

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра Автоматизация теплоэнергетических процессов (АТП)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Внедрение системы автоматического управления, регулирования и защит турбопривода Р-3,15-1,2802 Ново-Кемеровской ТЭЦ

УДК 621.67-5:681.586.7(571.17)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2В	Можевитин Данил Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Иванова Евгения Владимировна	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Василевский Михаил Викторович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АТП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н. доцент		

Томск – 2016 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код резу- ль- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
Р2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
Р3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
Р4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
Р5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
Р6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
Р8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
Р9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.

P10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.
P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
<i>Специальные профессиональные</i>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

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

Институт Энергетический
 Направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»
 Кафедра Автоматизация теплоэнергетических процессов

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой АТП
 _____ Стрижак П.А.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5Б2В	Можевитину Данилу Владимировичу

Тема работы:

Внедрение системы автоматического управления, регулирования и защит турбопривода Р-3,15-1,2802 Ново-Кемеровской ТЭЦ	
Утверждена приказом директора № 435/с	27.01.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т.д.); требования к изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияние на человеческие факторы, энергозатраты; экономический анализ и т.д).</i></p>	<p>Объект исследования – питательный турбонасос Ново – Кемеровской ТЭЦ мощностью 3,7 МВт.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обслуживание результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Описание объекта управления и его технологических процессов. Система автоматического управления, регулирования и защиты турбопривода питательного насоса. Разработка структурной схемы. Разработка функциональной схемы Анализ и выбор технических средств автоматизации. Заказная спецификация приборов и средств автоматизации.</p>

	Проектирование принципиальной электрической схемы. Проектирование монтажной схемы. Выбор проводов, кабелей и защитных труб. Расчет сужающего устройства. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Социальная ответственность.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Структурная схема системы, функциональная схема САУРиЗ, принципиальная электрическая схема, монтажная схема внешних проводов, сужающее устройство.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна, к.э.н., доцент каф. МЕН
Социальная ответственность	Василевский Михаил Викторович, к.т.н., доцент каф. ЭБЖ

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.02.16
--	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. АТП	Иванова Евгения Владимировна	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2В	Можевитин Данил Владимирович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 92 страницы, 6 рисунков, 18 таблиц, 27 источников, 1 приложение, 5 листов графического материала.

Ключевые слова: турбина, питательный насос, система автоматизированной защиты и контроля, регулирование, управление, технические средства автоматизации.

Целью выпускной квалификационной работы является внедрение системы автоматического управления, регулирования и защит (САУРиЗ) турбопривода Ново-Кемеровской ТЭЦ.

В процессе выполнения произведены анализ объекта автоматизации, разработка структурной, функциональной, принципиальной электрической, монтажной схем и сужающего устройства. Также проведено метрологическое обоснование выбора оборудования. Отражена оценка ресурсоэффективности разработки. Рассмотрены вопросы, связанные с охраной труда на производстве.

Обозначения и сокращения:

ПТН – питательный турбонасос;

ПТ – питательный насос;

ПЭ – питательный электронасос;

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль;

Р – противодавленческая турбина;

ПТ – теплофикационная турбина с промышленным отбором пара;

САУРиЗ – система автоматического управления, регулирования и защиты;

СК – стопорный клапан;

РК – регулирующий клапан;

ВР – вентиль рециркуляции;

НЗ – электрифицированная напорная задвижка;

КПД – коэффициент полезного действия;

ПТК – программно-технический комплекс;

ТЗ – тепловые защиты;

МЭО – механизм электрический однооборотный;

МЭОФ – механизм электрический однооборотный фланцевый;

БЩУ – блочный щит управления;

ТП – технологический параметр;

КТЦ – котлотурбинный цех;

ПУЭ – правила устройства электроустановок;

ЭВМ/ПЭВМ – персональная электронная вычислительная машина;

ИВК – измерительно – вычислительный комплекс;

КИП – контрольно – измерительный прибор;

ПГ – парогенератор;

АРМ – автоматизированное рабочее место;

ПДУ – предельно допустимый уровень;

СУ – сужающее устройство.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	11
1 Описание объекта управления и его технологических процессов	14
2 Система автоматического управления, регулирования и защиты турбопривода питательного насоса.....	23
2.1 Обеспечение надежности действия тепловых защит	23
2.2 Структура систем защит и блокировок.....	24
3 Разработка функциональной схемы	29
4 Выбор технических средств автоматизации и составление заказной спецификации	32
4.1 Выбор приборов измерения расхода.....	32
4.2 Выбор датчиков избыточного давления	33
4.3 Выбор преобразователей относительных перемещений	35
4.4 Выбор датчиков измерения частоты вращения ротора турбины.....	36
4.5 Выбор регулирующего устройства	36
4.6 Выбор исполнительных механизмов	42
5 Проектирование принципиальной схемы САУРиЗ.....	44
6 Проектирование монтажной схемы САУРиЗ.....	47
7 Выбор кабелей, проводов и защитных труб.....	49
8 Расчет первичного преобразователя измерения расхода питательной воды	Ошибка! Закладка не определена.
8.1.1 Исходные данные	Ошибка! Закладка не определена.
8.1.2 Определение недостающих параметров.....	Ошибка! Закладка не определена.
8.1.3 Тип СУ – диафрагма камерная сварная ДКС – 40 – 400	Ошибка! Закладка не определена.
8.1.4 Определение номинального перепада давления дифманометра.....	Ошибка! Закладка не определена.
8.1.5 Определение числа Рейнольдса.....	Ошибка! Закладка не определена.

8.1.6 Проверка длины прямых участков за и перед СУ	Ошибка! Закладка не определена.
8.1.7 Определение параметров сужающего устройства	Ошибка! Закладка не определена.
8.1.8 Проверка расчета.....	Ошибка! Закладка не определена.
8.1.9 Расчет погрешности измерения расхода питательной воды	Ошибка! Закладка не определена.
8.2 Расчет конструктивных размеров для узла крепления СУ	Ошибка! Закладка не определена.
8.2.1 Допустимый диапазон значений внутреннего диаметра трубопровода	Ошибка! Закладка не определена.
8.2.2 Диаметр проходного сечения диафрагмы	Ошибка! Закладка не определена.
8.2.3 Толщина диска диафрагмы	Ошибка! Закладка не определена.
8.2.4 Проверка толщины диска и выбор угла фаски	Ошибка! Закладка не определена.
8.2.5 Длина цилиндрического отверстия диафрагмы	Ошибка! Закладка не определена.
8.2.6 Определение размера с	Ошибка! Закладка не определена.
8.2.7 Толщина стенки корпуса камеры	Ошибка! Закладка не определена.
8.2.8 Высота и ширина камеры	Ошибка! Закладка не определена.
9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	53
9.1 Цели и задачи экономической части проекта	53
9.2 Определить капитальные вложения на разработку проекта по модернизации питательного насоса и его автоматической системы регулирования.....	53
9.3 Определение единовременных капитальных вложений на приобретение средств автоматизации и их монтаж	59
9.4 Определение годовых эксплуатационных затрат на обслуживание системы автоматизации	60

9.5 Расчет экономической эффективности	61
10 Социальная ответственность	Ошибка! Закладка не определена.
10.1 Основные положения.....	Ошибка! Закладка не определена.
10.2 Состояние воздуха рабочей зоны	Ошибка! Закладка не определена.
10.3 Освещённость	Ошибка! Закладка не определена.
10.4 Уровни шума	Ошибка! Закладка не определена.
10.5 Уровни вибрации.....	Ошибка! Закладка не определена.
10.6 Электробезопасность	Ошибка! Закладка не определена.
10.7 Эргономичность рабочего места	Ошибка! Закладка не определена.
10.8 Вывод по разделу	Ошибка! Закладка не определена.
Заключение	Ошибка! Закладка не определена.
Список использованных источников	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение А – заказная спецификация приборов и средств автоматизации	Ошибка! Закладка не определена.

Графический материал:

На отдельных листах

ФЮРА.421000.013 С1 Система автоматического управления, регулирования и защит питательного турбоутилизатора. Схема структурная

ФЮРА.421000.013 С2 Система автоматического управления, регулирования и защит питательного турбоутилизатора. Схема функциональная

ФЮРА.421000.013 Э3 Система автоматического управления, регулирования и защит питательного турбоутилизатора. Схема электрическая принципиальная

ФЮРА.421000.013 С4 Система автоматического управления, регулирования и защит питательного турбоутилизатора. Схема монтажная

ФЮРА.421000.013 СБ Система автоматического управления, регулирования и защит питательного турбоутилизатора. Узел крепления сужающего устройства в трубопроводе

ФЮРА.421000.013 01 Система автоматического управления, регулирования и защит питательного турбоутилизатора. Диафрагма угловая сталь 1Х18Н10Т

ФЮРА.421000.013 02 Система автоматического управления, регулирования и защит питательного турбонасоса. Патрубок левый

ФЮРА.421000.013 03 Система автоматического управления, регулирования и защит питательного турбонасоса. Схема соединительных линий при измерении расхода питательной воды, с расположением дифманометра ниже сужающего устройства

Введение

Цель выпускной квалификационной работы заключается в разработке и внедрении системы автоматического управления, регулирования и защит турбопривода Ново – Кемеровской ТЭЦ.

Данное внедрение подразумевает под собой замену электропривода питательного насоса на паровую турбину – турбопривод.

