

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
 ООП/ОПОП: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике
 Отделение школы: НОЦ И.Н. Бутакова

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
АСР уровня воды в баке-аккумуляторе деаэратора

УДК 681.51:621.311.22:621.186.68

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Емельянов Степан Геннадьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Озерова Ирина Петровна	к.т.н. доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Образовательная программа: Инженерия теплоэнергетики и теплотехники

Специализация: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-2	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования в теоретических и экспериментальных исследованиях при решении профессиональных задач
ОПК(У)-3	Способен вести инженерную деятельность, разрабатывать, оформлять и использовать техническую проектную и эксплуатационную документацию в соответствии с требованиями действующих нормативных документов
ОПК(У)-4	Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
ОПК(У)-5	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники, использовать электронные приборы и устройства в производственной деятельности, осуществлять метрологическое обеспечение
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач
ПК(У)-2	Способен анализировать эффективность современных технологий преобразования энергии в энергетических установках
ПК(У)-3	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на ТЭС
ПК(У)-4	Способен применять знания назначения и принципов действия средств измерений, автоматизации, технологических защит и блокировок в процессе проектирования и эксплуатации АСУ ТП
ПК(У)-5	Способен проектировать объекты теплоэнергетики и тепломеханическое оборудование тепловых электростанций
ПК(У)-6	Способен участвовать в управлении процессом эксплуатации оборудования и трубопроводов ТЭС, контролировать параметры технологических процессов и показатели качества рабочего тела
ПК(У)-7	Способен выполнять предпроектное обследование объекта автоматизации, разрабатывать проектную и конструкторскую документацию АСУ ТП
ПК(У)-8	Способен применять методы специальных расчетов и моделирования при построении АСУ ТП и АСУП

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
 ООП/ОПОП: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике
 Отделение школы: НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Атрошенко Ю.К.
 (Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5Б93	Емельянов Степан Геннадьевич

Тема работы:

АСР уровня воды в баке-аккумуляторе деаэратаора	
Утверждена приказом директора ИШЭ	10.02.2023, № 41–34/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2023г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом автоматизации является бак-аккумулятор деаэратаора. Использование деаэратаора позволит удалить из питательной воды кислород и другие газы, что улучшает её теплоактивность и увеличивает работоспособность паровой турбины.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1.Описание объекта автоматизации; 2.Разработка структурной схемы; 3.Разработка функциональной схемы и составление заказной спецификации; 4.Разработка монтажной схемы внешних проводок; 5.Разработка схемы электрической соединений;

	6.Разработка общего вида щита управления; 7.Расчет оптимальных параметров настройки регулятора и прямых оценок качества системы регулирования; 8.Разработка мнемосхемы АСР; 9.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 10. Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1.Схема структурная АСР; 2.Схема функциональная АСР; 3.Заказная спецификация приборов и средств автоматизации; 4.Схема электрическая соединений; 5.Перечень элементов электрической схемы; 6.Схема монтажная внешних проводок; 7.Общий вид щита управления.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н., Якимова Татьяна Борисовна
Социальная ответственность	Ст. преподаватель ООД ШБИП, Мезенцева Ирина Леонидовна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	03.02.2023г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Озерова Ирина Петровна	к.т.н. доцент		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Емельянов Степан Геннадьевич		

Реферат

Данное исследование заключается в том, что выпускная квалификационная работа представляет собой документ, содержащий 120 страниц, 14 рисунков, 55 таблиц, 68 источников и 14 листов графического материала, с ключевыми словами, такими как деаэратор, бак-аккумулятор, питательная вода, автоматическая система регулирования и программируемый логический контроллер.

Она направлена на разработку автоматической системы регулирования уровня воды в баке-аккумуляторе деаэрата, который является объектом автоматизации.

В ходе исследования были разработаны структурная, функциональная и монтажная схемы системы, а также электрическая схема соединений и чертеж общего вида щита управления, составлены заказные спецификации приборов и средств автоматизации, а также произведен расчет параметров настройки ПИ-регулятора.

Результатом работы стал комплект конструкторской документации для автоматической системы регулирования уровня воды в баке-аккумуляторе деаэрата.

Обозначение и сокращение

АСР – автоматическая система регулирования;

Д – деаэратор;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

ХОВ – химически обессоленная вода;

ОК – основной конденсат;

ПВ – питательная вода;

РТП – регулируемый технологический параметр;

ИМ – исполнительный механизм;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

РО – регулирующий орган;

ЗС – заказная спецификация;

ПЭ – перечень элементов;

ВО – вид общий.

Содержание

Реферат	6
Обозначение и сокращение	7
Введение.....	12
1 Системный анализ объекта автоматизации	13
1.1 Объект автоматизации.....	13
1.2 Описание назначения объекта автоматизации.....	13
1.3 Выбор деаэратора.....	14
1.4 Регулируемые и контролируемые параметры.....	15
2 Разработка структуры комплекса технических средств (КТС) автоматизированной системы управления	17
3 Разработка функциональной схемы АСР	20
4 Выбор приборов и средств автоматизации	23
4.1 Выбор датчиков расхода	23
4.2 Выбор датчиков давлений.....	26
4.3 Выбор датчиков температуры.....	29
4.4 Выбор датчиков уровня.....	32
4.5 Выбор контроллера	35
4.6 Выбор РО с электроприводом	37
5 Составление перечней входных и выходных сигналов	39
6 Разработка принципиальной электрической схемы щита управления	41
7 Составление перечня элементов щита управления.....	50
8 Разработка схемы соединений внешних проводок АСР.....	51
9 Разработка общего вида щита управления.....	55

9.1	Выбор щита для размещения оборудования	55
9.2	Описание общего вида щита управления	55
12	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	73
12.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	74
12.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	74
12.1.2	Анализ конкурентоспособности технических решений	74
12.1.3	Матрица SWOT	76
12.2	Планирование научно-исследовательских работ	78
12.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	78
12.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	79
12.3	Бюджет научно-технического исследования	84
12.3.1	Расчет материальных затрат НИР	84
12.3.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	85
12.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы.....	86
12.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей	88
12.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	88
12.3.6	Накладные расходы.....	89
12.3.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	89
12.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..	90

Графический материал.....	На отдельных листах
ФЮРА.421000.006.С1	Схема структурная АСР уровня воды в баке-аккумуляторе деаэраторе
ФЮРА.421000.006.С2	Схема функциональная АСР уровня воды в баке-аккумуляторе деаэратора
ФЮРА.421000.006.СО1	Заказная спецификация приборов и средств автоматизации
ФЮРА.421000.006.Э4	Схема электрическая соединения щита управления
ФЮРА.421000.006.ПЭ4	Перечень элементов
ФЮРА.421000.006.С4	Монтажная схема соединений внешних проводок
ФЮРА.421000.006.ВО	Общий вид щита управления

Введение

Использование деаэратора позволит удалить из питательной воды кислород и другие газы, что улучшает её теплоактивность и увеличивает работоспособность паровой турбины [1]. Однако для правильного функционирования деаэратора необходим контроль уровня воды. Автоматическая система регулирования уровня в деаэраторе – это инновационное решение, позволяющее оптимизировать работу деаэратора и обеспечить стабильность работы в системе подготовки питательной воды.

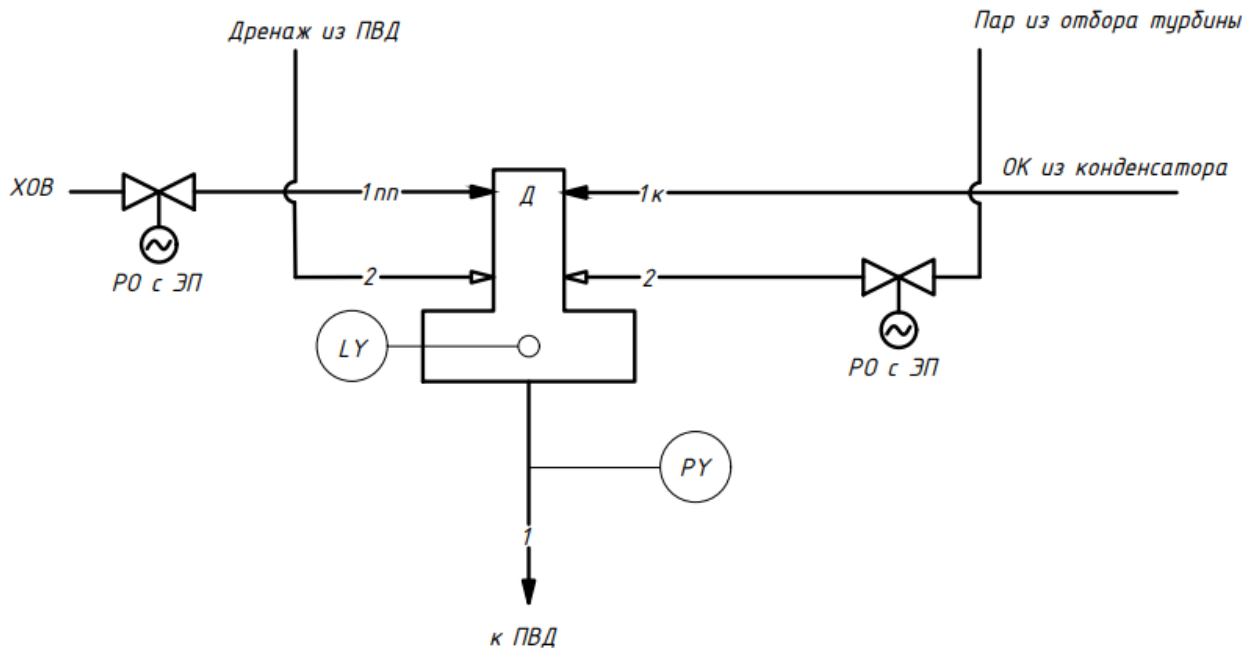
Применение автоматических систем регулирования на электростанциях с малым числом обслуживающего персонала повышает надежность и экономичность работы энергооборудования [2]. Однако для оценки эффективности работы энергоустановок важно учитывать множество взаимосвязанных факторов, поэтому используется вычислительная техника для автоматического сбора информации и расчета технико-экономических показателей. Автоматизированная система управления технологическими процессами тепловой электростанции состоит из подсистем контроля, управления и расчета технико-экономических показателей [3]. В связи с этим, задача, рассматриваемая в данной работе, является актуальной.

