный график проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [14]. Календарный план-график построен на основе таблицы 5.4 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней).

Таблица 5.5 – Календарный план-график проекта

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ , кал.дн.													
				февраль		март			апрель			май				
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	■												
2	Поиск и изучение материалов по теме	Исполнитель	10		▨											
3	Выбор направления исследования	Исполнитель	4			▨										
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	4			■										
5	Поиск и анализ существующих проектных решений	Исполнитель	6			▨										
6	Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков, поиск способ усовершенствования	Исполнитель	6				▨									
7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	4				■									
8	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель	4				■									
9	Разработка проектной конструкторской документации, подбор оборудования	Исполнитель	46					▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
10	Разработка мероприятий связанных с охраной труда и экологической безопасностью	Исполнитель	6											▨		

Продолжение таблицы 5.5

11	Оценка коммерческого потенциала, ресурсоэффективности, ресурсосбережения	Исполнитель	6															
12	Составление пояснительной записки ВКР	Исполнитель	10															



- Руководитель



- Исполнитель

### 5.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

#### 5.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по теме [14]. Затраты на оборудование приведены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Расчет бюджета

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
Персональный компьютер	1	110 000	110 000
Итого			110 000

Затраты на амортизации используемого ПК, руб./год рассчитываются по формуле:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.пк}} \cdot C_{\text{пк}}}{T_{\text{кал.}} \cdot T_{\text{сл}}}, \quad (5.6)$$

где  $T_{\text{исп.пк}}$  – время использования ПК;  $C_{\text{пк}}$  – цена ПК;  $T_{\text{кал.}}$  – календарное время;  $T_{\text{сл}}$  – срок службы ПК.

$$K_{\text{ам}} = \frac{110 \cdot 110000}{365 \cdot 3} = 11050 \text{ руб./год.}$$



### 5.3.2 Основная заработная плата исполнителей проекта

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоёмкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок [14].

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату [14]:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (5.7)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20% от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле [14]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (5.8)$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [14]:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (5.9)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 28 раб. дня  $M=11,1$  месяца, 5-дневная рабочая неделя; в 48 раб.дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная рабочая неделя;  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 7).

Таблица 5.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные, праздничные дни)	66	118
Потери рабочего времени (отпуск, невыходы по болезни)	56	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	219

Месячный должностной оклад работника [2]:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (5.10)$$

где  $Z_{TC}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{TC}$ );  $k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,15-0,2 (т.е. 15-20% от  $Z_{TC}$ );  $k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Месячный должностной оклад руководителя и исполнителя:

$$Z_M^{рук} = Z_{TC}^{рук} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 30000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 58500 \text{ руб.},$$

$$Z_M^{инж} = Z_{TC}^{инж} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 16000 \cdot (1 + 0,3 + 0,15) \cdot 1,3 = 30160 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата руководителя и исполнителя:

$$Z_{дн}^{рук} = \frac{Z_M^{рук} \cdot M}{F_d} = \frac{58500 \cdot 10,1}{243} = 2431,5 \text{ руб.},$$

$$Z_{дн}^{инж} = \frac{Z_M^{инж} \cdot M}{F_d} = \frac{30160 \cdot 11,07}{219} = 1524,5 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата руководителя и исполнителя:

$$Z_{осн}^{рук} = Z_{дн}^{рук} \cdot T_p = 2431,5 \cdot 8 = 19452 \text{ руб.},$$

$$Z_{осн}^{инж} = Z_{дн}^{инж} \cdot T_p = 1524,5 \cdot 47 = 71651,5 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	30000	0,3	0,2	1,3	58500	2431,5	8	19452
Исполнитель	16000	0,3	0,15	1,3	30160	1524,5	47	71651,5
Итого $Z_{осн}$								91103,5

### 5.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодно оплачиваемого отпуска и т.д.) [14].

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [14]:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (5.11)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12-0,15).