Актуальность темы выпускной квалификационной работы заключается в том, что в наше время все теплоэнергетические предприятия, и не только, переходят на более высокий уровень – уровень автоматизированного контроля и управления технологическими процессами. Автоматическое управление и регулирование питательного турбонасоса котельного агрегата является неотъемлемой составляющей в работе всего котельного агрегата в целом.

Питательный насос может быть отнесен к основному оборудованию ТЭЦ наряду с котлом, паровой турбиной и конденсационной установкой. Эффективная работа питательных насосов и их надежность являются важными факторами для успешной эксплуатации ТЭЦ.

Для привода питательных насосов небольших мощностей обычно используют асинхронный двигатель. Электропривод прост в эксплуатации и имеет высокий КПД. Двигатели номинальной мощности 200 – 8000 кВт выполняются на напряжение 6 кВ. Для всех асинхронных двигателей применяется прямой пуск от полного напряжения сети. Так как энергоблоки на ТЭЦ работают в режимах частых пусков и остановов из-за неравномерности графика нагрузки энергосистемы, то возникает необходимость в частых пусках асинхронных двигателей, на что последние не рассчитаны, особенно мощностью свыше 1000 кВт, у которых ресурс пусковых режимов весьма ограничен. Частые пуски асинхронных двигателей приводят к ускоренному износу обмоток статора и ротора, что увеличивает затраты на их ремонт и снижает надежность работы ТЭЦ [1].

Имеются следующие факторы, которые делают целесообразным проведение подобного внедрения.

Первый фактор связан с особенностями регулирования работы питательного насоса, т.е. изменения его Q -расхода и H -напора, используя в качестве привода либо электродвигатель, либо паровую турбину.

Следует отметить также, что при использовании электропривода регулирование расхода питательной воды может вестись либо дросселированием, либо с помощью гидромуфты. Регулирование дросселированием крайне неэкономично и ведет к быстрому износу насоса и арматуры, поэтому на крупных блоках питательная установка снабжается гидромуфтой.

Регулирование с помощью гидромуфты экономичнее, но и здесь при низких нагрузках блока потери велики: КПД гидромуфты составляет 95-98 % при полной нагрузке (что соответственно увеличивает мощность собственных нужд на номинальном режиме) и лишь 75 – 80 % при нагрузке блока, составляющей 50 % номинальной.

При использовании же турбопривода регулирование работы питательного насоса производится за счет изменения числа оборотов ротора. Данный вид регулирования является более экономичным.

Такое решение экономически выгодно, так как, помимо дополнительной выработки электроэнергии (за счет загрузки пара производственного отбора и снижения потребления электроэнергии на собственные нужды – в результате замены электропривода питательных насосов на турбопривод), ТЭЦ получает возможность за счет отработанного пара приводных турбин насосов отпускать дополнительное количество тепла внешним потребителям. Именно такой подход должен быть в оценке эффективности турбопривода питательного насоса на ТЭЦ. Кроме того, турбопривод позволяет наиболее экономично регулировать производительность питательного насоса за счет изменения числа оборотов ротора.

Второй фактор связан с уменьшением расхода электроэнергии на собственные нужды, за счет замены электропривода питательного насоса на турбопривод.

И, наконец, третий фактор обуславливающей проведение подобной реконструкции. Для ТЭЦ с давлением пара 13,7 МПа присуще наличие турбин типа ПТ и Р для выработки пара 1,3 МПа на производственные нужды. На данный момент, из-за снижения потребности в производственном паре 1,3 МПа турбины типа ПТ и Р недогружены, а потребности в отпуске тепла возрастают настолько, что вынуждены покрываться за счет пиковых источников [2].

В связи с этим, при решении проблемы увеличения тепловой нагрузки ТЭЦ логично использовать вместо электропривода питательного насоса турбину, пар на которую будет поступать из коллектора 1,3 МПа, а отработанный пар подаваться в теплофикационный коллектор 0,1...0,2 МПа.

Таким образом, использование турбопривода питательного насоса вместо электродвигателя позволяет решить следующие основные задачи:

1) эффективно регулировать производительность насоса за счет изменения числа оборотов ротора;

2) уменьшить потребление электроэнергии на собственные нужды за счет внедрения турбопривода питательного насоса;

3) увеличить выработку и отпуск электроэнергии и тепла на станции за счет того, что в голову турбины типа ПТ или Р, подается дополнительный острый пар в количестве (порядка 50 т/ч), необходимом для работы турбопривода.

1 Описание объекта управления и его технологических процессов

Объектом управления является паротурбинная установка и питательный насос, вместе образующие единый агрегат – питательный турбонасос.

Система автоматического управления, регулирования и защит питательного турбонасоса обеспечивает возможность регулирования работы питательного насоса за счет изменения частоты вращения питательного турбонасоса.

В данной работе рассмотрен турбонасос типа ПТН – 500 – 180. Основные технические характеристики турбопривода питательного насоса приведены в таблице 1.

Таблица 1- Основные технические характеристики питательного турбонасоса

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
Расход	м ³ /ч	500
Номинальная частота вращения	об/мин	2985

ротора		
Абсолютное давление пара за турбиной	кгс/см ²	1,5-2,5
Мощность	МВт	3,7
Масса	кг	10850
КПД	%	78
Напор	м	1975

На рисунке 1 приведена схема реконструкции питательной электроустановки с установкой турбопривода.

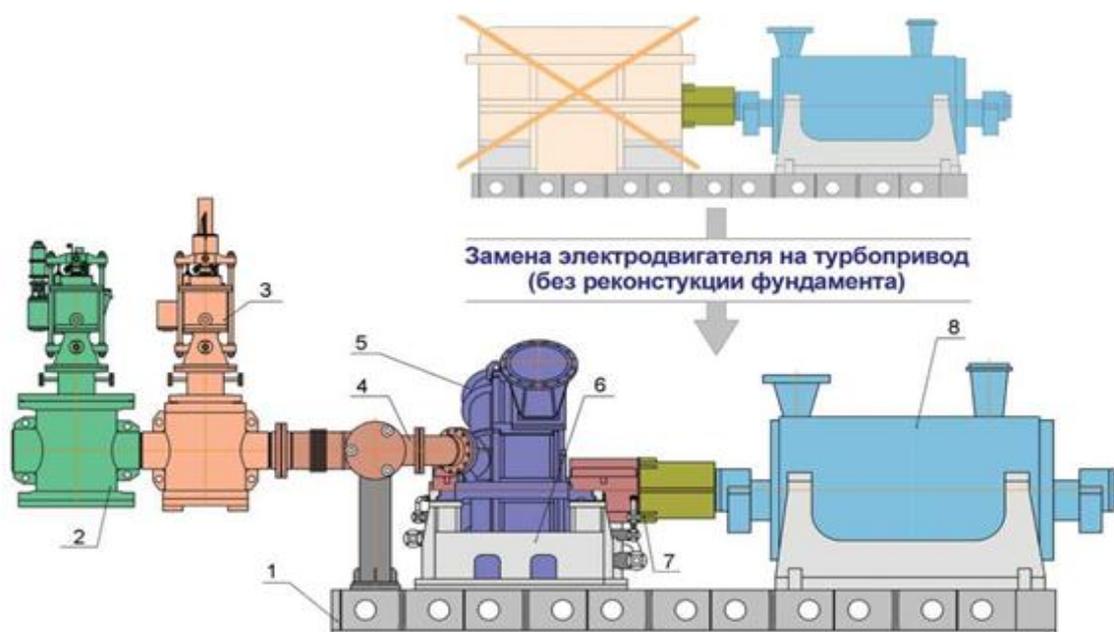


Рисунок 1 – Схема реконструкции питательной электроустановки с установкой турбопривода:

1 – фундаментная рама; 2 – стопорный клапан с паровым ситом; 3 – регулирующий клапан с линейным приводом; 4 – блок компенсаторный; 5 – цилиндр; 6 – опорная система цилиндра; 7 – кожух муфты; 8 – питательный насос

Для того чтобы схема с использованием турбинного привода питательного насоса была эффективнее электропривода и подходила к условиям размещения и работы на действующих ТЭЦ, турбопривод должен соответствовать следующим требованиям:

- 1) обладать высокой маневренностью;

- 2) обеспечивать необходимые параметры питательного насоса на всех режимах работы котлоагрегата в течение года;
- 3) быть экономичным на всех режимах;
- 4) быть простым в обслуживании;
- 5) размещаться на фундаменте питательного насоса на месте электродвигателя и не превышать его весовые нагрузки;
- 6) не требовать схемных переключений на режимах;
- 7) иметь достаточный запас по мощности при колебаниях давлений и температур в коллекторах;
- 8) использовать существующую масляную систему.

В соответствии с этими требованиями для замены электродвигателей насосов типа ПЭ – 500 – 180 разработана паровая турбина с высокоэкономичной (запатентованной) проточной частью.

Помимо высокой экономичности, разработанная турбина, в сравнении с существующими подобной мощности, имеет ряд преимуществ:

- 1) замена литого корпуса на сварную конструкцию;
- 2) снижение числа регулирующих клапанов до одного;
- 3) замена масляных сервомоторов высокого давления на автономный быстродействующий электрогидравлический привод;
- 4) уменьшение осевого габарита турбоустановки за счет минимизации числа ступеней, ликвидации валоповоротного устройства и применения малогабаритных, но весьма эффективных концевых уплотнений;
- 5) замена традиционной баббитовой заливки в подшипниках на композитный материал на основе фторопласта, который обеспечивает высокую надежность работы, меньшие потери трения и низкий расход масла;
- 6) применение новой проточной части позволяет работать в широком диапазоне не только на начальных, но и на конечных параметрах пара.