Данная работа направлена на создание набора документации для автоматической системы регулирования уровня воды в баке-аккумуляторе деаэратора. Для достижения этой цели был составлен список задач, включающий проведение анализа объекта автоматизации, разработку проектной документации, расчет оптимальных параметров регулятора и оценку качества работы системы, а также расчет затрат на исследование и учет вопросов безопасности и социальной ответственности.

1 Системный анализ объекта автоматизации

1.1 Объект автоматизации

Объект автоматизации: бак-аккумулятор деаэрата, в котором нужно регулировать уровень воды и давление. На рисунке 1 показана технологическая схема регулирования уровня в деаэраторе.



Д – деаэратор; ОК – основной конденсат; ХОВ – химически обессоленная вода; РО – регулирующий орган; ЭП – электропривод; ПВД – подогреватель высокого давления.

Рисунок 1 – технологическая схема регулирования уровня воды

1.2 Описание назначения объекта автоматизации

Деаэратор — техническое устройство, реализующее процесс деаэрации некоторой жидкости (обычно воды или жидкого топлива), то есть её очистки от присутствующих в ней нежелательных газовых примесей. На многих электрических станциях также играет роль ступени регенерации тепла и бака запаса питательной воды [5].

Назначение деаэрата – удаление газообразных примесей из теплоносителя. В воде конденсатно-питательного тракта могут присутствовать различные примеси: газообразные (кислород, углекислота,

азот и т. д.), твердые (продукты коррозии), естественные (хлориды, кремнекислоты и другие) [5].

1.3 Выбор деаэратора

Для проектирования АСР уровня воды в баке-аккумуляторе был выбран деаэратор повышенного давления ДП 500/100. Термический деаэратор повышенного давления ДП-500/100 с двухступенчатой струйно-барботажной деаэрацией состоит из горизонтального деаэраторного бака и установленной на нем деаэрационной колонки. Деаэратор оснащен регулятором давления для поддержания в нём постоянного давления независимо от тепловой, гидравлической нагрузок и давления пара при условии его превышения над давлением в деаэраторе, предохранительными клапанами (в качестве защитных устройств от повышения давления).



Рисунок 2 – Внешний вид деаэратора

Деаэратор является негабаритным грузом и поставляется отдельными блоками: колонка, бак деаэраторный, отдельные детали и комплектующие изделия.

В таблице 1 приведены его основные характеристики:

Таблица 1 – Параметры деаэрата

Обозначение и наименование	Производительность, т/ч	Давление, МПа	Температура ПВ, °С	Полезная вместимость бака, м ³
ДП 500/100	500	0,6	164	100

1.4 Регулируемые и контролируемые параметры

Основная задача – это регулирование уровня и давления в баке-аккумуляторе деаэрата. Химически очищенная вода вместе с основным конденсатом поступают сверху в деаэрационную колонку, а пар из отбора турбины и из ПВД поступают снизу деаэрационной колонки. Принцип работы деаэрата заключается в том, что, когда вода поступает в деаэратор, она проходит через специальные распылители, которые разбивают ее на мелкие капли. Пар, который подаётся из отбора турбины в деаэратор, имеет более высокую температуру, чем вода. Происходит нагрев паром капелек воды до состояния насыщения и вода вскипает. Выходящие из воды газы удаляются из камеры деаэрата через специальный газоотводной клапан, а очищенная от газов вода выходит из деаэрата и направляется в систему, где она используется для различных процессов [1]. Таким образом, принцип работы деаэрата заключается в создании повышенного давления и высокой температуры, что позволяет удалять растворенные газы из воды. Это позволяет улучшить качество воды и предотвращает коррозию и другие повреждения в системах, где используется вода. В таблице 2 представлены список контролируемых и регулируемых параметров.

Таблица 2 – Список регулируемых и контролируемых параметров

Регулируемые параметры	Контролируемые параметры
Давление пара в деаэрате (6 бар.)	Расход ХОВ (+-10т/ч)
Уровень воды в баке деаэрата (2,2 м)-65%	

В таблице 3 представлены список возмущающих и регулируемых воздействий.

Таблица 3– Список возмущающих и контролируемых воздействий

Возмущающие воздействия	Регулирующие воздействия
Температура основного конденсата	Расход пара с отбора
Давление основного конденсата	
Температура пара с отбора	

2 Разработка структуры комплекса технических средств (КТС) автоматизированной системы управления

Перед началом создания проекта по автоматизации необходимо выяснить, какие участки объекта будут под управлением и где расположатся пункты управления. Структура управления — это составные части автоматической системы, которые можно разбить по признакам и пути передачи воздействий между ними. Графическое изображение этой структуры называется структурной схемой. Выбор структуры управления объектом автоматизации имеет значительное влияние на его эффективность, стоимость, надежность, ремонтпригодность и другие факторы.

Для выполнения необходимых требований АСР необходимо контролировать и регулировать параметры, применяемые при работе данной системы. На рисунке 3 приведена структурная схема АСР уровня воды в баке-аккумуляторе деаэратора. Система автоматизации состоит из объекта автоматизации и системы управления этим объектом. В результате определенной связи между регулируемыми параметрами в объекте автоматизации и системой управления, в общем обеспечивает необходимый результат функционирования объекта.

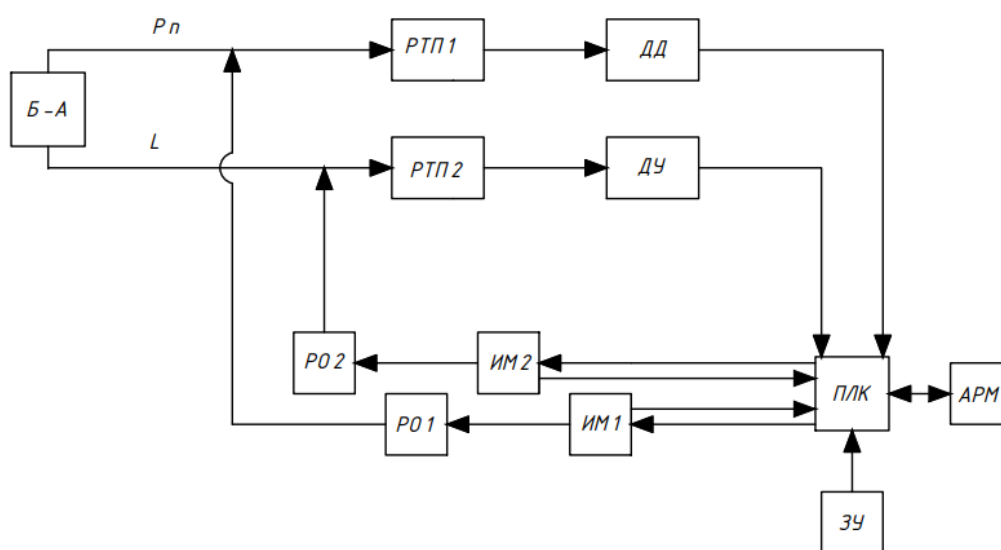


Рисунок 3 – Структурная схема автоматизации

В текущей структурной схеме применяются следующие элементы:

Таблица 4 – Элементы, входящие в состав структурной схемы АСР

Элемент	Условное обозначение на чертеже	Назначение
Бак-аккумулятор деаэрата	Б-А	Объект автоматизации
Датчик давления	ДД	Мониторинг давления жидкости(газообразной среды) с передачей сигнала о полученных измерениях
Датчик уровня	ДУ	Отслеживание количества жидкости по уровню его поверхности в ёмкости
Задающее устройство	ЗУ	Ввод в систему АСР задающего воздействия
Исполнительный механизм	ИМ	воздействие на объект управления
Регулирующий орган	РО	осуществление управления входами объекта управления
Программируемый логический контроллер	ПЛК	Автоматизация технологического процесса
Автоматизированное рабочее место	АРМ	Автоматизированное представление информации на ЭВМ в удобной для пользователя форме, формирование и ведение локальной информационной базы предметной области
Регулируемый технологический параметр	РТП	Поддержание данных параметров в оптимальных значениях

Получение данных о текущем значении регулируемых параметров поступает на программируемый логический контроллер (ПЛК) при помощи сигналов с датчика уровня, установленного на баке-аккумуляторе, и датчика давления в деаэраторе (давление ПВ). Процессор контроллера обрабатывает сигналы и вырабатывает управляющие воздействия. Управляющее воздействие осуществляет исполнительный механизм (ИМ) подавая сигнал на регулирующий орган (РО), также с ИМ идет сигнал на ПЛК, чтобы получить

информацию о положении РО. ПЛК непосредственно связан через подключение ethernet с АРМ оператора. В случае возникновения предупредительных, аварийных ситуаций или для изменения параметров оператор может воздействовать на систему.

Разработанная структурная схема автоматической системы регулирования уровня воды в баке-аккумуляторе деаэратора представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.006 С1.

3 Разработка функциональной схемы АСР

Данная функциональная схема предназначена для отображения принятых технических решений при проектировании систем автоматизации технологических процессов, которые контролируют и управляют основным и вспомогательным оборудованием вместе с запорными и регулируемыми органами.

Этот технический документ определяет функционально-блочную структуру системы контроля, управления и регулирования технологических процессов и оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации. Он также изображает системы контроля, регулирования, дистанционного управления, сигнализации, защиты и блокировок, все элементы которых связаны линиями функциональной связи.

Функциональная схема содержит упрощенное изображение технологической схемы автоматизируемого процесса и оборудование на ней изображается в виде условных изображений. Разработка этой схемы заключается в изучении технологической схемы, определении местоположения точек отбора информации, выборе структуры измерительных каналов, выборе технических средств получения, обработки, передачи и представления информации, контроле технологических параметров и состояния оборудования, а также в получении первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования. Оборудование на функциональной схеме показывается в виде контуров, упрощенных до такой степени, чтобы показать взаимосвязь отдельных частей технологической цепи, принцип действия и взаимодействие с датчиками и другими техническими средствами системы автоматизации.

Уровень воды в баке аккумулятора деаэратора регулируется подачей химически обессоленной воды РО с электроприводом, расположенной на трубопроводе ХОВ, а давление в деаэраторе регулируется подачей пара из

отбора турбины РО с электроприводом, расположенной на трубопроводе отбора пара из турбины.

Разработанная функциональная схема автоматической системы регулирования уровня воды в баке-аккумуляторе деаэратора представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.006 С2.

Изображение датчиков, исполнительных механизмов представляет собой окружность, от которой отходит линия связи с присвоенным ей номером. От них отводятся линии связи с номером измерительного или управляющего канала. Все эти линии затем ведутся в шкаф автоматизации, в котором находится программируемый логический контроллер. После прохождения сигналов через ПЛК происходит поступление их на АРМ оператора.