$$Z_{доп}^{рук} = k_{доп} \cdot Z_{осн}^{рук} = 0,12 \cdot 19452 = 2334,2 \text{ руб.},$$

$$Z_{доп}^{инж} = k_{доп} \cdot Z_{осн}^{инж} = 0,12 \cdot 71651,5 = 8598,2 \text{ руб.}$$

### 5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФОМС) от затрат на оплату труда работников [14].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [14]:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (5.12)$$

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды руководителя и исполнителя:

$$З_{\text{внеб}}^{\text{рук}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}}^{\text{рук}} + З_{\text{доп}}^{\text{рук}}) = 0,302 \cdot (19452 + 2334,2) = 6535,9 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{внеб}}^{\text{инж}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}}^{\text{инж}} + З_{\text{доп}}^{\text{инж}}) = 0,302 \cdot (71651,5 + 8598,2) = 24074,9 \text{ руб.}$$

### 5.3.5 Услуги сторонних организаций

Оплата услуг сторонних организаций включает расходы, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями [14].

В данном случае к ним относятся печатные услуги, включающие в себя печать листов различного формата, в том числе чертежей, и брошюровка.

$$З_{\text{конр}} = 400 \text{ руб.}$$

### 5.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле [14]:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (5.13)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16% [14].

Величина накладных расходов:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{контр}}) \cdot k_{\text{нр}} = \\ = 91103,5 + 10932,4 + 30610,8 + 400) \cdot 0,16 = 21288 \text{ руб.}$$

### 5.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции [14].

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб	Примечание
1. Амортизационные отчисления	11050	Пункт 3.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	91103,5	Пункт 3.2
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10932,4	Пункт 3.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	30610,8	Пункт 3.4
5. Услуги сторонних организаций	400	Пункт 3.5
6. Накладные расходы	21288	Пункт 3.6
7. Бюджет затрат НТИ		165384,7 руб.

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

### 5.4.1 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения проекта можно определить следующим образом [14]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5.14)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;  $a_i$  – весовой коэффициент;  $b_i$  – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Для проведения сравнительной оценки рассмотрим три варианта реализации автоматической системы регулирования, в каждой из которых используются разные регуляторы:

- регулирование уровня в резервуаре при помощи ПИ регулятора - исп. 1;
- регулирование уровня в резервуаре при помощи нейронной сети – исп. 2.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен с помощью таблицы 5.10.

Таблица 5.10 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп.2
1. Способствует росту производительности труда	0,05	4	5
2. Динамическая точность системы	0,2	3	5
3. Простота эксплуатации	0,05	4	5
4. Надежность	0,2	3	5
5. Качество регулирования	0,2	4	5
6. Простота наладки	0,1	5	3
7. Срок эксплуатации	0,2	3	5
ИТОГО	1	3,5	4,8

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{p1} = 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 = 3,5,$$

$$I_{p2} = 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 = 4,8.$$

Наивысший показатель ресурсоэффективности наблюдается у второго варианта исполнения, который равен 4,8, что говорит об эффективности использования ресурсов.

## **Вывод по разделу**

В ходе выполнения данного раздела была проведена оценка коммерческой ценности проекта.

В первой части проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Определены потенциальные потребители данного проекта, проведен анализ конкурентных технических решений. С помощью SWOT-анализа выявлены сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы.

Во второй части определена структура работ в рамках научного исследования и трудоемкость их выполнения, разработана диаграмма Ганта.

В третьей части определен и сформирован бюджет научно-технического исследования, выполнен расчет материальных затрат, затрат на оборудование, основной заработной платы исполнителей, дополнительной заработной платы исполнителей, отчислений во внебюджетные фонды и накладные расходы.

В четвертой части определен интегральный показатель ресурсоэффективности, по которому можно судить об экономии ресурсов для достижения поставленной цели.