Все эти решения делают турбину не только малогабаритной и экономичной, но и высокоманевренной.

Конструкция турбопривода представляет собой одноцилиндровую турбину, монтируемую на существующую фундаментную раму насосного агрегата в пределах компоновки электродвигателя (рисунок 1). Весовая нагрузка от турбопривода не превышает значения весовой нагрузки замещаемого электродвигателя.

Цилиндр турбины – сварной, имеет горизонтальный разъем, опирается двумя лапами на переднюю опору и двумя лапами на заднюю опору. Ротор турбины (жесткий) опирается на два опорных подшипника (150 мм). В задней опоре также расположен упорный подшипник. На вал турбины насаживается двухвенечное колесо с рабочими лопатками I и II ряда.

Сопловой аппарат состоит из двух половин с наборными лопатками и центруется по расточке цилиндра. Лопатки соплового аппарата спроектированы с высокоэффективным профилем, разработанным для сверхзвуковых течений и имеющим минимальные потери на переменных режимах и обеспечивающим высокий КПД проточной части. В корневой части соплового аппарата выполнено лабиринтное уплотнение по рабочему колесу.

Направляющий аппарат состоит из двух половин с наборными лопатками и устанавливается в верхней и нижней половинах цилиндра. Лопатки направляющего аппарата имеют цельнофрезерованную хвостовую и бандажную части, с осевыми и радиальными лабиринтными уплотнениями.

Парораспределение турбины дроссельное. Перед турбиной последовательно установлены стопорный и регулирующий клапаны. Клапаны изображены на рисунке 2.

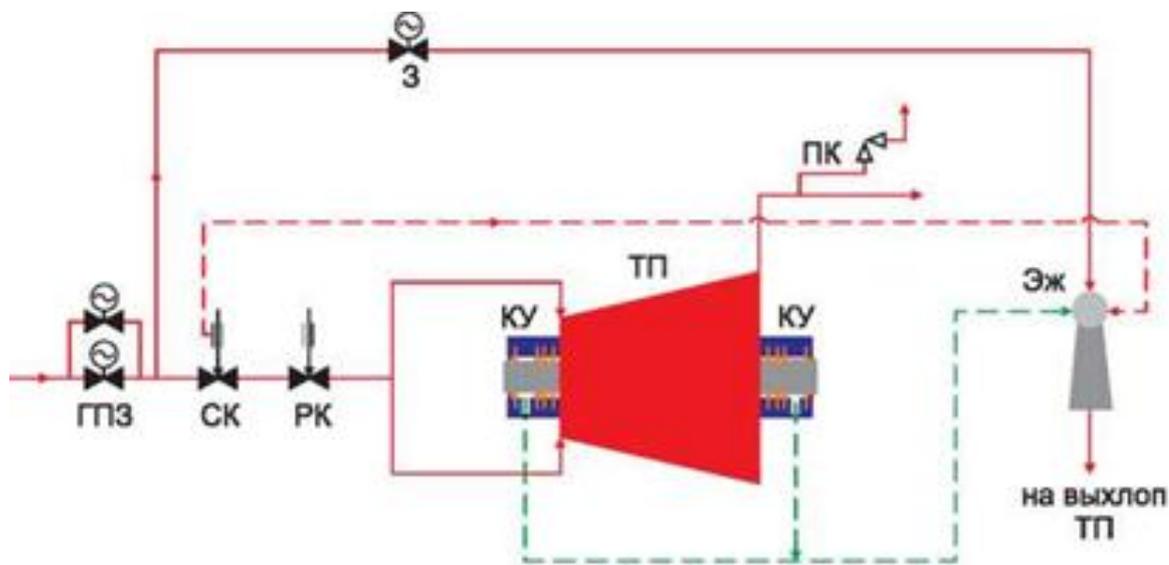


Рисунок 2 – Тепловая схема турбопривода:

ГПЗ – главная паровая задвижка; СК – стопорный клапан; РК – регулирующий клапан; З – задвижка; ТП – турбопривод; ПК – предохранительный клапан; КУ – концевые уплотнения; Эж – эжектор

В корпусе концевого уплотнения, имеющего горизонтальный разъем, устанавливаются угольные сегменты плавающего типа, которые надеваются на вал. Данное уплотнение имеет ряд преимуществ:

- 1) при замене не требуется разбирать цилиндр турбины;
- 2) минимальные линейные габариты;
- 3) минимальные протечки пара.

Вместо традиционной баббитовой заливки в опорных подшипниках и колодках упорного подшипника применен композитный материал на основе фторопласта. В результате используемые подшипники выдерживают большую удельную нагрузку, имеют более высокую надежность работы, меньшие потери трения и расхода масла и допускают работу на другой, отличной от масла, смазывающей жидкости (например, вода). Кроме того, данный материал позволяет осуществлять выбег ротора всухую.

Вместо зубчатой муфты, соединяющей роторы насоса и электродвигателя, устанавливается упругая кулачковая муфта. Данная муфта имеет ряд преимуществ:

- 1) высокие компенсирующие свойства, снижающие нагрузки на опоры и роторные детали;
- 2) минимальные осевые нагрузки;
- 3) повышенный ресурс работы;
- 4) повышенная технологичность при изготовлении и ремонтпригодность при эксплуатации;
- 5) отсутствие масла для смазки зубьев.

При проведении реконструкции питательной электроустановки с установкой турбопривода осуществляется замена штатной системы автоматики и КИП насосного агрегата на единую электронную систему регулирования. Основной функцией системы регулирования является поддержание заданной величины давления питательной воды за насосом путем изменения числа оборотов.

Питательный турбонасос ПТН – 500 – 180, изображенный на рисунке 3 –центробежный, двухкорпусный, одиннадцати ступенчатый, с односторонним расположением рабочих колес. Все колеса насоса имеют один диаметр по выходным кромкам лопаток, которые загнуты назад под углом меньше 90° . Диаметр всасывающего отверстия первого колеса больше чем у всех остальных для увеличения кавитационного запаса.

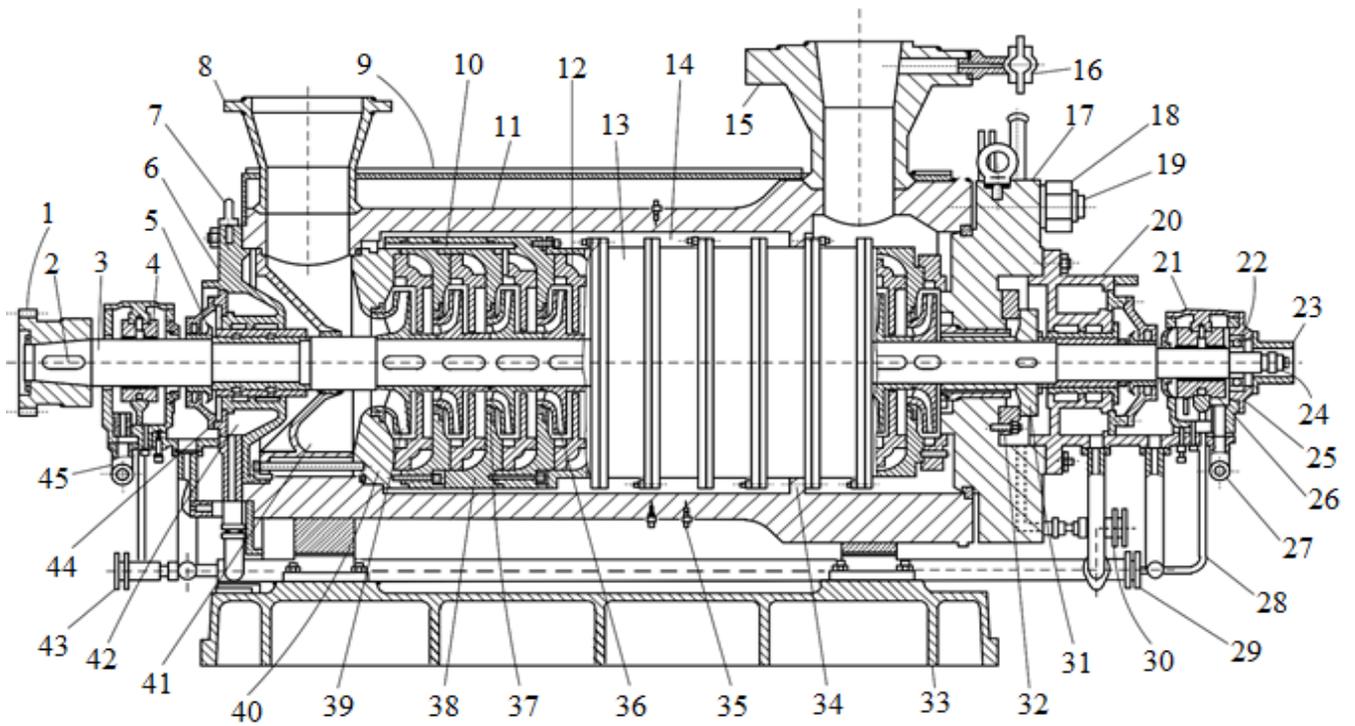


Рисунок 3 – Общий вид питательного турбонасоса:

1 – ведомая зубчатая полушестерня; 2 – шпонка; 3 – вал; 4 и 26 – радиальные подшипники скольжения передний и задний; 5 – водоотбойный диск; 6 и 17 – щит передний и задний; 7 – рым-болт; 8 и 15 – патрубки подводящий и напорный; 9 – кожух (термошумоограждение); 10 – канал для отвода воды в межкорпусное пространство; 11 – наружный корпус; 12 – направляющий аппарат; 13 и 38 – секции внутреннего корпуса; 14 – межкорпусное пространство; 16 – отвод на манометры; 18 – гайка, шайба плоская и пружинная; 19 – шпилька; 20 – корпус заднего концевое уплотнения; 21 – корпус задней подшипниковой опоры; 22 – упорный подшипник; 23 и 24 – ограждение и указатель осевого сдвига ротора; 25 – крышка упорного подшипника; 27 и 45 – дренаж масла; 28 – подвод масла; 29 и 43 – коллектор дренажей холодного конденсата; 30 – отвод воды от гидропаты; 31 и 32 – разгрузочный диск и подушка гидропаты; 33 – фундаментная плита; 34 – внутренний фланец наружного корпуса (фикс-пункт внутреннего корпуса); 35 – датчики контроля температуры; 36 – рабочее колесо 4-й ступени; 37 – уплотнение; 39 – рабочее колесо первой ступени; 40 – стыковая крышка; 41 – крышка кольцевой подводящей камеры; 42 – камера отвода конденсата; 44 – крышка концевое уплотнения

С целью достижения необходимого уровня безопасности эксплуатации и снижения трудоемкости монтажа насос выпускается двухкорпусным. Наружный корпус кованный обладает большой жесткостью, что обеспечивает возможность применения фланцевого присоединения подводящего и напорного трубопроводов. Механические усилия от наружного корпуса внутреннему корпусу (секционного типа) практически не

передаются, а водяная рубашка между ними существенно снижает вибрацию и уровень шума при работе насоса. Оба патрубка приварены к наружному корпусу и направлены вверх. С торцов наружный корпус закрыт входной и напорной крышками. Для контроля равномерного обжатия металлической прокладки между корпусом и крышкой предусмотрен зазор в 1 мм. Крышки напорная и подводящая крепятся к наружному корпусу шпильками. В верхней и нижней части корпуса установлены датчики контроля температуры.

Для заполнения пространства между корпусами питательной водой и поддержания в нем требуемого статического давления через шесть аксиальных каналов в трех первых секциях внутреннего корпуса производится отбор воды после третьей ступени. Для этого первые три секции выполняются с утолщенной наружной стенкой. Отборная вода по каналам проходит до стыковой крышки и через радиальные сверления заполняет полость между корпусами от первой до девятой ступени включительно, а оттуда по радиальному каналу в наружном корпусе поступает в трубопровод отбора. На стыке девятой и десятой ступени на внутренней поверхности наружного корпуса выполнен внутренний фланец, к которому через стальную прокладку крепится неподвижно внутренний корпус. Этот фланец является фиксунктом внутреннего корпуса.

Все рабочие колеса насоса установлены на вал по скользящей посадке 2-го класса точности. Между торцом дистанционной втулки, которая с другой стороны упирается в разгрузочный диск гидропята и торцом ступицы рабочего колеса последней ступени, имеется зазор для возмещения температурных расширений деталей ротора. Исключение протечек воды по валу достигается с помощью металлического контакта торцов ступиц колес под действием осевого усилия, направленного в сторону двигателя. Уплотнение первого колеса однощелевое, а всех остальных колес – двухщелевые.

Осевое усилие, передаваемое с рабочих колес на вал, воспринимает

разгрузочный диск гидропаты. Он установлен неподвижно на валу за последним рабочим колесом и дистанционной втулкой. Неподвижность диска относительно вала обеспечена шпонкой и стопорной гайкой. В напорную крышку наружного корпуса запрессована калиброванная втулка, которая с дистанционной втулкой на валу образует кольцевой зазор, через который вода с давлением около 18,5 МПа поступает в рабочую полость гидропаты. Воздействуя на рабочую поверхность разгрузочного диска, вода создает осевое усилие, направленное в сторону свободного конца вала – в противоположную сторону действия осевого усилия на рабочие колеса насоса. Через радиальный кольцевой зазор между подушкой гидропаты, разгрузочным диском и напорной крышкой вода поступает в камеру отвода дренажей, где ее давление незначительно выше атмосферного.

Если осевое усилие на колеса увеличивается, то ротор смещается в сторону подводящего патрубка, зазор между подушкой и разгрузочным диском уменьшается, расход воды через камеру гидропаты уменьшается, поэтому статическое давление воды на диск увеличивается, за счет этого увеличивается и осевое усилие на разгрузочный диск – ротор занимает устойчивое положение.

Если осевое усилие на колеса уменьшается, то ротор смещается в сторону напорного патрубка, зазор между подушкой и разгрузочным диском увеличивается, расход воды через камеру гидропаты увеличивается, поэтому статическое давление воды на диск уменьшается, за счет этого уменьшается и осевое усилие на разгрузочный диск – ротор занимает устойчивое положение.

Концевые уплотнения щелевого типа выполнены с отводом отработанного и промежуточным подводом холодного конденсата. На выходе из концевых уплотнений установлены водоотбойные диски, которые исключают возможность попадания воды в подшипники при аварийном состоянии уплотнений. Корпуса уплотнений крепятся шпильками к крышкам наружного корпуса.

Ротор насоса установлен на два радиальных подшипника скольжения с принудительной смазкой, которая подается с давлением около 50 кПа индивидуальной маслостанцией. Рабочие поверхности подшипников цилиндрической формы. К корпусу задней подшипниковой опоры прифланцована крышка с упорным шариковым подшипником, что повышает надежность работы насоса при неудовлетворительной работе гидропята.

Насос оборудуется системой для прогрева, которая состоит из трубопровода, коллектора с двумя вентилями высокого давления, дросселирующего устройства и используется перед запуском насоса из холодного состояния (после длительной остановки). Для этого в насос подается конденсат с давлением от 50 до 500 кПа и температурой не более 150 °С.

Корпус насоса закрыт кожухом из мягкой листовой стали. Под кожух предварительно закладывается теплоизоляционный и шумопоглощающий материал – базальтовое волокно. Это позволяет иметь на поверхности кожуха температуру не более 60...70 °С, а также снизить уровень шума.

Зубчатая муфта питательного насоса имеет собственную подачу масла от маслосистемы агрегата. Также муфта имеет кожух состоящий из двух половин, в который сливается масло из муфты. Стык кожуха уплотнен резиновыми маслостойкими кольцами.

Смазка из подшипников и зубчатой муфты подвергается механической очистке на фильтрах, потом охлаждается и поступает в маслобак, откуда насосом опять подается на подшипники и муфту [3].

2 Система автоматического управления, регулирования и защиты турбопривода питательного насоса

САУРиЗ обеспечивает контроль и участвует в управлении работой ПТН в следующих эксплуатационных режимах [4]:

- 1) проверка предпусковой готовности;
- 2) пуск ПТН;

- 3) вывод ПТН на рабочие обороты;
- 4) ввод в сеть питательного насоса;
- 5) режим нормальной эксплуатации;
- 6) перевод ПТН в режим холостого хода при отключении насоса от сети питательного трубопровода (режим рециркуляции);
- 7) режим останова (как нормального, так и аварийного).

2.1 Обеспечение надежности действия тепловых защит

Повреждённое тепловое оборудование по причине аварии и последствия связанные с аварией наносят большие убытки в связи с простоями. В то же время замена систем тепловых защит (ТЗ) действиями операторов в аварийных ситуациях невозможна. Поэтому системы ТЗ должны быть более надежны, чем информационные подсистемы и САУРиЗ.

Надежность ТЗ определяют как числом отказов в срабатывании, так и количеством ложных срабатываний. Под ложным срабатыванием понимают отказ какого-либо элемента системы ТЗ, например отказ типа короткого замыкания в электрической схеме, приводящий к срабатыванию системы в целом. Мерой надежности систем защит служит среднее время наработки на один отказ (ложное срабатывание):

$$t_{TЗ} = \sum_{i=1}^n t_i \ln , \quad (1)$$

где: t_i – время i -й наработки между отказами;

n – число отказов.

2.2 Структура систем защит и блокировок

Ложное действие или отказ (несрабатывание) системы ТЗ определяется не только надежностью входящих в нее технических устройств (приборов, аппаратуры, соединительных линий и т.д.), но во многом зависит от видов логических функций, реакций системы в целом. На выбор логических

функций оказывают влияние те последствия, к которым могут привести отказы ТЗ.

1) Логическая функция «один из одного».

При использовании одного датчика его отказ определяет отказ системы в целом, а каждое ложное действие контактного устройства сопровождается ложным действием. Поэтому система ТЗ с одним датчиком предусматривается только для защит, в которых используются специальные высоконадежные приборы.

2) Логическая функция «один из двух».

Два датчика с одинаковыми уставками контакта, которые включены в параллели друг с другом в соответствии с логической функцией «ИЛИ» применяется в тех случаях, когда тепловое оборудование требует повышения надежности, действия защиты или отсутствие отказов в своей работе. А ложные срабатывания ТЗ либо маловероятны, либо не ведут к тяжелым последствиям в открытии клапанов при повышении давления пара на выходе котла либо других объектов работающих под давлением. Данная схема изображена на рисунке 4.