В верхней части чертежа в области технологического оборудования показано размещение исполнительных механизмов с регулирующими органами.

В нижней части чертежа условно прямоугольниками показаны приборы по месту, приборы, преобразующие сигнал с первичных преобразователей в токовый унифицированный, щит управления, и АРМ оператора.

На данном этапе были определены измерительные каналы (1–12, 14) каналы регулирования (13, 15). Измерительные каналы 1–4 служат для передачи сигнала о величине температуры от первичного преобразователя к нормирующему преобразователю с унифицированным токовым выходным сигналом 4...20 мА на ПЛК. Измерительные каналы 5–8 служат для передачи сигнала о величине давления от датчика давления с унифицированным токовым выходным сигналом 4...20 мА на ПЛК. Измерительные каналы 9 и 10 служат для передачи сигнала о величине расхода от датчика расхода с унифицированным токовым выходным сигналом 4...20 мА на ПЛК. Измерительный канал 11 служит для передачи сигнала о величине уровня от датчика уровня с унифицированным токовым выходным сигналом 4...20 мА на ПЛК. Каналы 13 и 15 используются для передачи управляющего сигнала на

электроприводы. Каналы 12 и 14 используются для определения положения РО.

4 Выбор приборов и средств автоматизации

4.1 Выбор датчиков расхода

Для выбора датчика расхода необходимо учитывать несколько факторов:

1. тип жидкости (газа) - не все датчики расхода подходят для всех жидкостей или газов. Например, для измерения расхода кислорода необходимо использовать специальный датчик.
2. рабочий диапазон - каждый датчик имеет свой диапазон измерений, поэтому при выборе необходимо учитывать требуемый диапазон расхода.
3. точность измерения - важный параметр при выборе датчика расхода, который зависит от точности самого датчика и от условий эксплуатации.
4. условия эксплуатации - температурный диапазон, давление, вязкость жидкости и другие факторы, которые могут повлиять на работу датчика.
5. технические характеристики - степень защиты от внешних воздействий, тип соединения, размеры и другие характеристики, которые необходимо учитывать при выборе датчика.

При выборе датчика расхода необходимо учитывать все перечисленные параметры и выбирать такой датчик, который наиболее соответствует требованиям конкретного процесса. Рассмотрим несколько вариантов расходомеров, а также основная информация о каждом из них приведена в таблице 5.

ООО "НПО РИЗУР" производит турбинный расходомер модели Rizur-DOT. Ротор турбинки выполнен из ферритной нержавеющей стали и установлен на двух подшипниках из карбида вольфрама. Ротор помещен в корпус из немагнитной нержавеющей стали, а его вращение вызывает

изменение магнитного потока, что приводит к образованию напряжения в катушке.

Индукционные расходомеры серии FLONET предназначены для измерения объемного расхода жидкостей в различных отраслях.

Модель Daniel 3804 — это ультразвуковой расходомер, использующий 4 луча и имеющий высокую точность измерений.

Электромагнитный расходомер–счетчик ЭМИС–МАГ 270 пригоден для измерения и учета агрессивных жидкостей и газов в различных отраслях [13].

Вихревой преобразователь расхода ЭМИС имеет высокую стабильность работы и не требует периодической калибровки [14].

Счетчики газа ультразвуковые КТМ700 от « НПП КуйбышевТелеком-Метрология» обеспечивают высокую точность и надежность измерений расхода газа.

Для предотвращения потерь энергии, которые могут быть вызваны падением давления в паропроводе, целесообразно выбрать OPTISONIC 8300, который обеспечивая точное измерение без перепада давления, может являться оптимальным решением. Поскольку OPTISONIC 8300 обеспечивает большой диапазон измерений и не требует повторной калибровки, установка может быть упрощена и стоимость снижена, так как для демонтажа не требуются запорные клапаны и байпас. А благодаря большому диапазону измерений не требуется настройка измерения в двух диапазонах. Можно легко проводить периодическую проверку правильности функционирования устройства, используя диагностику по мере необходимости.

Таблица 5 - Технические характеристики расходомеров

	РИЗУР- ДОТ	Daniel 3804	ЭМИС- МАГ 270	ЭМИС- ВИХРЬ 2000	КТМ 700	OPTISON IC 8300
1	2	3	4	5	6	7

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7
Питание, В постоянного тока	8...24	10,4...36	24	24	10,8...28,8	24
Измеряемая среда	жидкость	жидкость	электропр оводная жидкость	жидкость/ газ/ пар	газ	пар/ газ
Диапазон измерений, м ³ /ч	0,11...135	18...360	до 280	до 300	16...3000	До 800
Погрешность, %	±0,5	±0,2	±0,5	± 0,7	±0,5	±0,2
Типоразмеры, мм	127...368	100...600	15...450	15...300	80...1400	150...600
Давление измеряемой среды, МПа	до 25	до 15,5	до 42	до 30	до 45	до 10
Температура измеряемой среды, °С	-40...240	-50...150	-40...130	-60 ...450	-194...280	-25...540
Температура окружающей среды, °С	-20...80	-40...65	-40...50	-40...70	-40...70	-40...70
Выходные сигналы, мА	4...20	4...20	4...20	4...20	4...20	4...20
Взрывозащит а	-	+	+	+	+	+
Пылевлагоза щита	IP67	IP66	IP67	IP68	IP67	IP67

Проведя анализ технических характеристик преобразователей расхода, делаем вывод о том, что нашим условия удовлетворяют два расходомера. Первый из них расходомер фирмы ЭМИС, ЭМИС–МАГ 270, установится на

трубопровод ХОВ, второй – это расходомер из той же фирмы, только рассчитанный на более высокотемпературный режим, ЭМИС ВИХРЬ 2000.

4.2 Выбор датчиков давлений

При выборе датчика давления необходимо учитывать следующие факторы:

1. тип давления: датчики давления могут измерять такие типы давления, как абсолютное, гидравлическое, дифференциальное, вакуумное. Необходимо выбрать датчик, который соответствует типу давления, который требуется измерять.
2. диапазон измерения: датчики давления имеют различные диапазоны измерения, от нескольких кПа до нескольких тысяч бар. Необходимо выбрать датчик с диапазоном измерения, который соответствует условиям работы.
3. точность измерения: точность измерения давления зависит от типа и модели датчика. Необходимо выбрать датчик с достаточной точностью для конкретной задачи.
4. размер и форма: размер и форма датчика должны соответствовать условиям установки. Необходимо убедиться, что датчик подходит для конкретного места установки.
5. среда: датчики давления могут работать в различных средах, таких как воздух, жидкости или газы. Необходимо выбрать датчик, который подходит для конкретной среды работы.
6. степень защиты: датчик должен иметь достаточную степень защиты от внешних воздействий, таких как вода, пыль или механические повреждения.

Таким образом, при выборе датчика давления необходимо учитывать тип давления, диапазон измерения, точность измерения, размер и форму, среду работы и степень защиты. Рассмотрим несколько вариантов датчиков

давления, из которых выберем датчики, удовлетворяющие нашим условиям. Основная информация о каждом из них проведена в таблице 6.

Датчик давления APZ 3240k. Используемые в конструкции материалы и открытая мембрана сенсора позволяют работать с химически агрессивными и вязкими средами. Чувствительный элемент выполнен на основе емкостного сенсора с керамической мембраной, что дает устойчивость к перегрузкам и долговременную стабильность характеристик; обеспечивает высокую точность за счет активной компенсации дополнительной температурной погрешности.

Датчик давления DMP 331P предназначен для мониторинга технологических процессов, используя торцевую мембрану для измерения давления в вязких субстанциях. Кроме того, специальный дизайн этого датчика позволяет использовать его для измерения давления в средах с высокой температурой до 400°C [15].

Преобразователи давления M5 являются модификацией датчиков серии 23 с выносным сенсором. Преобразователи давления M5 с динамическим диапазоном от 0 до 50 кГц и резьбой M5 для присоединения к процессу оптимизированы как для динамических (например, быстрые пульсации), так и статических измерений давления. Конструкция датчика делает его отлично совместимым со средой и позволяет осуществлять измерения при температуре до 200°C без охлаждающего адаптера.

Датчик давления с дисплеем и установкой заподлицо IFM. Ключевые особенности: прочный корпус из нержавеющей стали в гигиеническом исполнении с установкой заподлицо; двухпроводная и трехпроводная технология подключения; упрощенная схема подключения, благодаря двухпроводной токовой петле; встроенное уплотнение диафрагмы с мембраной из нержавеющей стали [16].

Датчики давления МИДА-13П используются для преобразования значения избыточного, абсолютного давления и разрежения, а также избыточного давления(разрежения) для жидкостей и газов, которые не

являются агрессивными к материалам деталей контакта, в унифицированный сигнал постоянного тока или напряжения постоянного тока в системах контроля и управления давлением [17].

Серия MN датчиков Gefran - преобразователи давления для использования в высокотемпературных приложениях. Основная характеристика - возможность считывания температуры среды вплоть до 400°C. Принцип работы основан на гидравлической передаче давления. Наполненная жидкостью система обеспечивает температурную стабильность. Физическое измерение преобразуется в электрический сигнал посредством тензометрической технологии

Таблица 6 - Технические характеристики датчиков давления

	APZ 3240k	МИДА ДИ- 13П-Ех	M5 НВ	PI2307	DMP 331P	GIFRA N MN
1	2	3	4	5	6	7
Питание, В постоянног о тока	12...36	12...36	24	18...32	12...36	6...12
Измеряема я среда	Жидкость	Жидкос ти и газы	жидкость	Жидкос ть и газы,	Жидкости, газы	Жидкос ти
Диапазон измерений, бар	0...10	0...10	0...10	-0,5...10	0...16	0...35
Погрешнос ть, %	±0,25	±0,15	±1	±0,3	±0,25	±0,5
Сенсор	Керамическ ий емкостной	-	кремниев ый	-	Кремниевый тензорезистивн ый	-

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
присоединение	G1 ½"	G2	M5x0,5	M12	G1 ½"	G1 ½"
Температура измеряемой среды, °С	-40...125	-40...80	-40...180	-25...200	-25...400	0...400
Температура окружающей среды, °С	-50...85	-40...80	-40 ...50	-25...65	-25...85	0...85
Выходные сигналы	4...20 мА	4...20 мА	0...10 В	4...20 мА	4...20 мА	0...10 В
Взрывозащита	-	+	-	-	+	+
Пылевлагозащита	IP67	IP65	IP67	IP68	IP65	IP65

Проведя анализ технических характеристик преобразователей и датчиков давления, делаем вывод о том, что нашим условия удовлетворяют 3 датчика давления. Первый из них датчик давления фирмы МИДА (установится на трубопровод ХОВ,) второй – это датчик давления фирмы IFM PI2307 (установится на трубопровод ПВ и трубопровод ОК), третий – это датчик давления фирмы DMP (установится на трубопровод, по которому проходит пар высокой температуры). Данный датчик справится наиболее лучше с поставленной задачей, чем его аналог GEFRAN MN.