Анализируя полученные результаты можно оценить, сколько финансовых средств и времени потребуется на реализацию данного проекта и о том насколько проект будет востребован на рынке.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7В	Свириденко Александр Сергеевич

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бугакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

Искусственные нейронные сети в задачах управления технологическими процессами	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: автоматическая система регулирования уровня жидкости в резервуаре типа РВСП-20000. Область применения: резервуарные парки для хранения нефтепродуктов.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	1. ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя»; 2. ГОСТ 21889-76 «Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора»; 3. ГОСТ 22269-76 «Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места»
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<b>Вредные факторы:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– недостаточная освещенность рабочего места;</li> <li>– отклонение показателей микроклимата;</li> <li>– повышенный уровень шума;</li> <li>– повышенный уровень электромагнитных излучений.</li> </ul> <b>Опасные факторы:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– поражение электрическим током</li> </ul>



<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Атмосфера: газообразные выбросы; Гидросфера: при разрыве трубопровода возможно загрязнение сточных вод или водоёмов; Литосфера: при разрыве трубопровода возможно загрязнение почвы.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС на объекте: внезапный разрыв трубопровода, возгорание. Наиболее типичная ЧС: внезапный разрыв трубопровода.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7В	Свириденко Александр Сергеевич		

## **6 Социальная ответственность**

### **Введение**

В данной выпускной квалификационной работе была разработана автоматическая система регулирования уровня в резервуаре РВСП-20000.

В данном разделе будут представлены опасные и вредные факторы, а также меры по ограничению их воздействия на оператора АСУ ТП. Будут проанализированы вопросы по охране окружающей среды, рассмотрены вопросы техники безопасности и пожарной профилактики, а также рассмотрены правовые и организационные вопросы по обеспечению безопасности жизнедеятельности.

### **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **6.1.1 Специальные трудовые нормы правового законодательства**

Согласно источнику [15] каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- быть застрахованным в системе обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с Федеральным законом от 24 июля 1998 г. № 125-ФЗ;
- получать достоверную информацию от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказаться от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;

- получить средства индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучаться безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- на профессиональную переподготовку за счет средств работодателя в случае ликвидации рабочего места вследствие нарушения требований охраны труда;
- лично или через своих представителей участвовать в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- на внеочередной медицинский осмотр (обследование) за счет работодателя в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра (обследования).

Для допуска на работу инженера по автоматизированным системам управления технологическими процессами (АСУ ТП) требуются лица, имеющие высшее профессиональное (техническое) образование без предъявления требований к стажу работы либо среднее профессиональное (техническое) образование и стаж работы в должности техника I категории не менее 3 лет или на других должностях, замещаемых специалистами со средним профессиональным (техническим) образованием, не менее 5 лет [16].

Для оператора также требуется опыт работы не менее одного года работы в должности оператора линии загрузки-выгрузки. В качестве особых условий для допуска к работе оператора необходимо прохождение инструктажа по охране труда, а также обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров в порядке, установленном законодательством Российской Федерации [16].

## **6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы. Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда [17].

В ходе данной работы необходимо определить общие эргономические требования к работе с мнемосхемами, пультами управления, а также определить свойства расположения элементов рабочего места, а также кресла оператора.

ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя». Устанавливает общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя при проектировании нового и модернизации действующего оборудования и производственных процессов [18].

ГОСТ 22269-76 «Система "человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования» регламентирует свойства, предъявляемые к элементам рабочего места: пульту управления, средств отображения информации, органов управления, кресла, вспомогательного оборудования [19].

ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора» устанавливает требования, предъявляемые к креслу человека-оператора стационарных и подвижных объектов и устанавливает общие эргономические требования к креслу, определяя типы и основные конструктивные параметры кресел [20].

Обеспечение микроклимата производственного помещения (температуру воздуха, температуры поверхностей, относительную влажность

воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового облучения) регламентируется в источнике [21].

## **6.2 Производственная безопасность**

### **6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов**

Для выявления потенциально вредных и опасных факторов, обращаемся к ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [22].

В таблице 6.1 приведены опасные и вредные факторы при эксплуатации автоматической системы управления питания парового котла водой.