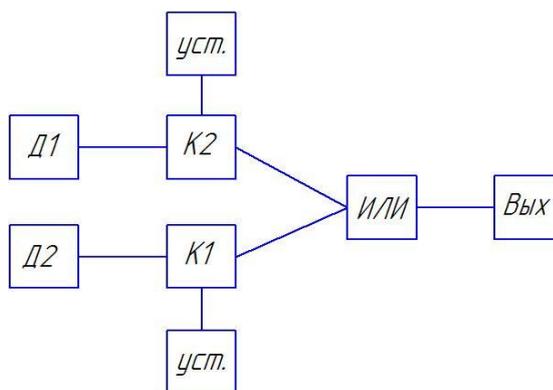


Рисунок 4 – Схема логической функции «один из двух»

3) Логическая функция «два из двух».

Два датчика с одинаковыми уставками контакта, которые соединены по схеме «И» применяют в системах защиты для уменьшения вероятности их ложного срабатывания. Случай, когда защита воздействует на снижение

нагрузки или приводит к останову оси оборудования, а при этом датчики не обладают достаточной надежностью. Данная схема изображена на рисунке 5.

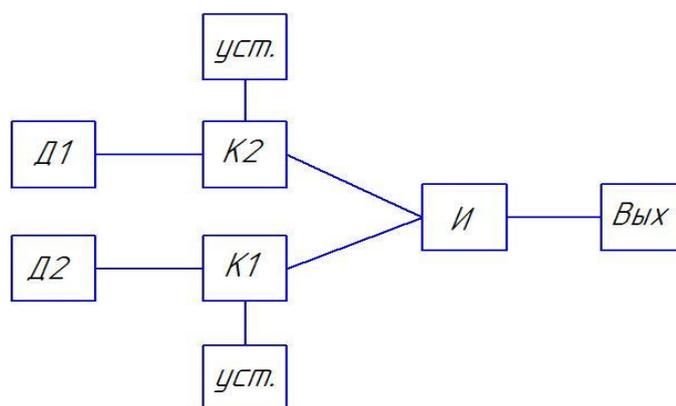


Рисунок 5 – Схема логической функции «два из двух»

4) Два датчика с разными уставками. Оба контактных устройства включаются последовательно по схеме «И». Применяется в двухступенчатой системе технической защиты. При этом контактное устройство первого прибора настраивают на срабатывание при достижении параметром первой аварийной уставки, при которой осуществляют локальную операцию, а контактное устройство второго порядка настраивают на вторую аварийную уставку, превышающую первую, тогда защита не остановится, будет срабатывать только при замыкании общих контактов.

5) Три датчика с одинаковыми уставками контакта, которые соединены последовательно – параллельно и реализуют логическую функцию два из трех. Система в целом позволяет повысить надежность действия защиты по сравнению с вариантами, реализующими функции «И» и «ИЛИ», но требует большее количество приборов, вследствие повышается объем профилактических и восстановительных работ. Данную схему защиты применяют в высокоответственных системах технической защиты, таких как осевой сдвиг ротора турбины. Данная схема изображена на рисунке 6.

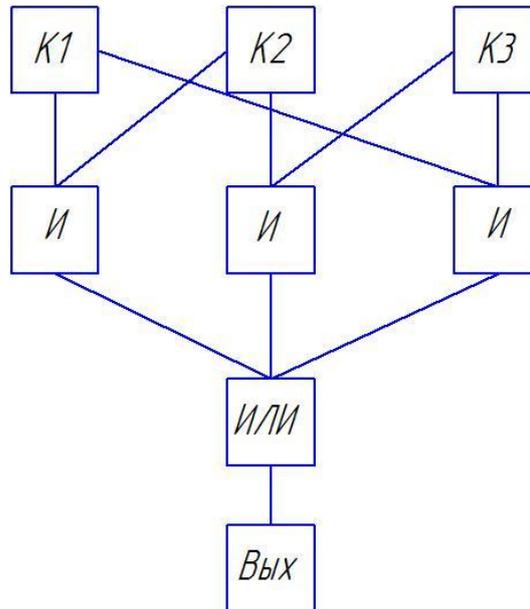


Рисунок 6 – Схема логической функции «два из трех»

Надежность систем ТЗ должна быть определяющим фактором при их проектировании. Однако безотчетное стремление повысить надежность ТЗ с помощью синтеза сложных логических функций может привести к противоречивым результатам.

Надежность элементов защиты приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Надежность элементов защиты

Наименование логической функции	Вероятность безотказной работы	
	отказ в срабатывании	ложное срабатывание
один из одного	0,9	0,9
два из двух	0,81	0,99
один из двух	0,99	0,81
два из трех	0,997	0,97

Для подачи питательной воды в ПГ используются электро- и турбонасосы. Аварийная остановка питательных насосов производится как при срабатывании собственных защит насосов, так и при действии общеблочных защит.

Турбонасосы, как правило, используются в мощных энергоблоках. Защиты такого турбоагрегата во многом схожи с защитами турбогенератора. Рассмотрим защиты питательного турбонасоса для парового котла типа ТП – 87.

Тепловые защиты срабатывают в определенных ситуациях, в случае питательного турбонасоса защиты срабатывают при:

- 1) сдвиге оси ротора турбины на ± 1 мм, схема «два из двух»;
- 2) понижении давления питательной воды на всасе насоса до 1,2 МПа с выдержкой времени 2 с, схема «два из трех»;
- 3) повышении частоты вращения вала до 3750 об/мин, схема «два из трех»;
- 4) повышении расхода воды через питательный насос до 4500 м³/ч с выдержкой времени 5 с, схема «два из трех»;
- 5) понижении давления масла на смазку редуктора до 0,03 МПа, схема «два из трех»;
- 6) понижении давления масла на смазку турбины до 0,045 МПа, «два из трех»;
- 7) повышении давления питательной воды после турбонасоса до 40 МПа с выдержкой времени 2 с, схема «два из трех».

Основой САУРиЗ является программно – технический комплекс (ПТК), базирующийся на оборудовании цифровой системы управления.

Структурная схема САУРиЗ, разрабатываемая в выпускной квалификационной работе, представлена на листе ФЮРА.421000.013 С1.

Структурная схема САУРиЗ представляет собой иерархическую структуру, включающую три уровня:

- 1) нижний уровень – расположены исполнительные механизмы и датчики технологических параметров;
- 2) средний уровень – расположена микропроцессорная система управления (контроллер), служащая для выполнения функций сбора,

первичной обработки входных сигналов и логику технологических защит и регулирования;

3) верхний уровень обеспечивает реализацию функций отображения информации и дистанционного управления регулирующими клапанами, задвижками и исполнительными механизмами.

В состав ПТК входят следующие технические средства:

- 1) программируемый контроллер Siemens S7 – 300;
- 2) станции ввода/вывода ET200M;
- 3) модули ввода/вывода;
- 4) специализированные модули контроллера связи (коммуникационные процессоры);
- 5) сетевые средства связи сети Industrial Ethernet (коммутаторы Scalance X208);
- 6) стабилизирующие блоки питания 220/24 В;
- 7) модули резервирования блоков питания;
- 8) стандартный кабель для Profibus;
- 9) стандартный ИТР кабель для Industrial Ethernet.

3 Разработка функциональной схемы

Функциональные схемы являются основным техническим документом, определяющим функционально – блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации [7].

При разработке функциональных схем автоматизации технологических процессов необходимо решить следующие задачи:

- 1) составить перечень контролируемых параметров технологического процесса и технологического оборудования;
- 2) на технологической схеме объекта автоматизации определить местоположение точек отбора измерительной информации;
- 3) определить предельные рабочие значения контролируемых параметров;
- 4) выбрать структуру измерительных каналов;
- 5) выбрать методы и технологические средства получения, преобразования, передачи измеряемой информации;
- 6) решить вопросы размещения технических средств автоматизации на технологическом оборудовании, трубопроводах, по месту и на щитах;
- 7) согласовать параметры измерительных каналов и ИВК.

В процессе разработки функциональной схемы и выбора технических средств необходимо учитывать особенности технологического процесса, условия пожаро- и взрывоопасности, агрессивности и токсичности окружающей среды, параметры и физико-химические свойства технологических сред, расстояние от мест установки датчиков «отбора», приемных устройств до постов контроля, требуемую точность и быстродействие средств автоматизации.

Для данной проектируемой САУРиЗ регулируемой величиной является расход питательной воды. Контролируемые величины – давление питательной воды на всасе насоса, давление масла на смазку редуктора,

давление масла на смазку турбины, давление питательной воды после турбонасоса, сдвиг оси ротора турбины и частоту вращения вала. Значения соответствующих параметров технологического процесса приведены в таблице 3.

Таблица 3- Перечень контролируемых параметров

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1	Давление питательной воды на всасе насоса	1,5 МПа
2	Давление питательной воды после турбонасоса	35,1 МПа
3	Давление масла на смазку турбины	0,4 МПа
4	Давление масла на смазку редуктора	0,4 МПа
5	Расход воды через питательный насос	500 м ³ /час
6	Сдвиг оси ротора турбины	± 1 мм
7	Частота вращения вала	2985 об/мин

Функциональная схема САУРиЗ, разрабатываемая в выпускной квалификационной работе, представлена на листе ФЮРА.421000.013 С2.

Измерение расхода питательной воды производится методом переменного перепада давления. В трубопровод монтируется сужающее устройство. На сужающем устройстве создается перепад давлений. Далее, по измерительному каналу сигнал поступает на преобразователи разности давлений – позиции 13в, 14в, 15в.