4.3 Выбор датчиков температуры

При выборе первичных преобразователей температуры следует учитывать несколько факторов:

1. диапазон измерения. Прежде всего, нужно выбирать преобразователь, который способен измерять температуру в нужном

диапазоне. Например, если необходимо измерять высокие температуры, то следует выбрать преобразователь, который может работать в диапазоне от нескольких сотен до нескольких тысяч градусов.

2. точность измерения. Вторым важным фактором - точность измерения. Чем точнее преобразователь, тем точнее будет измерение температуры. Кроме того, в зависимости от требований к точности измерения, можно выбрать преобразователь с различной степенью точности.
3. среда измерения. Третий фактор - среда, в которой будет производиться измерение. Некоторые преобразователи могут работать только в определенных условиях (например, при высоком давлении или в кислой среде), поэтому следует учитывать условия, в которых будет использоваться преобразователь.
4. скорость измерения. Некоторые преобразователи могут выполнять измерение температуры быстрее, чем другие. Если требуется получать быстрое измерение температуры, следует выбирать преобразователь с высокой скоростью измерения.

Таким образом, при выборе первичных преобразователей температуры следует учитывать диапазон измерения, точность измерения, среду измерения, скорость измерения. В таблице 7 представлены первичные преобразователи температуры, удовлетворяющие нашим условиям.

Таблица 7 - Технические характеристики первичных преобразователей температуры

	TSM 0101	TSM 100M	ТТКЕ-243
НСХ	100М	100М	К
Материал изоляции термоэлектрода	нержавеющая сталь 12Х18Н10Т	нержавеющая сталь 12Х18Н10Т	кислотоустойчивая сталь 1.4301
Диапазон измерений, °С	0...50	-50...180	-40...400
Время термической реакции, с	20	20	30

Продолжение таблицы 7

Класс допуска	В	А, В, С	А, В, С
Схема соединений	4-х проводная	3-х проводная	2-х проводная
Диапазон условных давлений, МПа	0,8	4	4
Пылевлагозащита	IP55	IP54	IP54

Первичный преобразователь температуры ТСМ 0101 с НСХ 100М [18] будет установлен на трубопровод ХОВ, так как температуры воды в этом месте не высокая и не будет превышать 50 °С; первичные преобразователи температуры ТСМ с НСХ 100М [19] будут установлены на трубопровод ОК и трубопровод ПВ. Первичный преобразователь температуры ТТКЕ-243 с НСХ К [20] планируется установить на трубопровод отбора пара из турбины. Данный тип НСХ был выбран так, чтобы измеряемая температуры попадала в последнюю треть всего диапазона измерения, и тогда данный преобразователь будет эффективнее и с меньшей погрешностью.

Также для всех выбранных первичных преобразователей необходимо выбрать нормирующий преобразователь, который будет преобразовывать полученный сигнал с первичного преобразователя в унифицированный токовый 4...20 мА. Для данной цели наиболее подходящим является преобразователь ОВЕН НПТ, который является серией универсальных преобразователей, позволяющих преобразовать сигналы термопреобразователей сопротивлений и термопар в унифицированные сигналы тока и напряжения (например, 4...20 мА, 0...20 мА, 0...5 мА, 0...10 В, 0...5 В, 2...10 В) [21].

Преобразователи ОВЕН НПТ доступны в различных конструктивных исполнениях и могут быть установлены на DIN-рейку или в головки датчиков европейского и российского типа, в общепромышленном и искрозащищенном исполнении. Использование нормированных сигналов позволяет снизить влияние электромагнитных помех на измерение температуры, упрощает подключение термодатчиков и позволяет сэкономить на материалах, таких как

специализированные термокомпенсационные кабели. Также, использование нормированных сигналов позволяет увеличить длину линии связи между датчиком и измерительным прибором в несколько раз.

Таблица 8 – Характеристика нормирующего преобразователя НПТ -1К

	НПТ -1К	
Номинальное значение напряжения питания постоянного тока, В	24	
Совместимость	ТС	ТП
Основная приведенная погрешность преобразования, %	±0,25	±0,5
Схема подключения	2-3-4 проводная	
Выходной сигнал, мА	4...20	
Степень защиты	IP20	
Диапазон рабочих температур, °С	-40...70	

4.4 Выбор датчиков уровня

При выборе датчика уровня необходимо учитывать несколько факторов:

1. тип измеряемой среды. Например, для жидкостей подойдут другие датчики, чем для сыпучих материалов.
2. точность измерения. Если необходимо получить достаточно точное измерение, то нужно выбрать датчик с высокой точностью и низким уровнем ошибки.
3. диапазон измерения. Нужно выбрать датчик, который способен измерять уровень в нужном диапазоне.
4. окружающая среда. В зависимости от окружающей среды (температуры, влажности и т.д.), нужно выбрать датчик, который устойчив к таким условиям.

5. требования к монтажу. Нужно выбрать датчик, который может быть установлен в нужных условиях и на нужном расстоянии от измеряемого объекта.

Следуя этим принципам, можно выбрать подходящий датчик уровня для конкретной задачи. Рассмотрим несколько вариантов уровнемеров (основная информация о каждом из них приведена в таблице 9).

Liquiphant S FTL71 – вибрационный точечный датчик предельного уровня для всех видов жидкостей. Работоспособность устройства не зависит от потока, турбулентности, пузырей, пены, вибраций, содержания твердых частиц или отложений. По этой причине датчик Liquiphant является идеальным заменителем поплавковых датчиков FTL71: исполнение с удлинительной трубкой длиной до 3 м (6 м по запросу).

Волноводный рефлекс-радарный уровнемер РИЗУР-1300 обладает широким спектром применения в различных отраслях промышленности, включая химическую, металлургическую, нефтяную, газовую, электроэнергетическую, угольную и торфяную. Он основан на технологии импульсной рефлектометрии, где электрические импульсы генерируются и передаются вдоль чувствительного элемента, отражаясь от границы раздела сред и обрабатывается для расчета расстояния до среды измерения.

Радарные уровнемеры с направленной волной GRLM – это компактные измерительные устройства, состоящие из двух основных частей – уровнемера (корпуса) и дисплея. Электроника уровнемера возбуждает очень короткий электрический импульс (около 0,5 нс), который связан с однопроводниковой проводкой (измерительным электродом). Измерительный электрод может иметь вид стержня или каната. Посредством электрода импульс распространяется в виде электромагнитной волны по направлению к поверхности, от которой он частично отражается, а отраженная составляющая возвращается обратно к принимающему модулю электроники уровнемера. Электроника измеряет время полета электромагнитной волны и рассчитывает текущее расстояние до уровня поверхности [22].

Таблица 9 - Технические характеристики уровнемеров

	РИЗУР-1300	Liquiphant S FTL71	GRLM-70NT
1	2	3	4
Питание, В постоянного тока	24±4	10...55	18...36
Измеряемая среда	Жидкость	Жидкость	Жидкости
Диапазон измерений, м	500...6000	до 3000 (до 6000, при доп. опции)	до 3600
Погрешность, %	±0,5	±0,5	±0,5
Принцип действия	микроволновый	вибрационный	микроволновый
Метод взаимодействия со средой	контактный	контактный	контактный
Присоединение	M27x1.5	R1''	R1''
Температура измеряемой среды, °C	-40...250	-60...280	-40...200
Температура окружающей среды, °C	-40...60	-50...70	-30...70
Выходные сигналы	4...20 мА	11...36 В	4...20 мА
Материал корпуса	алюминиевый сплав	нержавеющая сталь	нержавеющая сталь
Пылевлагозащита	IP68	IP62	IP52

Проведя анализ технических характеристик датчиков уровней, делаем вывод о том, что нашим условия удовлетворяет уровнемер фирмы Dinel GRLM-70NT-30-G1-I-B1-D-E3600, так как при одинаковой погрешности он имеет диапазон измерения уровня, близкий к высоте бака-аккумулятора. Кроме того, целесообразно выбрать датчик именно с токовым выходным

сигналом, а не через релейные модули. Учитывая то, что микроволновый принцип действия надёжнее, чем вибрационный.

4.5 Выбор контроллера

При выборе ПЛК (программируемого логического контроллера) необходимо учитывать следующие факторы:

1. цели и задачи автоматизации процесса. Необходимо определить, какой объем информации нужно обрабатывать, какие функции необходимы для контроля операций и какая производительность требуется для решения этих задач.
2. размер и сложность системы. Небольшие системы могут обойтись компактным ПЛК с базовыми функциями, в то время как более крупные и сложные системы могут потребовать использования более мощных и расширяемых ПЛК.
3. интерфейсы и связи. ПЛК должен быть совместим с другими системами, такими как датчики, приводы, инверторы и т.д. Следует убедиться, что выбранный ПЛК поддерживает необходимые коммуникационные протоколы и интерфейсы.
4. надежность и безопасность. ПЛК необходимо обеспечивать высокую защиту от внешних воздействий и повреждений. Необходимо убедиться, что выбранный ПЛК соответствует соответствующим стандартам безопасности и имеет защиту от перегрева, перегрузки и короткого замыкания.
5. сопровождение и техническая поддержка. Важно выбирать ПЛК от производителей, которые могут обеспечивать поддержку и ремонт оборудования, а также обеспечивать постоянное обновление программного обеспечения для ПЛК.

Рассмотрим 2 ПЛК от разных производителей, таких как «ОВЕН» и «ЭлеСи». Проведем анализ характеристик ПЛК данных производителей.

В описании контроллера ОВЕН ПЛК100-ТЛ приведены его особенности, такие как возможность программирования из SCADA-системы ОВЕН Телемеханика ЛАЙТ, использование готовой библиотеки устройств ОВЕН, наличие поддерживаемых протоколов опроса специализированных устройств и настраиваемые объемы данных телеметрии. Контроллер также обладает преимуществами, такими как возможность реализации локальных алгоритмов в контроллере и доступ по уровням (чтение данных, конфигурирование, администрирование). Он может совместно использоваться с модемом ОВЕН ПМ01 по GPRS.