Таблица 6.1 – Опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003- 2015)	Этап работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Недостаточная освещенность рабочего места		+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [47].
2.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [48].
3. Повышенный уровень шума		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки [49]
4.Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	+	+	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля [50].
5.Поражение электрическим током	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [51].

### 1) Недостаточная освещенность рабочего места

Освещенность рабочего места напрямую зависит на качество работы и на здоровье операторы. Основное предназначение освещения в рабочей зоне приводит к снижению утомляемости органов зрения, предотвращению профессиональных заболеваний, а также повышению эффективности труда и качества работы. В таблице 6.2 представлены требования к освещению помещений промышленных предприятий [23].

Таблица 6.2 - Требования к освещению помещений промышленных предприятий

Характеристика зрительной работы	Разряд зрительной работы	Под-разряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение	
					Освещенность, лк	
					при системе комбинированного освещения	при системе общего освещения
Общее наблюдение за ходом производственного процесса: постоянное; периодическое при постоянном пребывании людей в помещении; в то же, при периодическом; общее наблюдение за инженерными коммуникациями	VIII	а	Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном	-	-	200
		б	То же	-	-	75
		в	"	-	-	50
		г	"	-	-	20

## 2) Отклонение параметров микроклимата

Микроклимат помещения оказывает прямое влияние на состояние здоровья работника: низкие температуры в рабочей зоне могут привести к простудным заболеваниям и переохлаждениям, а высокие – к неудовлетворительному состоянию работников. Работа оператора в данном объекте относится к классу легких работ. Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте должны соответствовать величинам, приведенным в таблице 6.3. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочем месте должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 6.4 [24].

Таблица 6.3 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С
Холодный	Іб (140 - 174)	21-23	20-24
Теплый	Іб (140 - 174)	22-24	21-25
Период года	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
Холодный	60-40	0,1	
Теплый	60-40	0,1	

Таблица 6.4 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин	
Холодный	Іб (140 - 174)	19-20,9	23,1-24	
Теплый	Іб (140 - 174)	20-21,9	24,1-28	
Период года	Скорость движения воздуха, м/с		Относительная влажность воздуха, %	Температура поверхностей, °С
	Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин		
Холодный	0,1	0,2	18-25	15-75
Теплый	0,1	0,3	19-29	15-75

### 3) Повышенный уровень шума

В условиях сильного шума для работника возникает опасность возникновения профессиональных болезней. В производственных условиях источниками шума являются работающие станки и механизмы, ручные механизированные инструменты и т.д. В таблицах 6.5 и 6.6 допустимые уровни шума на производстве [25].



Таблица 6.5 – Предельно допустимые уровни инфразвука на рабочих местах

Эквивалентные уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц				Эквивалентный общий уровень звукового давления, дБ	Максимальный текущий общий уровень инфразвука, дБ
2	4	8	16		
100	95	90	85	100	120

Таблица 6.6 – Предельно допустимые уровни звукового давления воздушного ультразвука на рабочих местах

Третьоктавные полосы частот, кГц	Уровни звукового давления, дБ
12,5	80
16,0	90
20,0	100
25,0	105
31,5-100,0	110

#### 4) Повышенный уровень электромагнитного излучения

Длительное воздействие электромагнитного поля промышленной частоты может вызвать нарушения нервной и сердечно-сосудистой систем, выражающиеся в повышенной утомляемости, сильных болях в области сердца, изменении кровяного давления и пульса.

Источниками могут служить расположенные на станции электроустановки (линии электропередач, трансформаторы, электромагниты, электродвигатели), установленные в кабине оператора устройства (щиты автоматизации, персональные компьютеры) и прочее. В таблице 6.7 приводятся допустимые уровни электромагнитных полей на рабочих местах персонала [26].

Таблица 6.7 – Предельно допустимые значения напряженностей электрического и магнитного полей

Параметр	Предельные значения в диапазонах частот, МГц		
	От 0,06 до 3	св. 3 до 30	св. 30 до 300
Напряженность электрического поля	500	300	80
Напряженность магнитного поля	50	-	-

### 5) Возможность поражения электрическим током

Действие электрического тока на организм человека может быть тепловым (ожоги), механическим (разрыв тканей), химическим и биологическим (нарушение функций нервной системы). В таблице 6.8 приведены значения напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки [27].