Сигналы с преобразователя подаются на контроллер Siemens S7- 300, который расположен в щите управления.

На функциональной схеме САУРиЗ выделены измерительные каналы (1 – 20) и каналы управления (21 – 24). Измерительные каналы реализуют фиксирование и преобразование значений технологических параметров, таких как расход воды и измерение давления в трубопроводе.

Также на схеме изображаются контролируемые параметры, такие как:

- 1) давление питательной воды на всасе насоса;
- 2) давление питательной воды после турбонасоса;
- 3) давление масла на смазку турбины;
- 4) давление масла на смазку редуктора;
- 5) сдвиг оси ротора турбины;
- б) частота вращения вала.

Перечисленные выше давления контролируются датчиками избыточного давления Метран – 55 – ДИ, которые в свою очередь различаются диапазоном измерения от 0 до 40 МПа в зависимости от контролируемой величины.

Все датчики избыточного давления располагаются по месту и монтируются в питательный трубопровод и масляной трубопровод.

С измерительных преобразователей унифицированный токовый выходной сигнал поступает на микропроцессорный контроллер SIMATIC S7 – 300, который расположен на щите управления.

Сдвиг оси ротора турбины контролируется преобразователем относительных перемещений ВК – 3160С, который монтируется по месту. С преобразователя унифицированный сигнал поступает на контроллер.

Частота вращения вала контролируется дифференциальным датчиком числа оборотов немецкой фирмы «BRAUN» Series A5S05B50, выходной сигнал которого импульсный с частотой 15 кГц. Импульсный сигнал с датчика поступает на модуль скоростного счета на контроллере SIMATIC S7 – 300.

Каналы управления (21 – 24) реализующие как автоматическое, так и ручное управление расходом питательной воды. Микропроцессорный контроллер собирает информацию с каналов (13 – 15) и вырабатывает сигнал управления исполнительным механизмом (21а – 24а).

4 Выбор технических средств автоматизации и составление заказной спецификации

Заказная спецификация – это техническая документация, в которой отражены все необходимые сведения о приборах и средствах автоматизации питательного турбонасоса [6].

Спецификация предназначена для составления на ее основе заказа на средства измерения, а так же для облегчения чтения проектной документации.

4.1 Выбор приборов измерения расхода

Расход питательной воды в измерительном канале (13 – 15) измеряют методом переменного перепада давления. В трубопровод монтируется сужающее устройство: диафрагма на воду, сопло на пар. По разности давления до и после СУ определяется расход.

Для вваривания диафрагмы требуется прямолинейный участок трубопровода. В данном случае используется диафрагма типа ДКС – 40 – 400 условное давление 40 МПа, условный диаметр 400 мм. Для исключения гидростатической погрешности при измерении расхода питательной воды устанавливается уравнильный сосуд. Выбирается СУ – 40 – 2 – Б, предельно допустимое давление 40 МПа. Производится анализ преобразователей разницы давлений:

- 1) ДМЭР – МИ – производства ПО «Теплоконтроль» (г. Казань);
- 2) Сапфир – 22 – ДД – производства ЗАО «Манометр» (г. Москва);
- 3) Метран – 150 – АС – производства ПГ «Метран» (г. Челябинск).

Основные характеристики рассматриваемых преобразователей представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные характеристики преобразователей давления

Преобразователи	ДМЭР-МИ	Сапфир-22-ДД	Метран-150-АС
	Характеристики		
Класс точности	1; 1,5	0,5; 0,25	0,5; 0,25
Наработка на отказ	100 000 ч.	150 000 ч.	150 000 ч.
Стоимость	13 000 руб.	16 000 руб.	10 490 руб.

Для рассматриваемой САУРиЗ целесообразнее использовать более точный преобразователь, поэтому ДМЭР – МИ не подходит. Характеристики двух рассмотренных преобразователей Метран – 150 – АС и Сапфир – 22 – ДД идентичны, но имеется значительная разница в цене. Выбирается преобразователь Метран – 150 – АС [13].

4.2 Выбор датчиков избыточного давления

Для измерения давления используются различные приборы, например такие как:

- 1) датчики абсолютного давления, предназначенные для измерения в средах различного характера: газы, жидкости, агрессивные среды;
- 2) датчики избыточного давления, использующиеся в жидких и газообразных средах. Позволяют определить искомые величины в различных средах, включая агрессивные;
- 3) датчики дифференциального давления, являющиеся неотъемлемой частью систем контроля технологическими процессами. Их используют для регулирования и управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности;
- 4) датчики перепада давления, использующиеся для определения изменения расхода жидкостей, газа или пара. Отличаются высокой точностью измерений и позволяют узнать расход с точностью до мельчайших параметров;

5) датчики разности давления часто востребованы на предприятиях энергетической отрасли. Также они используются в качестве контролирующего элемента технологических процессов на заводах различных отраслей промышленности;

б) датчики давления разрежения предназначены для измерения величины вакуумметрического давления жидких и газообразных сред и применяются для контроля уровня показателей в жидких и газообразных средах.

В качестве датчиков избыточного давления с унифицированным выходным сигналом для измерительных каналов (1 – 12) рассматриваются два российских производителя. Для сравнения выбирается два датчика избыточного давления:

- 1) Метран – 55 – ДИ – производства ПГ «Метран» (г. Челябинск);
- 2) ОВЕН ПД200-ДИ – производства ОАО «ОВЕН» (г. Москва).

Основные характеристики сравниваемых датчиков избыточного давления приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные характеристики датчиков давления

Преобразователи	ОВЕН ПД200-ДИ	Метран-55-ДИ
	Характеристики	
Класс точности	0,1	0,15; 0,25
Наработка на отказ	500 000 ч.	150 000 ч
Стоимость	30 857 руб.	7 835 руб.

Оба датчика предназначены для работы в различных промышленных отраслях, системах автоматизации, регулирования и управления технологическими процессами. Обеспечивают непрерывное преобразование избыточного давления в унифицированный токовый выходной сигнал.

Сравнивая выбранные преобразователи можно сделать вывод, что ОВЕН ПД 200 – ДИ более точен и наработка на отказ намного выше, чем у Метран – 55 – ДИ. Для контроля таких величин как: давление питательной

воды на всасе насоса, давление масла на смазку редуктора и давление масла на смазку турбины не требуется настолько точный датчик.

В итоге выбирается преобразователь Метран – 55 – ДИ, так как он намного дешевле и оптимален для измеряемых величин [12].

4.3 Выбор преобразователей относительных перемещений

В качестве преобразователя относительных перемещений в данной работе (сдвиг оси ротора турбины с унифицированным токовым выходным сигналом для измерительных каналов 16, 17) рассматриваются три отечественных производителя. Для сравнения выбирается три преобразователя относительных перемещений:

- 1) ИП – 107 – производства ООО НПП «ЭЛЕКСИР» (г. Ростов – на – Дону);
- 2) ВК – 316ОС.04 – производства ООО «ВиКонт» (г. Москва);
- 3) D210 – V – производства ООО «ГлобалТест» (г. Саров).

Основные характеристики выбранных датчиков приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Основные характеристики датчиков перемещений

Преобразователи	ИП – 107	ВК-316ОС.04	D210-V
	Характеристики		
Погрешность измерения	0,25; 0,5%	0,25%	0,25%
Средний срок службы	10 лет	12 лет	9 лет
Диапазон измерения	± 2 мм	±2; ±2,5 мм	0,2 – 3,2 мм
Цена	28000 р.	25000 р.	30000 р.

Все рассмотренные вихретоковые преобразователи относительных перемещений предназначены для преобразования относительной величины сдвига оси ротора турбины в унифицированный выходной сигнал постоянного тока 4...20 мА [14].

Выбирая из сравниваемых преобразователей можно заметить, что у всех трех датчиков не сильно отличаются основные характеристики. D210-V

не подходит, так как он не имеет отрицательного диапазона измерения. Характеристики и цена других двух рассмотренных вихретоковых преобразователей ИП – 107 и ВК – 316ОС.04 отличаются лишь средним сроком службы. Основываясь на этом, выбирается преобразователь ВК – 316ОС.04.

4.4 Выбор датчиков измерения частоты вращения ротора турбины

Для измерения частоты вращения ротора турбины питательного турбонасоса выбирается дифференциальный датчик на эффекте Холла (Hall-effect) серии А5S05В50 немецкой фирмы «BRAUN», так как выбранный датчик пользуется большим спросом на рынке преобразователей для измерения оборотов механических агрегатов [15].

Дифференциальный принцип действия датчика позволяет исключить возможное влияние магнитных полей или вибрации механизма. Корпус выполнен из нержавеющей стали. Рабочий температурный диапазон преобразователя $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +125\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.5 Выбор регулирующего устройства

При выборе микропроцессорных контроллеров в качестве регулирующего устройства были проанализированы несколько моделей контроллеров и программно – технических средств, таких как программно-технический комплекс ТПТС – ЕНМ, микропроцессорные контроллеры Ремиконт Р – 130ISa и SIMATIC S7 – 300. Предел допускаемой основной приведенной погрешности измерения входного параметра и формирования выходного параметра составляют 0,2; 0,4; 0,1 % соответственно. Нарботки на отказ составляют – 235800, 138000, 250000 часов соответственно. В результате анализа технических характеристик контроллеров выбираем в качестве регулирующего устройства SIMATIC S7 – 300, так как его предел допускаемой приведенной погрешности меньше, чем у Ремиконт Р – 130 ISa и программно-технического комплекса ТПТС – ЕНМ, а наработка на отказ

больше чем у остальных устройств. Также он обеспечивает качественное регулирование, обладает хорошей сейсмоустойчивостью, что является одним из главных показателей при выборе технических средств, отвечающих за безопасное и надежное функционирование оборудования электростанции.