Контроллер ЭЛСИ-ТМК, в свою очередь, является модульной и эффективной платформой для автоматизации промышленного производства. Он обладает различными возможностями коммуникации и поддерживает стандартные промышленные протоколы и интерфейсы для легкой интеграции в системы диспетчерского управления и сбора данных [23].

Таблица 10 – Технические характеристики контроллеров

	Элси ТМК	ПЛК100-ТЛ
1	2	3
Напряжение питания	24 ± 4 В постоянного тока	90-264В переменного тока
Конструкция	Модульный	Моноблочный
Потребляемая мощность	70Вт с учётом 6 модулей	10Вт без учёта дополнительных модулей
Объем оперативной памяти	От 256 до 512 Мб	8 Мбайт
Объем энергонезависимой памяти	От 128 Кб до 2 Мб	2 Мбайт
Время выполнения цикла ПЛК	От 25 до 100 нс	Минимальное 250 мкс (нефиксированное), типовое от 1 мс
Степень защиты	Ip20	Ip20

Продолжение таблицы 10

1	2	3
Аналоговых входов/выходов	В зависимости от количества модулей, минимум 8шт./ 8 шт.	В зависимости от количества модулей, минимум 8шт./ 8 шт.
Средний срок службы	15 лет	15 лет
Среда программирования	Codesys	Enlogic
Дискретных входов/выходов	Возможность установки нескольких модулей, минимум 8шт./ 8 шт.	Возможность установки нескольких модулей, минимум 8шт./ 6 шт.
Интерфейс связи	RS-232; RS-485; ethernet	Ethernet 100 Base-T; RS-232; RS-485; USB 2.0-Device
Скорость обмена по интерфейсам RS	200 кбит/с	от 4800 до 115200 bps
Протоколы	МЭК 60870-5-104-2004; Modbus TCP; NTP; Modbus RTU Master	Modbus-TCP, МЭК 61870-5-101/103/104; Modbus-RTU; DCON; DNP3

Выбираем ЭЛСИ ТМК, так как он имеет лучшие характеристики, а также удобную модульную конструкцию; все модули устанавливаются на отдельную коммутационную панель, где можно добавить количество аналоговых (дискретных) входов (выходов) в зависимости от проектируемой АСР, а также, что не мало важно, данный контроллер имеет большую оперативную память и быструю скорость обработки информации.

4.6 Выбор РО с электроприводом

В таблице 11 и в таблице 12 представлены технические характеристики выбранного РО с электроприводом.

Таблица 11 – Технические характеристики РО 25с947нж [24]

Наименование	Клапан регулирующий односедельный фланцевый 25с947нж
Пропускная характеристика	Линейная, равнопроцентная
Условный диаметр, мм	15...300
Тип присоединения	фланцевый
Рабочая температура, °С	-40...42
Климатическое исполнение	У1
Материал корпуса	углеродистая сталь

Для регулирования РО можно использовать электропривод. Электроприводы предназначены для дистанционного и местного управления запорной арматурой. Электропривод ГЗ А-70 применяются для управления запорной промышленной трубопроводной арматуры, устанавливаемой в помещениях, под навесом и на открытом воздухе [25].

Принцип действие прибора заключается в том, что, при подаче управляющего сигнала происходит вращение вала к положениям открыто или закрыто в зависимости от величины управляющего сигнала.

Таблица 12 – Параметры электродвигателя

Обозначение и наименование	Тип присоединения к арматуре по ОСТ 26-07-763-73	Номинальный крутящий момент, Нм	Частота вращения вала, об/мин	Вес, кг
ГЗ А-70	А	70	24	32

Выбранные технические средства, необходимые для реализации проектируемой автоматической системы регулирования уровня воды в баке-аккумуляторе деаэрата, приведены в заказной спецификации, представленной на ФЮРА.421000.015. С01 в количестве 2 листов.

5 Составление перечней входных и выходных сигналов

Перечень входных и выходных сигналов является неотъемлемым и фундаментальным документом при описании системы АСУ ТП. Без данного документа невозможно подойти к оценке объема системы, состава объектов управления, подойти к созданию конструкторской документации. Таблица ввода-вывода содержит большое количество информации о составе входящих в объект сигналов, таких, как диапазон измерений, пороговые границы, типы приборов, типы защит и прочее. В таблице 13 приведена перечень входных и выходных сигналов.

Таблица 13 – Перечень входных и выходных сигналов

Тип сигнала	Наименование сигнала
1	2
Входной сигнал	
Аналоговый	Измерение температуры ОК
	Измерение температуры ХОВ
	Измерение температуры пара из отбора
	Измерение температуры ПВ
	Измерение давления ОК
	Измерение давления ХОВ
	Измерение давления пара из отбора
	Измерение давления ПВ
	Измерение расхода ХОВ
	Измерение расхода пара из отбора
	Измерение уровня воды в баке аккумулятора деаэрата

Продолжение таблицы 13

1	2
Входной сигнал	
Дискретный	РО ХОВ перегрузка
	РО ХОВ закрыто
	РО ХОВ открыто
	РО пара из отбора перегрузка
	РО пара из отбора закрыто
	РО пара из отбора открыто
Выходной сигнал	
Дискретный	РО открыть (подача пара из отбора)
	РО закрыть (подача пара из отбора)
	РО СТОП (подача пара из отбора)
	РО открыть (подача ХОВ)
	РО закрыть (подача ХОВ)
	РО СТОП (подача ХОВ)

6 Разработка принципиальной электрической схемы щита управления

Для определения потребляемой мощности рассчитаем общую мощность установки. Мощность рассчитывается как сумма нагрузки датчиков, модулей контроллера, вентилятора и лампы.

$$N_{\text{сумм}} = \sum N_{\text{дат}} + \sum N_{\text{модули}} + N_{\text{вент}} + N_L; \quad (1)$$

$$N_{\text{сумм}} = (0,84 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 20 \cdot 2 + 0,7) + 48 + 5,5 + 10 = 108 \text{ Вт.}$$

После расчета нагрузки электрической установки необходимо выбрать источник питания. Поскольку нагрузка получилась 108 Вт, выберем блок питания мощностью 200 Вт, с запасом. Характеристики выбранного блока приведены в таблице 14.

Таблица 14 - Характеристики блока питания [26]

Характеристики	Блок питания – EF A 1AC/24DC – 8, 200 Вт.
Мощность, Вт.	200
Защита от короткого замыкания и перегрузки	Да
Рабочая температура, °С	-25...60

Выберем аккумулятор. Данное устройство, в случае неисправности источника питания, обеспечивает жизнеспособность электрической установки. В таблице 15 приведены характеристики аккумуляторной батареи.

Таблица 15 – Характеристики АБ [27]

Характеристики	АБ-24МП-12
Номинальное напряжение, В	24
Степень защиты	IP20
Номинальная ёмкость, А·ч	12

Для обеспечения безопасной работы электроустановки выберем автоматический выключатель. Выбираем данное устройство с номинальным током 16 А, поскольку этого будет достаточно для работы электроустановки. Характеристики автоматического выключателя приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Характеристики автоматического выключателя [28]

Характеристики	16052DEK
Способ монтажа	DIN-рейка
Степень защиты	IP20
Номинальный ток, А	16

Каждая электрическая установка должно оснащаться защитой от перенапряжения. Для ограничения переходных перенапряжений и отвода импульсов тока на землю, снижения амплитуды перенапряжения до уровня, безопасного для электрических установок и оборудования, выберем PNOENIX CONTACT PLT-SEC-T3-230-FM-UT. Характеристики данного оборудования приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Характеристики защиты от перенапряжения [29]

Характеристики	PNOENIX CONTACT PLT-SEC-T3-230-FM-UT
Способ монтажа	Монтажная рейка 35 мм.
Степень загрязнения	2
Сообщение, неисправность устройства для защиты от импульсных перенапряжений	Световая, контакт для дистанционной передачи сигнала

Для управления электрической цепью нужно выбрать концевой выключатель, который позволяет активировать автоматический выключатель щита. Концевые выключатели обычно имеют две пары контактов: нормально открытых и нормально закрытых. Закрытая пара контактов используется для контроля соединения между выключателем и цепью: если сигнал не

возвращается, это может указывать на повреждение кабеля до выключателя. Открытая пара контактов может использоваться для передачи сигналов после активации выключателя. Характеристики выбранного устройства приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Характеристики концевого выключателя [30]

Характеристики	Rittal SZ800мм
Степень защиты	IP40
Длина кабеля, мм.	800

Для подключения устройств к электрической сети выберем розетку DEKraft RM-102. Характеристики данной розетки приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Характеристики розетки [31]

Характеристики	DEKraft RM-102
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+50
Номинальный ток, А	16

Для обеспечения щита автоматизации источником света, выберем лампу Schneider Electric NSYLAMLД. Характеристики выбранного источника питания приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Характеристики лампы [32]

Характеристики	Schneider Electric NSYLAMLД
Номинальная мощность, Вт.	10
Световой поток, лм.	640
Срок службы, час.	25000

От перегрева щита автоматизации необходимо установить вентилятор, принцип работы которого основывается на положении реле. Таким образом,

при повышении температуры в щите автоматизации выше уставки, 30°C, срабатывает термореле, пуская питание на вентилятор для его вращения. После получения необходимого значения термореле размыкается, тем самым, останавливая вентилятор. Выберем Rittal 3238.124, 20 м³/ч, характеристики которого приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Характеристики вентилятора [33]

Характеристики	Rittal 3238.124
Степень защиты	IP54
Расход воздуха, м ³ /ч	20
Номинальная мощность, Вт.	5,5

Для работы вентилятора выберем термореле 1NO МТК-СТО, характеристики которого приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Характеристики термостата [34]

Характеристики	1NO МТК-СТО
Пусковой ток, А.	16
Способ монтажа	DIN-рейка 35 мм.
Количество срабатываний реле	менее 100 000
Диапазон задания уставки, °С	0...60

Жизнеобеспечение контроллера осуществляется, за счет модуля питания, обозначенного как А1. Поскольку «ЭлеСи» является один из передовых производителей устройств ПЛК и является отечественным производителем, то выбираем модули контроллера «ЭлеСи». Первым делом при выборе модуля питания делается акцент на его номинальное напряжение на входе. В этом случае осуществим выбор на 24 В. Характеристики модуля TP 712 024 DC приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Характеристики модуля питания TP 712 024 DC [35]

Характеристики	TP 712 024 DC
Номинальное напряжение на входе, В.	24
Срок службы, лет	20
Диапазон рабочих температур, °С	-5...+60