Таблица 6.8 – Значения напряжений прикосновений и токов

Род тока	U, В	I, mA
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Постоянный	8,0	1,0

### 6.2.2 Обоснование мероприятий по снижению неблагоприятных воздействий

Для предотвращения недостаточной освещенности рабочего места предлагается установка современных ламп освещения, а также постоянное контролирование показаний освещенности. Если лампы не соответствуют необходимым показателям, то производится светотехнический перерасчет.

Для снижения воздействий от недостаточных показателей микроклимата предлагается постоянное контролирование температуры на рабочем месте совместно с дополнительными устройствами регулирования микроклимата (увлажнение воздуха, система вентиляции и т.п.).

Для снижения воздействия шумовой завесы предлагается установка шумоподавляющих установок и панелей совместно с обеспечением сотрудников СИЗ органов слуха.

Для снижения воздействий от электромагнитных излучений предлагается установка специальных приборов, нейтрализующих электромагнитное излучение совместно с рациональным удалении АРМ от источников.

Для снижения потенциальных токовых воздействий предлагается использование низковольтных и низкотоковых устройств, а также средств индивидуальной защиты от воздействия тока.

### **6.3 Экологическая безопасность**

Загрязнение окружающей среды – это привнесение в окружающую среду или возникновение новых физических, химических или биологических агентов (загрязнителей) [28].

#### **1) Защита атмосферы**

В результате хранения нефтепродуктов в резервуаре типа РВСП-20000, в значительной степени может загрязнять атмосферу газообразными выбросами. Для их снижения планируются следующие мероприятия:

- уменьшение амплитуды колебаний температуры газового пространства резервуара (тепловая изоляция, охлаждение водой в летнее время и подземное хранение);
- сокращение объёма газового пространства;
- применение газоуравнительной системы, представляющую сеть газопроводов, соединяющих через огневые предохранители газовые пространства резервуаров между собой.

#### **2) Защита гидросферы**

Весь технологический процесс на резервуарных парках может оказать негативное влияние на водооборот во время очищения резервуаров. Поэтому предлагаются следующие мероприятия:

- своевременная уборка мусора и отходов для исключения загрязнения территории отходами производства;
- внедрение более современных систем для постоянного контроля оборудования.

#### **3) Защита литосферы**

Хранение нефтепродуктов в резервуаре типа РВСП-2000 в значительной степени может загрязнять литосферу во время утечек или разливов нефтепродуктов. Для их снижения планируются следующие мероприятия:

- внедрение более современных систем для постоянного контроля оборудования

#### **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – это состояние, при котором в результате возникновения источника ЧС на объекте, определенной территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и природной среде [29].

Возможные чрезвычайные ситуации, которые могут произойти на данном объекте: внезапный разрыв трубопровода, возгорание.

Наиболее характерной для данной системы является техногенная ЧС – внезапный разрыв трубопровода. Внезапный разрыв трубопровода в свою очередь является угрозой взрыва.

Возможные причины разрыва трубопровода в данной системе:

- изнашивание оборудования;
- несоблюдение правил эксплуатации технологическим процессом;
- несоблюдение техники безопасности.

Мероприятия для предотвращения внезапных разрывов трубопроводов:

- контроль состояния устройств путем внешнего осмотра и выявление проблемных участков;
- проведение инструктажа с сотрудниками;
- установка дополнительных средств для контроля.

### **Вывод по разделу**

В ходе выполнения данного раздела были рассмотрены и проанализированы вопросы, обуславливающие социальную ответственность для разработанной системы.

В результате были определены негативные воздействия на окружающую среду; выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие на производстве; указаны методики и средства борьбы с этими факторами; описаны возможные ЧС и меры по их предупреждению, а также описаны требования по поведению персонала при ЧС.