Рассматривая же со стороны ценовых характеристик, можно сказать, что ПТК ТПТС – ЕНМ и Siemens незначительно отличаются в стоимости.

Был проведен расчет показателей надежности внедряемого контроллера. Краткие сведения о назначении и принципах работы контроллера SIMATIC S7 – 300 приведены ниже.

SIMATIC S7 – 300 предназначен для построения систем телемеханики, автоматизации, диспетчеризации и телекоммуникаций или подсистем в составе АСУ ТП ТЭЦ.

По степени надёжности SIMATIC S7 – 300 относится к группе 1 в соответствии с ГОСТ 26.205. По работоспособности к изделиям вида 2 по ГОСТ 27.003. Контроллер рассчитан на работу в непрерывном режиме круглосуточно в течение установленного срока службы.

Исходными данными для расчета являются:

- 1) конструкторская и техническая документация на контроллер;
- 2) стандарты и спецификации на комплектующие блоки, элементы и материалы.

В течение срока службы распределение времени наработки на отказ SIMATIC S7 – 300 – экспоненциальное. Исследуемый процесс возникновения отказов приборов и модулей – марковский, поток возникновения отказов приборов – простейший, т.е. поток отказов, удовлетворяющий условиям стационарности, отсутствия последствия и ординарности. Стационарный поток событий характеризуется постоянным относительным числом отказов в единичном интервале времени. Ординарный поток событий имеет место, когда вероятность появления двух и более отказов в единичном интервале времени пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью появления одного отказа. Понятие отсутствия

последствия означает, что вероятность появления отказов в единичном интервале времени не зависит от возникновения отказов во всех других непересекающихся интервалах времени, т.е. отказы возникают независимо друг от друга. Для простейшего потока возникновения отказов интенсивность отказов постоянна.

Средняя наработка на отказ SIMATIC S7 – 300 является математическим ожиданием наработки на отказ и для экспоненциального закона распределения рассчитывается по формуле:

$$T_{cp} = 1 / \lambda_{\Sigma}, \quad (2)$$

где: λ_{Σ} - суммарная интенсивность отказов SIMATIC S7 – 300.

Структурная схема надежности SIMATIC S7 – 300 представляет собой последовательное соединение комплектующих, λ_{Σ} рассчитывается на основании конструкторской документации по формуле:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum \lambda_{Ki}, \quad (3)$$

где: Ki – интенсивность отказов i -го комплектующего SIMATIC S7-300.

В состав контроллера SIMATIC S7 – 300 входят следующие основные комплектующие:

1) блок питания;

Интенсивность отказа блока питания рассчитывается как сумма интенсивностей отказов входящих в него элементов. Кроме того, в соответствии со спецификацией производителя ООО «Siemens» γ - процентная наработка на отказ (при $\gamma = 95$ %) для блока питания SITOP PSU100M 24/20A составляет 250000 часов.

2) коммутатор Ethernet Scalance X208;

Интенсивность отказа коммутатора рассчитывается как сумма интенсивностей отказов входящих в него элементов. Кроме того, в соответствии со спецификацией производителя ООО «Siemens» γ - процентная наработка на отказ (при $\gamma = 95$ %) для коммутатора

6GK5208-0BA10-2AA3 составляет 25,56 года, что соответствует 316000 часов.

3) модули обработки аналоговых сигналов;

Интенсивность отказа модулей обработки аналоговых сигналов рассчитывается как сумма интенсивностей отказов входящих в них элементов. Кроме того, в соответствии со спецификацией производителя ООО «Siemens», норма средней наработки на отказ для модулей обработки аналоговых сигналов 6ES7331-3BA21 составляет более 150000 часов.

4) модуль скоростного счета;

Интенсивность отказа модуля скоростного счета рассчитывается как сумма интенсивностей отказов входящих в них элементов. Кроме того, в соответствии со спецификацией производителя ООО «Siemens», норма средней наработки на отказ для модулей скоростного счета 6ES7350-2AN01-0AE0 составляет более 150000 часов.

5) модульная станция систем распределенного ввода-вывода;

Интенсивность отказа модульной станции распределенного ввода-вывода рассчитывается как сумма интенсивностей отказов входящих в них элементов. Кроме того, в соответствии со спецификацией производителя ООО «Siemens», норма средней наработки на отказ для модулей скоростного счета IM153-2HF составляет более 150000 часов.

6) фронтальный модуль FEM;

Интенсивность отказа автономного модуля для обработки входных/выходных аналоговых и дискретных сигналов рассчитывается как сумма интенсивностей отказов входящих в них элементов. Кроме того, в соответствии со спецификацией производителя ООО «Siemens», норма средней наработки на отказ для автономного модуля для обработки входных/выходных аналоговых и дискретных сигналов 6DL3100-8AC02 составляет не менее 200000 часов.

7) центральный процессор.

Центральные процессоры CPU оснащены набором встроенных входов и выходов, а их операционная система дополнена поддержкой технологических функций, что позволяет использовать в качестве готовых блоков управления.

Типовой набор встроенных технологических функций позволяет решать задачи скоростного счета, измерения частоты или длительности периода, П, И, ПИ-регулирования, позиционирования, перевода части дискретных выходов в импульсный режим. Все центральные процессоры S7 – 300 оснащены встроенным интерфейсом MPI, который используется для программирования, диагностики и построения простейших сетевых структур [9].

Интенсивность отказа центрального процессора рассчитывается как сумма интенсивностей отказов входящих в них элементов. Кроме того, в соответствии со спецификацией производителя ООО «Siemens», норма средней наработки на отказ для модулей скоростного счета CPU – 314 составляет более 150000 часов.

Так как гамма – процентная наработка до отказа равна $t_{Ki\gamma}$ часов при $\gamma = 95 \%$, λ_{Ki} – интенсивность отказов i -го комплектующего прибор элемента рассчитывается по формуле:

$$\lambda_{Ki} = \frac{-\ln(\gamma)}{t_{Ki\gamma}}. \quad (4)$$

Перечень комплектующих SIMATIC S7 – 300 и их рассчитанные значения интенсивностей отказов в соответствии с формулой (3) приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Значения интенсивностей отказов комплектующих

№	Функциональное назначение	Типономинал комплектующего элемента	Кол - во, шт.	Гамма-процентная наработка до отказа ($\gamma=95\%$), часов	Рассчитанная интенсивность отказов для 1 шт., 10^{-7} час ⁻¹
1	2	3	4	5	6
1	Блок питания	SITOP PSU100M	1	250000	2,052
2	Коммутатор Ethernet Scalance X208	6GK5208-0BA10-2AA3	2	250000	2,052
3	Модули обработки аналоговых сигналов	6ES7331-3BA21	5	150000	3,42
4	Модуль скоростного счета	6ES7350-2AH01-0AE0	1	150000	3,42
5	Фронтальный модуль FEM	6DL3100-8AC02	4	150000	3,42
6	Модульная станция систем распределенного ввода-вывода	IM153-2HF	2	150000	3,42
7	Центральный процессор	CPU 314	1	150000	3,42

Суммарная интенсивность отказов комплектующих SIMATIC S7 – 300 в соответствии с формулой (3) составляет $50,616 \cdot 10^{-7}$ час⁻¹. Рассчитанная в соответствии с формулой (2) средняя наработка на отказ SIMATIC S7 – 300 составляет 197566 часов, что составляет примерно 22,5 лет. Полученная по результатам расчета средняя наработка на отказ SIMATIC S7 – 300 подтверждает и превышает требуемые среднюю наработку на отказ 150 000 часов и срок службы 17,4 лет.

В качестве регулирующего устройства выбирается контроллер для автоматизации локальных систем Siemens SIMATIC S7 – 300. В таблице 8 приведены общие технические характеристики контроллера [11].

Таблица 8 – Общие технические данные контроллера

Программируемый контроллер	SIMATIC S7-300
1	2
Испытательное напряжение изоляции цепей U_e по отношению к другим цепям и земле: <ul style="list-style-type: none"> • $0 < U_e \leq 50$ В; • $50 < U_e \leq 100$ В; • $100 < U_e \leq 150$ В; • $150 < U_e \leq 300$ В; 	350 В; 700 В; 1300 В; 2200 В;
Класс безопасности:	I по IEC 60536;
Степень защиты:	IP 20 по IEC 60529;
Предел допускаемой основной приведенной погрешности, %	0,1
Условия эксплуатации: <ul style="list-style-type: none"> • синусоидальные вибрационные воздействия по IEC 60068-2-6; • ударные воздействия по IEC 60068-2-29; • температурный диапазон; • относительная влажность при +25 °С; • атмосферное давление. 	<ul style="list-style-type: none"> • 10...58 Гц с постоянной амплитудой 0,075 мм; • 58 ... 500 Гц с постоянным ускорением 9,8 м/с²; • 10 g, 6 мс, 100 ударов • 0 ... + 60 °С; • до 95 %, без конденсата; • 1080 ... 860 гПа (-1000 ... 1500 м над уровнем моря).
Входное напряжение, В	=24
Выходное напряжение, В	=5,1 / =24
Защита от короткого замыкания	есть
Время выполнения логических операций, мкс	0,03
Языки программирования	STEP 7 (LAD, FBD, STL), S7-SCL, S7-GRAPH, S7- HiGraph, CFC

4.6 Выбор исполнительных механизмов

Самыми распространенными исполнительными механизмами в нашей стране являются продукция ОАО «ЗЭиМ». Исполнительный механизм выбирается исходя из вида регулирующего органа и крутящего момента. В качестве исполнительного механизма для каналов управления (21, 22) выбран механизм электрический однооборотный фланцевый – МЭОФ.