Для осуществления связи с оператором необходимо выбрать процессорный модуль, содержащий в себе кабель Ethernet. Ориентируясь на продукцию компании «ЭлеСи», выбираем ТС 712А8 – 1005 ЕТН. Характеристики выбранного модуля приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Характеристики процессорного модуля ТС 712А8 – 100 5 ЕТН [36]

Характеристики	ТС 712А8 – 100 5ЕТН
Встроенные коммуникации (интерфейс)	Ethernet – 5шт. RS – 232 – 1 шт. USB 2.0 – 1 шт.
Максимальная потребляемая мощность, Вт.	7
Диапазон рабочих температур, °С	-5...+60

При подключении датчиков с унифицированным сигналом необходимо выбрать модуль аналогового входа. С помощью этого модуля контроллер будет осуществлять принятие сигналов для осуществления каких – либо управляющих решений. Ориентируясь на продукцию компании «ЭлеСи», выбираем ТА 716 16I DC. Характеристики данного модуля приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Характеристики модуля аналогового входа ТА 716 16I DC [37]

Характеристики	ТА 716 16I DC
1	2
Количество входов, шт.	16

Продолжение таблицы 25

1	2
Максимальная потребляемая мощность, Вт.	7
Диапазон рабочих температур, °С	0...60
Диапазон измерения постоянного тока, мА.	0/4...20

Для осуществления передачи сигнала и обеспечения гальванической развязки необходимо выбрать преобразователь. Данное устройство приводит сигнал до нормированного уровня. Ориентируясь на продукцию компании «ЭлеСи», выбираем ET422. Характеристики выбранного преобразователя приведены в таблице 26.

Таблица 26 – Характеристики преобразователя ET422 [38]

Характеристики	ET422
Количество каналов, шт.	2
Вход/выход тока, мА.	Любой токовый сигнал/4...20
Потребляемая мощность, Вт.	5,5
Диапазон рабочих температур, °С	-20...+60

Все используемые модули подсоединяются к панели ТК 711 6 для механического объединения модулей контроллера ЭЛСИ – ТМК; организации электрических соединений между модулями и для монтажа контроллера на месте установки. Характеристики выбранной коммутационной панели приведены в таблице 27.

Таблица 27 – Характеристики коммутационной панели ТК 711 6 [39]

Характеристики	ТК 711 6
1	2
Количество подключаемых модулей, шт.	Модуль питания – 1 Процессорный модуль – 1 Интерфейсный модуль – 6

Продолжение таблицы 27

1	2
Срок службы, лет	20
Диапазон рабочих температур, °С	-5...+60

Для управления исполнительным механизмом необходимо выбрать модуль дискретного ввода. С помощью этого модуля контроллер будет осуществлять принятие сигналов для получения информации об управлении РО. Выбираем модуль ТК 721 32I 024DC. Характеристики данного модуля приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Характеристики модуля дискретного входа ТК 721 32I 024DC [40]

Характеристики	ТК 721 32I 024DC
Количество входов, шт.	32
Максимальная потребляемая мощность, Вт.	3
Диапазон рабочих температур, °С	-5...+60
Индикация режимов работы	Сброс модуля Инициализация Рабочий режим Авария модуля

Для получения информации контроллером о закрытии РО необходимо выбрать модуль дискретного выхода. С помощью этого модуля контроллер будет осуществлять принятие сигналов с электропривода и передавать управляющий сигнал на контроллер [4]. Выбираем модуль TD 712 32O 24 DC. Характеристики данного модуля приведены в таблице 29.

Таблица 29 – Характеристики модуля дискретный вывода TD 712 32O 24 DC [41]

Характеристики	TD 712 32O 24 DC
1	2
Количество выходов, шт.	32

Продолжение таблицы 29

1	2
Максимальная потребляемая мощность, Вт.	6
Диапазон рабочих температур, °С	-5...+60
Индикация режимов работы	Сброс и инициализация модуля; рабочий режим; изменение состояния выхода; авария модуля
Защита от перенапряжения, от обратной полярности, от короткого замыкания	+

Для осуществления передачи дискретных сигналов необходимо приобрести релейный модуль. Выберем PLC-RPT- 24DC/21, состоящий из базового клеммного модуля PLC-BPT.../21 с соединителем Push-in с вставным мини-реле с силовым контактом, устанавливаемый на монтажную шину NS 35/7,5 и имеющий один переключающий контакт, входное напряжение 24 В. Подобно описанному подключается реле контроля трёхфазного подключения ЕЛ-12Е с входным напряжением 380 В. Технические характеристики приведены в таблице 30 и таблице 31.

Таблица 30 – Характеристики релейного модуля PLC-RPT- 24DC/21 [42]

Характеристики	PLC-RPT- 24DC/21
Применение	Универсальный
Долговечность механическая, коммутационных циклов	$2 \cdot 10^7$
Степень загрязнения	3
Макс. мощность потерь при номинальных условиях, Вт	0,22

Таблица 31– Характеристики реле контроля трёхфазного напряжения ЕЛ-12Е [43]

Характеристики	ЕЛ-12Е
1	2

Продолжение таблицы 31

1	2
Долговечность механическая, коммутационных циклов	$5 \cdot 10^5$
защита	IP40
Макс. мощность потерь при номинальных условиях, Вт	9

Электрическая схема соединения приведена на чертежах с шифром ФЮРА.421000.006 Э4 в количестве 4 листов.

7 Составление перечня элементов щита управления

Для короткой и точной записи информации об элементах и устройствах используются условные буквенные обозначения, определенные согласно стандарту ЕСКД ГОСТ 2.710–81. Заглавные буквы и латинские цифры присваиваются элементам схемы в соответствии с их функцией [7]. На основе выбранных обозначений составлен список элементов.

Перечень элементов помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа. Перечень элементов оформляют в виде таблицы по ГОСТ 2.701. Если перечень элементов помещают на первом листе схемы, то его располагают, как правило, над основной надписью. Для электронных документов перечень элементов оформляют отдельным документом.

Элементы в перечень записывают группами в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений. В пределах каждой группы, имеющей одинаковые буквенные позиционные обозначения, элементы располагают по возрастанию порядковых номеров. Для облегчения внесения изменений допускается оставлять несколько незаполненных строк между отдельными группами элементов, а при большом количестве элементов внутри групп — и между элементами [8].

Перечень элементов приведен на чертежах с шифром ФЮРА.421000.006 ПЭ4 в количестве 3 листов.

8 Разработка схемы соединений внешних проводок АСР

Схема соединений внешних проводок — это комбинированная схема, которая отражает электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, установленными на технологическом оборудовании, вне щитов и на щитах, а также показывает подключения проводов к приборам и щитам [9]. Эта схема является отдельным документом, который создается только в случае наличия сложных щитов, соединительных коробок, стоек приборов, которые затрудняют понимание схемы соединений [8]. В схеме должны быть изображены изделия, входы и выходы, а также подключенные провода и кабели [9]. Выбор проводов и кабелей производится в соответствии с Руководством РМ4-6–84 «Проектирование электрических и трубных проводок систем автоматизации. Часть I. Электрические проводки».

Кабели выбираются по количеству жил и размеру сечения. В схеме соединений внешних проводок использовались два вида кабеля.

Кабель КВВГ — это контрольный кабель с медной жилой, изоляцией ПВХ и оболочкой из ПВХ, предназначенный для соединения электроприборов и аппаратов. Он может работать на переменном напряжении до 660 В, на постоянном - до 1000 В и частотой в 50 Гц. Этот кабель идеально подходит для использования в кабельных туннелях, каналах и внутри помещений, но уязвим к механическим повреждениям. Он также обеспечивает высокий уровень пожарной безопасности.

Кабель ВВГнг — это силовой кабель с медными жилами, рассчитанный на рабочее напряжение 0,66 и 1кВ. В кругах электромонтажников расшифровывается как: «Винил-Винил-Голый-Негорючий», то есть, медный кабель, обладающий виниловой оболочкой и изоляцией, не распространяющей горения при совместной прокладке с другими кабелями.

Кабель КВВГЭ — это кабель с медной токопроводящей жилой, изоляцией из поливинилхлоридного пластиката (ПВХ), экраном из медных проволок и оболочкой из ПВХ пластиката. Он используется для

присоединения к электрическим приборам и аппаратам с переменным напряжением до 660 В и частотой до 100 Гц или постоянным напряжением до 1 кВ. Этот кабель можно прокладывать как поодиночке, так и группами только в наружных установках и производственных помещениях с периодическим присутствием обслуживающего персонала, используя пассивную огнезащиту.

Провод ПУВ ПВ 1 — это силовой провод с медной токопроводящей жилой, несколькими классами гибкости, не поддерживает горение и устойчив к воздействию плесневых грибов. Он используется для передачи и распределения электроэнергии в стационарных условиях на осветительных и силовых сетях, а также для монтажа электрооборудования, машин и станков с напряжением до 450 Вольт.

Для щита силового управления выберем кабеля ВВГнг-FRLS. Это силовой огнестойкий кабель. Используется для передачи и распределения электрического тока от источника к стационарным промышленным установкам. В случае возгорания не выделяет дыма и газа. Помогает повысить уровень безопасности и минимизировать потери после аварии.

На монтажной схеме для каждого кабеля и провода прописано число жил, сечение кабеля и длина. Также около некоторых кабелей указано число задействованных жил.

Таблица 32 – Кабели, использованные в схеме

Номер измерительного канала	Наименование кабеля (провода)
3–8, 12, 16	КВВГ
9–11, 13–15, 17	ВВГнг
18, 19	КВВГЭ
1, 2	ВВГнг-FRLS

Клеммные коробки предназначены для соединения и разветвления кабелей. Они выбираются по числу клемм.

Для двух нормирующих преобразователей температуры выберем отдельную соединительную клеммную коробку КС-10(1) УХЛ-1,5 с 10

клеммами с сечением жил до 4 мм², IP66. Ещё для двух нормирующих преобразователей температуры выберем отдельную соединительную клеммную коробку КС-10(2) УХЛ-1,5 с 10 клеммами с сечением жил до 4 мм², IP66. Для трёх датчиков давления выберем отдельную соединительную клеммную коробку КС-10(3) УХЛ-1,5 с 10 клеммами с сечением жил до 2 мм², IP66. Для кабеля измерения выходного сигнала у датчика давления DMP331P и двух датчиков расхода выбираем отдельную соединительную клеммную коробку КС-10(4) УХЛ-1,5 с 10 клеммами с сечением жил до 2 мм², IP66.