## Заключение

В ходе выполнения работы был произведен анализ объекта автоматизации, структуры автоматизации, технических средств контроля и автоматизации, а также произведен выбор оптимальных вариантов.

Была спроектирована автоматическая система контроля и регулирования уровня жидкости в резервуаре РВСП-20000.

Было произведено экспериментальное определение характеристик объекта управления и рассмотрен корневой метод параметрического синтеза с использованием РАФЧХ. Для заданной степени затухания ( $\psi = 0,90$ ) переходного процесса в системе были выбраны оптимальные настройки для регулятора, согласно первому интегральному критерию. Была смоделирована модель в программной обеспечением MatLab с использованием ПИ-регулятора и нейронной сетью. Проведен сравнительный анализ.

Оценка качества регулирования показала, что система с алгоритмом DDPG регулирует процесс намного эффективнее, чем ПИ-регулятор.

## Список использованных источников

1. Термометры сопротивления ТР-Е-10. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://теплоприбор.пф/catalog/termometr-soprotivleniya-tr-e-10-mnogozonnyj/> свободный. – Загл. с экрана.
2. Термометры сопротивления ТП-Е-10. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://теплоприбор.пф/catalog/termopara-tp-e-10-mnogozonnaya/> свободный. – Загл. с экрана.
3. Ультразвуковой расходомер Sentinel LCE4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dscontrols.net/product/kipia/raskhodomer-dlya-kommercheskogo-ucheta-sentinel-lct4-lct8/> свободный. – Загл. с экрана.
4. Двухроторный счетчик жидкости РОТЭКмер. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://petrocontrol.ru/dvuhrotornyiy-schyotchik-zhidkosti-rotekmer/> свободный. – Загл. с экрана.
5. Датчик давления для агрессивных сред APZ 3240. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://piezus.ru/products/datchiki-davlenija/apz-3240.html> свободный. – Загл. с экрана.
6. Датчик давления для агрессивных сред APZ 3410. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://piezus.ru/products/datchiki-davlenija/apz-3410.html> свободный. – Загл. с экрана.
7. Уровнемеры радиоволновые УР 203. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.urovnemers.ru/tech/ur-203ex-re.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
8. Радарный бесконтактный уровнемер БАРС 351И. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://теплоприбор.пф/catalog/bars-351i/> свободный. – Загл. с экрана.
9. Модульный программируемый контроллер SIMATIC S7-300. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Products/5000013?tree=CatalogTree> свободный. – Загл. с экрана.

10. Блоки управления БУЭР 1-30. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elkont.ru/> свободный. – Загл. с экрана.
11. Механизмы исполнительные электрические однооборотные. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zeim.ru/production/docs/re/53.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
12. Электрокомплект сервис. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://e-kc.ru/cena/cable-kvvg-10-1\\_5](https://e-kc.ru/cena/cable-kvvg-10-1_5) свободный. – Загл. с экрана.
13. СТО ТПУ 2.5.01-2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://standard.tpu.ru/docs/standorg/ВКР\\_ориг1.htm](http://standard.tpu.ru/docs/standorg/ВКР_ориг1.htm) свободный. – Загл. с экрана.
14. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
15. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021).
16. Приказ Минздравсоцразвития России от 10.12.2009 N 977 (ред. от 12.02.2014) "Об утверждении Единого квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и служащих, раздел "Квалификационные характеристики должностей работников организаций атомной энергетики".
17. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913>, свободный. – Загл. с экрана.
18. ГОСТ 22269-76 «Система "человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования».



19. ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора».
20. ТЕХЭКСПЕРТ. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901704046>, свободный. – Загл. с экрана.
21. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200136071> свободный. – Загл. с экрана.
22. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
23. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
24. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
25. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
26. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
27. Загрязнение. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>, свободный. – Загл. с экрана.
28. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 22.0.05-97/ГОСТ Р 22.0.05-94. Техногенные чрезвычайные ситуации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200001536>, свободный. – Загл. с экрана