В верхней части чертежа приведена таблица с наименованием позиций, местами установки, измеряемой средой и измеряемыми параметрами. Под каждой позицией располагаются датчики давления, температуры, расхода, уровня и, соответственно, электроприводы. Исходя из руководства по эксплуатации, выбираем четырехпроводную схему подключения для датчиков расхода, для первичного преобразователя ТСМ 0101 и для нормирующих преобразователей температуры НПТ-1К и уровня. Для первичных преобразователей температуры ТСМ 100М выбираем трёхпроводную схему подключения. Двухпроводной схемой подключения выбраны первичный преобразователь температуры ТТКЕ-243, все датчики расхода и датчик уровня. Провода для датчиков обозначаются, начиная со 101 до 134, с 101–1 до 132–1 и соединяются в кабели. А провода с 101–2 до 105–2, с 108–2 до 111–2, 113–2, 114–2 и 116–2 не соединяются в кабель. В окружности на кабеле приводится маркировка измерительного канала. Кабели № 3 и 4 сводятся в клеммную коробку КС-10(1) через 2 сальника MG20, из коробки выходит кабель № 5 через сальник MG32 на щит управления. Кабели № 6 и 7 сводятся в клеммную коробку КС-10(2) через 2 сальника MG20, из коробки выходит кабель № 8 через сальник MG32 на щит управления. Кабели № 9, 10 и 11 сводятся в клеммную коробку КС-10(3) через 2 сальника MG20 и 1 сальник MG25. Из коробки выходит кабель № 12 через сальник MG32 на щит управления. Кабели № 13, 14 и 15 сводятся в клеммную коробку КС-10(4) через 2 сальника MG20 и 1 сальник MG25. Из коробки выходит кабель № 16

через сальник MG32 на щит управления. Кабель №17, идёт сразу от датчика уровня в щит управления. Кабели № 1 и 2 подают питание на щит управления из силового щита управления. На втором листе расположены два электропривода ГЗ А-70. Провода обозначаются, начиная с 201 до 236, U1, U2, V1, V2, W1, W2 и соединяются в кабели №18 и 19.

Разработанная монтажная схема автоматической системы регулирования уровня воды в баке-аккумуляторе деаэратора представлена на двух чертежах с шифром ФЮРА.421000.006 С4.

9 Разработка общего вида щита управления

9.1 Выбор щита для размещения оборудования

Щкафы предназначены для размещения приборов, средств автоматики, систем обогрева и вентиляции и вспомогательного оборудования. Щкафы представляют собой сварную конструкцию, выполненную из углеродистой стали с полимерным покрытием. С передней стороны щкаф имеет открывающуюся дверь.

Выбираем компактный распределительный ЩМП 1000x800x300мм IP66 с монтажной панелью, так как этот щит предназначен для размещения оборудования небольших АСР. Характеристики щкафа приведены в таблице 33.

Таблица 33 – Характеристики ЩМП 1000x800x300мм IP65 с монтажной панелью (R5ST1083)

Характеристики	ДКС ЩМП 1000x800x300
Материал	сталь
Способ монтажа	навесной
Степень защиты, IP	66
Размер, мм	
Ширина:	800
Высота:	1000
Глубина:	300
Ударопрочность	10

9.2 Описание общего вида щита управления

Щиты управления системами предназначены для установки контрольных и регулирующих устройств, сенсоров и других элементов, связанных с управлением технологическими процессами, а также защиты и коммуникационных линий. Обычно такие щиты располагаются в помещениях

для диспетчеров, операторов и т.д. Щиты с монтажной панелью (ЩМП) — это хороший вариант для монтажа автоматизированных систем регулирования в операторских помещениях, учитывая характеристики исполнения щита и степень защиты от касания токоведущих частей.

Для мониторинга и управления технологическими процессами в щите установлены контроллеры и зажимные устройства. Щит с монтажной панелью размером 1000x800x300 мм используется для установки элементов автоматизации. Чертеж содержит фронтальный и внутренний виды щита и список компонентов.

Вверху щита располагается общий блок, на котором установлены вертикальные модули А1-А5 управления контроллерами. Рядом с модулями находятся блок питания, автоматический выключатель, защита от перенапряжения, термореле и аккумулятор, соединенный с источником питания. В середине слева расположены 7 преобразователей аналоговых сигналов и релейные модули на 24 В. В нижней части слева расположены блоки зажимов ХТ01-ХТ05 и ХТ1-ХТ5, а в нижней правой части находится реле контроля трехфазного напряжения на 380 В.

Общий вид щита представлен на чертеже с шифром ФЮРА.421000.006 ВО.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б93	Емельянову Степану Геннадьевичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	И. Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

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

1. Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	<i>- районный коэффициент- 1,3; Коэффициент дополнительной заработной платы – 0,14; - накладные расходы – 20%</i>
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	<i>- страховые взносы во внебюджетные фонды 30,2%.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	<i>Анализ потенциальных потребителей результатов исследования, конкурентных технических решений, проведение SWOT-анализа.</i>
2. Планирование и формирование бюджета	<i>Формирование плана и графика проекта: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ. Формирование бюджета затрат проекта.</i>
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	<i>Расчет показателей сравнительной эффективности проекта, интегрального показателя ресурсоэффективности</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Емельянов Степан Геннадьевич		

12 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности НИР, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Данный раздел предусматривает рассмотрение следующих задач:

1. оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований.
2. определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.
3. планирование научно-исследовательских работ.
4. определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

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

12.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Разрабатываемая АСР уровня воды в баке-аккумуляторе деаэратора предназначена контролировать уровень воды в баке-аккумулятора в оптимальном значении, не допуская аварийных ситуаций. Потенциальные потребители данной АСР: энергетические компании, которые используют деаэраторы в своих электростанциях; компании, занимающиеся производством и обслуживанием техники для энергетических компаний; государственные учреждения, контролирующие работу энергетических компаний и их оборудования; компании, занимающиеся разработкой и производством АСУ ТП (автоматизированных систем управления технологическим процессом) для энергетических компаний; передовые научные центры, занимающиеся разработкой технологий повышения эффективности работы деаэраторов.

12.1.2 Анализ конкурентоспособности технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Проведем анализ конкурентных технических решений с помощью оценочной карты. Так как в данной работе был выбран уровнемер GRLM-70NT – микроволновый уровнемер, рассмотрим другие способы измерения уровня при помощи ёмкостного уровнемера DLM-35N-20-G1-I-C-E0600 и поплавкового магнитного индикатора уровня ILL-BM-B16-2600-7-001-50/20-

FB-T2-BC. В таблице 38 приведено сравнение конкурентных технических решений.

Таблица 38 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б ₁	Б ₂	Б ₃	К ₁	К ₂	К ₃
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Надежность	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
Экологичность	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Простота эксплуатации	0,05	3	3	4	0,15	0,15	0,2
Актуальность исследования	0,15	5	3	2	0,75	0,45	0,3
Качество регулирования	0,15	5	4	1	0,75	0,6	0,15
Эффективность применения	0,1	5	4	1	0,5	0,4	0,1
Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,1	2	4	5	0,2	0,4	0,5
Стоимость обслуживания	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
Срок эксплуатации	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Итого	1	39	35	30	4,5	3,9	3,1

Расчет конкурентоспособности определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i, \quad (13)$$

где B_i – вес показателя (в долях единицы); Б_i – балл -го показателя.

$$\begin{aligned} K_1 &= \sum B_i \cdot \text{Б}_i = 0,75 + 0,5 + 0,15 + 0,75 + 0,75 + 0,5 + 0,2 + 0,4 + 0,5 \\ &= 4,5; \end{aligned}$$

$$K_2 = \sum B_i \cdot \text{Б}_i = 0,6 + 0,5 + 0,15 + 0,45 + 0,6 + 0,4 + 0,4 + 0,3 + 0,5 = 3,9;$$

$$K_3 = \sum B_i \cdot B_i = 0,45 + 0,5 + 0,2 + 0,3 + 0,15 + 0,1 + 0,5 + 0,4 + 0,5 = 3,1.$$

По итогам расчетов анализа конкурентоспособности технических решений можно сделать вывод, что по оборудованию измерения уровня микроволновым датчиком является наиболее перспективным по сравнению с ёмкостными и поплавко-магнитными. В данной работе используется микроволновый уровнемер

12.1.3 Матрица SWOT

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

Основным достоинством данной системы является современное оборудование и высокая надёжность системы автоматического регулирования, ПЛК и наличие высокой точности измерения параметров системы.

Система также имеет ряд проблем, в основном связанных с финансовым ограничением и потребностью высококвалифицированного персонала.

Таблица 39 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>C1. Современное оборудование</p> <p>C2. Автономность и независимость работы.</p> <p>C3. Применение надежного оборудования.</p> <p>C4. Высокая надежность системы.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Потребность высококвалифицированных кадров у потенциальных потребителей.</p> <p>Сл2. Требуется контроллеры, предназначенные для систем средней степени сложности.</p> <p>Сл3. Новизна технологии.</p> <p>Сл4. Сложность в проведении пусконаладочных работ.</p>
<p>Возможности</p> <p>V1. Большой потенциал применения метода в России и других странах</p> <p>V2. Поддержка со стороны государства развитие технологий автоматизации.</p> <p>V3. Понижение стоимости на компоненты установки.</p> <p>V4. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>1. Большой потенциал применения метода в России и других странах способствует развитию комплекса и дальнейшего захвата более обширного рынка.</p> <p>2. В результате использования современных технологий повысится качество работы.</p>	<p>Внедрение технологий на отечественный рынок может быть результатом новизны разработки.</p> <p>Повышении конкурентоспособности может привести к разработке новых технологий.</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Отсутствие спроса на рынке.</p> <p>У2. Повышение стоимости на компоненты системы.</p> <p>У3. Появление зарубежных аналогов.</p>	<p>1. Низкий срок окупаемости благодаря современному оборудованию и высокой надёжности системы</p> <p>2. Новые конкуренты с более совершенными технологиями</p>	<p>1. Зарубежные компании обладают высокоразвитыми технологиями</p> <p>2. Повышение спроса приведет к повышению высококвалифицированных кадров.</p>

12.2 Планирование научно-исследовательских работ

12.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. 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 40.

Таблица 40 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	2	Подбор и изучение литературы по выбранной теме	Инженер
	3	Календарное планирование работ	Научный руководитель
	4	Настройка параметров регулятора	Инженер
	5	Визуализация мнемосхемы	Инженер
	6	Обработка полученных данных	Научный руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности результатов	Научный руководитель

Продолжение таблицы 40

1	2	3	4
Разработка технической документации и проектирование	8	Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схему, выбор оборудования; разработка щита управления и мнемосхемы АСР.	Инженер
	9	Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».	Инженер
	10	Внесение исправлений в чертежи и доработка описания к ним.	Инженер

12.2.2 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.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости определяется по формуле:

$$t_{ожi} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5}, \quad (14)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; $t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; $t_{\max i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Продолжительность каждой работы, учитывающую параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{ч_i}, \quad (15)$$

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

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переведем в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (16)$$

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

Количество календарных дней в 2022–23 учебном году составило 365 дней, количество выходных и праздничных дней – 118 дней. Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}; \quad (17)$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,478,$$

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.

Таблица 41 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Трудоемкость работ, дни			Исполнители	Длительность работ в раб. днях T_{pi}		Длительность работ в кал. днях T_{ki}	
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$		НР	Инж.	НР	Инж.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Составление и утверждение технического задания	1	2	1,4	НР	1,4	-	2	-
Подбор и изучение литературы по выбранной теме	7	9	7,8	Инж.	-	7,8	-	11

Продолжение таблицы 41

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Календарное планирование работ	2	4	2,8	НР	2,8	-	4	-
Настройка параметров регулятора	6	8	6,8	Инж.	-	6,8	-	10
Визуализация мнемосхемы	11	14	12,2	Инж.	-	12,2	-	18
Обработка полученных данных	8	12	9,6	НР, инж.	4,8	4,8	7	7
Оценка эффективности результатов	4	7	5,2	НР	5,2	-	8	-
Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схемы, выбор оборудования; разработка щита управления и мнемосхемы АСР	22	27	24	Инж.	-	24	-	35
Внесение исправлений в чертежи и доработка описаний к ним	8	12	9,6	Инж.	-	9,6	-	14
Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	5	9	6,6	Инж.	-	6,6	-	10
Составление пояснительной записки	6	8	6,8	Инж.	-	6,8	-	10
Итого	83	124	99,4	-	14	80	21	117

В таблице 41 указан перечень работ, исполнители и временные показатели выполнения проекта.

Пример расчета для первой строки:

$$t_{\text{ож1}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min1}} + 2 \cdot t_{\text{max1}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел. -дн.};$$

$$T_{p1} = \frac{t_{\text{ож1}}}{\text{Ч}_1} = \frac{1,4}{1} = 1,4 \text{ раб. дн.};$$

$$T_{k1} = T_{p1} \cdot k_{\text{кал}} = 1,4 \cdot 1,478 = 2,07 \approx 2 \text{ дня.}$$

Календарный план-график построен на основе таблицы 42 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней)

Таблица 42 - График Ганта

№	Вид работы	Исп.	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февраль			Март			Апрель			Май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	НР	2	■												
2	Подбор и изучение литературы по выбранной теме	Инж	11	■	■											
3	Календарное планирование работ	НР	4		■											
4	Настройка параметров регулятора	Инж	10			■	■									
5	Визуализация мнемосхемы	Инж	18			■	■	■								
6	Обработка полученных данных	НР, инж	7					■	■							
7	Оценка эффективности результатов	НР	8						■	■						
8	Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схемы, выбор оборудования; разработка щита управления и мнемосхемы АСР.	Инж	35							■	■	■	■	■		
9	Внесение исправлений в чертежи и доработка описаний к ним.	Инж	14											■	■	
10	Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение».	Инж	10												■	■
11	Составление пояснительной записки	Инж	10													■

■ Научный руководитель;

■ Инженер.

12.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

12.3.1 Расчет материальных затрат НИР

Материальные затраты – затраты предприятия на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции. Результаты расчета затрат представлены в таблице 43.

Таблица 43 – Материальные затраты

Наименование материала	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Бумага офисная, упаковка 500 листов	шт	2	360	720
Канцелярский набор	шт	2	1194	2388
Итого				3108

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

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. В таблице 44 представлен перечень используемого оборудования в проекте и его стоимость.

Таблица 44 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование	Кол-во е.	Цена оборудования, руб.
1	Датчик уровня GRLM 70 NT	1	194000
2	Первичный преобразователь температуры TCM 0101 100M	1	1000
2	Первичный преобразователь температуры ТТКЕ 243	1	1000
2	Первичный преобразователь температуры TCM 100M	2	1000
2	Нормирующий преобразователь температуры НПТ-1К	4	14400
3	Датчик расхода ЭМИС МАГ 270	1	58000
3	Датчик расхода ЭМИС ВИХРЬ 200	1	110000
4	Преобразователь давления МИДА ДТ-13П	1	17000
4	Датчик давления PI2307	2	175000
4	Датчик давления DMP 331P	1	16000
5	Контроллер ЭЛСИ ТМК (включая модули)	1	70000
6	Электродвигатель с РО	2	143000
7	Кабели, коробка DIN-рейки, клеммы		50000
8	Щит управления ДКС	1	30000
Итого:			1242600 руб.

Затраты на монтажные работы, транспортировку и демонтаж оборудования составляют 20 % от суммы затрат на технические средства:

$$Z_{\text{монт}} = Z_{\text{обор}} \cdot 0,2, \quad (18)$$

где $Z_{\text{обор}}$ – затраты на оборудование.

$$Z_{\text{монт}} = 1242600 \cdot 0,2 = 248520 \text{ руб.}$$

12.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата исполнителя и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата работника рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (19)$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Основная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 3248,3 \cdot 14,2 = 46125,9 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 1630,5 \cdot 79,6 = 129787,8 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

при отпуске в 48 раб. дня $M = 10,3$ месяца, 6-дневная неделя;

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

Таблица 45 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Выходные/праздники	66	118
Отпуск/невыходы по болезни	56	30
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	217

Среднедневная заработная плата научного руководителя (20) (6-дневная неделя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{76635 \cdot 10,3}{243} = 3248,3 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата инженера (20) (5-дневная неделя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{31590 \cdot 11,2}{217} = 1630,5 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (21)$$

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

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2–0,5.

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3.

Месячный должностной оклад научного руководителя (21):

$$Z_{\text{м}} = 39300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 76635 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад инженера (21):

$$Z_{\text{м}} = 16200 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31590 \text{ руб.}$$

Таблица 46 – Основная заработная плата

Исполнители	$Z_{ТС}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
НР	39300	0,3	0,2	1,3	76635	3248,3	14	46125,9
Инж	16200	0,3	0,2	1,3	31590	1630,5	80	129787,8
Итого $Z_{осн}$								175913,7

12.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей

Дополнительная заработная плата вычисляется по формуле:

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

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, на стадии проектирования принимаем равным 0,14.

Доп. заработная плата научного руководителя (22):

$$Z_{доп} = 0,14 \cdot 46125,9 = 6457,6 \text{ руб.}$$

Доп. заработная плата инженера (22):

$$Z_{доп} = 0,14 \cdot 129787,8 = 18170,3 \text{ руб.}$$

11.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (23)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Отчисления во внебюджетные фонды для научного руководителя (23):

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot (46125,9 + 6457,6) = 15880,2 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера (23):

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot (129787,8 + 18170,3) = 44683,3 \text{ руб.}$$

12.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (24)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, принимаем 0,2.

$$Z_{\text{накл}} = (3108 + 175913,7 + 20747,3 + 62563,5) \cdot 0,2 = 52467 \text{ руб.}$$

Таблица 47 – Расчет бюджета затрат НИР

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	3108
Затраты на оборудование	1491120
Затраты на основную заработную плату	175913,7
Затраты на дополнительную заработную плату	24627,9
Отчисления во внебюджетные фонды	62563,5
Накладные расходы:	52467

12.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 48.

Таблица 48 – Бюджет затрат НИР

Наименование	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1	2	3	4	5
Материальные затраты	3108	3108	3108	Пункт 12.3.1

Продолжение таблицы 48

1	2	3	4	5
Затраты на оборудование	1491120	1320000	1498320	Пункт 12.3.2
Затраты на основную заработную плату	175913,7	175913,7	175913,7	Пункт 12.3.3
Затраты на дополнительную заработную плату	24627,9	24627,9	24627,9	Пункт 12.3.4
Отчисления во внебюджетные фонды	62563,5	62563,5	62563,5	Пункт 12.3.5
Накладные расходы	52467	52467	52467	Пункт 12.3.6
Бюджет затрат НИР	1809800	1638680	1817000	Сумма пунктов. 12.3.1–12.3.6

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

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования.

Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения. В качестве аналогов данного НИР рассмотрены:

1. АСР уровня воды в баке-аккумуляторе с использованием ультразвукового уровнемера.
2. АСР уровня воды в баке-аккумуляторе с использованием ёмкостного уровнемера.
3. АСР уровня воды в баке-аккумуляторе с использованием поплавкового-магнитного уровнемера.

Интегральный показатель финансовой эффективности:

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

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения НИР.

$$\Phi_{p1} = 1809800 \text{ руб,}$$

$$\Phi_{p2} = 1638680 \text{ руб,}$$

$$\Phi_{p3} = 1817000 \text{ руб,}$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{1809800}{1817000} = 0,99,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{1638680}{1817000} = 0,9,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{1817000}{1817000} = 1.$$

Наиболее приемлемым с точки зрения финансовой эффективности являются 1 и 3 варианты исполнения.

Интегральный показатель ресурсоэффективности I_{pi} вариантов выполнения определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра. Распределение параметров представлено в таблице 12.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Таблица 49 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп1	Исп2	Исп3
Возможность применения технологии на производстве	0,15	4	3	4
Удобство эксплуатации	0,15	5	4	4
Надежность	0,15	5	4	4
Динамическая точность	0,15	5	5	2
Стоимость обслуживания	0,15	4	4	4
Качество регулирования	0,15	5	5	2
Простота пусконаладочных работ	0,1	4	4	5
Итого:	1	4,6	4,15	3,5

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 = 4,6,$$

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

$$I_{p3} = 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 2 + 0,1 \cdot 5 = 3,5.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки:

$$I_{испi} = \frac{I_{p-испi}}{I_{финр}}; \quad (27)$$

$$I_{\text{исп1}} = \frac{4,6}{0,99} = 4,65;$$

$$I_{\text{исп2}} = \frac{4,15}{0,9} = 4,61;$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{3,5}{1} = 3,5.$$

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$) запишем в общую таблицу.

Таблица 50 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,99	0,9	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,6	4,15	3,5
3	Интегральный показатель эффективности	4,65	4,61	3,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,99	0,75

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущее исследование).