Максимальный крутящий момент МЭОФ:

$$M_{\max} = 6,89 \cdot D_y - 338; \quad (5)$$

$$M_{\max} = 6,89 \cdot 400 - 338 = 2418 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где: D_y – условный диаметр трубопровода, мм.

При выборе МЭОФ должно выполняться условие: $M_H > M_{\max}$,

где: M_H – номинальный крутящий момент на выходном валу исполнительного механизма, Н · м.

Исходя из полученного значения максимального крутящего момента, выбирается исполнительный механизм типа МЭОФ–2500/63–0,25У – 00, ОАО «ЗЭиМ» г. Чебоксары. Номинальное время полного хода – 63 с. [16].

Для каналов управления (23, 24) выбран механизм электрический однооборотный – МЭО.

Максимальный крутящий момент МЭО:

$$M_{\max} = 6,89 \cdot D_y - 338;$$

$$M_{\max} = 6,89 \cdot 70 - 338 = 145 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Исходя из полученного значения максимального крутящего момента выбирается исполнительный механизм типа МЭО–250/10–0,25У – 00, ОАО «ЗЭиМ» г. Чебоксары. Номинальное время полного хода – 10 с. [17].

В качестве пусковой аппаратуры исполнительных механизмов выбран многофункциональный пускатель бесконтактный реверсивный БСТ – 12Р/380 – 32, производитель ООО «НПФ Битек», г. Екатеринбург [18].

Результаты выбора технических средств автоматизации представлены в заказной спецификации (приложение А).

5 Проектирование принципиальной схемы САУРиЗ

Принципиальная электрическая схема определяет полный состав технических средств, аппаратов и устройств, а также связей между ними, действие которых обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации [4].

В ходе разработки проекта автоматизации системы, процесс проектировки принципиальной схема осуществляется по следующим пунктам:

1) на основании разработанной функциональной схемы автоматизации составляют определенные технические требования, критерии, которые предъявляют к принципиальной электрической схеме;

2) непосредственно для этих критериев устанавливают некие условия и последовательные действия схемы;

3) в соответствии с составленной на предыдущем этапе заказной спецификацией приборов и средств автоматизации на принципиальной схеме располагают технические средства автоматизации;

4) следующий пункт – объединение технических средств и цепей в единую общую схему;

5) производится процесс правки и корректировки схемы для соответствия ее с возможностями расположенной аппаратуры;

6) на данном этапе производят процесс проверки схемы на возникновение ложных или лишних обходных цепей, неправильность работы схемы при возможных повреждениях элементарных цепей либо контактов;

7) заключительный этап, необходимый для нахождения возможных вариантов решения и принятия окончательной схемы.

Принципиальная электрическая схема САУРиЗ питательного турбонасоса представлена на листе ФЮРА.421000.013 ЭЗ.

При выполнении схемы используются развернутые изображения элементов технических средств. Расположение графического текстового материала выбрано для облегчения чтения этого чертежа. Принципиальная

электрическая схема выполнена с применением условных графических изображений [5].

Линии связи состоят только из горизонтальных и вертикальных отрезков и имеют минимальное число взаимных пересечений. Расстояние между соседними параллельными линиями не менее 5 мм.

Принципиальная схема включает в себя изображения всех электрических элементов или устройств, необходимых для осуществления контроля параметра технологического процесса, также все электрические связи между ними и электрические элементы (соединители, зажимы и т.п.), которыми заканчивают входные и выходные цепи.

Получение информации о контролируемых параметрах технологического процесса происходит при помощи измерительных преобразователей. С выходов преобразователей поступает унифицированный токовый сигнал 4...20 мА на вход микропроцессорного контроллера типа Siemens S7-300, где преобразуется в управляющий сигнал.

Сигнал исполнительного механизма усиливается пусковым устройством типа БСТ – 12Р и поступает на обмотку исполнительных механизмов типа МЭОФ – 2500/63 – 0,25У – 00 и МЭО – 250/10 – 0,25У – 00, вследствие чего вал исполнительного механизма приходит в движение, изменяя положение РО.

Обозначение устройств на принципиальной электрической схеме следующее:

A1 - контроллер для автоматизации локальных систем Siemens S7 – 300;

A2 - измерительный преобразователь типа Метран – 55 – ДИ;

A3 - измерительный преобразователь типа Метран – 55 – ДИ;

A4 - измерительный преобразователь типа Метран – 55 – ДИ;

A5 - измерительный преобразователь типа Метран – 55 – ДИ;

A6 - измерительный преобразователь типа Метран – 55 – ДИ;

A7 - измерительный преобразователь типа Метран – 55 – ДИ;

A8 - измерительный преобразователь типа Метран – 55 – ДИ;

- A9 - измерительный преобразователь типа Метран – 55 – ДИ;
- A10 - измерительный преобразователь типа Метран – 55 – ДИ;
- A11 - измерительный преобразователь типа Метран – 55 – ДИ;
- A12 - измерительный преобразователь типа Метран – 55 – ДИ;
- A13 - измерительный преобразователь типа Метран-55-ДИ;
- A14 - измерительный преобразователь типа Метран – 150 – АС;
- A15 - измерительный преобразователь типа Метран – 150 – АС;
- A16 - измерительный преобразователь типа Метран – 150 – АС;
- A17 - измерительный преобразователь перемещений типа ВК – 316ОС.04;
- A18 - измерительный преобразователь перемещений типа ВК – 316ОС.04;
- A19 - дифференциальный датчик числа оборотов типа Series A5S05B50;
- A20 - дифференциальный датчик числа оборотов типа Series A5S05B50;
- A21 - дифференциальный датчик числа оборотов типа Series A5S05B50;
- A22 – многофункциональный реверсивный пускатель БСТ – 12Р;
- A23 - исполнительный механизм типа МЭОФ – 2500/63 – 0,25У – 00;
- A24 – многофункциональный реверсивный пускатель БСТ – 12Р;
- A25 - исполнительный механизм типа МЭОФ – 2500/63 – 0,25У – 00;
- A26 – многофункциональный реверсивный пускатель БСТ – 12Р;
- A27 - исполнительный механизм типа МЭО – 250/10 – 0,25У – 00;
- A28 – многофункциональный реверсивный пускатель БСТ – 12Р;
- A29 - исполнительный механизм типа МЭО – 250/10 – 0,25У – 00.

6 Проектирование монтажной схемы САУРиЗ

Проектирование монтажной схемы производится в два этапа. На первом этапе разрабатывается схема подключения внешних проводок.

Схема подключений внешних проводок – это комбинированная схема электрических и трубных связей между техническими средствами автоматизации, установленных на технологическом оборудовании, вне щитов и на щитах [10].

В верхней части чертежа изображается таблица, содержащая:

- наименование измеряемых параметров (расход);
- наименование измеряемых сред (питательная вода);
- наименование места отбора информационного сигнала (питательный трубопровод);
- наименование контролируемых параметров (давление, частота вращения и сдвиг оси ротора турбины);
- наименование контролируемых сред (вода, масло);
- наименование места отбора информационного сигнала (питательный трубопровод, масляной патрубков и непосредственно сама турбина);
- позиции ТСА, присвоенные им в соответствии с функциональной схемой.

Под таблицей располагаются технические средства, установленные непосредственно на технологическом оборудовании и трубопроводе. Измерительные преобразователи Метран – 150 – АС, Метран – 55 – ДИ, ВК – 316ОС.04, Series А5S05B50, исполнительные механизмы МЭОФ – 2500/63 – 0,25У – 00, МЭО – 250/10 – 0,25У – 00 и пускатели БСТ – 12Р представлены в виде условных обозначений (прямоугольников), в которых указаны номера зажимов и подключенных к ним жил кабеля. В нижней части чертежа условно изображен щит автоматизации в виде прямоугольника, внутри которого показана колодка зажимов, и подключения к ним жил проводов и кабелей.

На втором этапе рассматривается монтажная схема электрических проводок щита. Технические средства изображаются упрощенно в виде прямоугольников. Над техническими средствами располагаются окружности, разделенные пополам горизонтальной линией. Над этой чертой указывается порядковый номер, а под чертой позиция согласно функциональной схеме или позиционное обозначение. В правой части чертежа изображаются сборки зажимов. Над линиями, подводимыми к зажимам, указывается маркировка участков цепи согласно принципиальной электрической схеме [8].

Монтажная схема щита системы автоматического управления, регулирования и защиты питательного турбонососа представлена на листе ФЮРА.421000.013 С4.

7 Выбор кабелей, проводов и защитных труб

Электрические проводки системы автоматизации выполняются кабелями и изолированными проводами следующими способами:

- в стальных коробах с открываемыми крышками;
- в стальных и пластмассовых защитных трубах;
- на кабельных конструкциях.

Для прокладки электропроводки кабелями выбирается способ прокладки – в металлических защитных трубах.

Далее производится выбор марки кабелей для электропроводки САУРиЗ питательного турбонасоса. Для линий питания 220 В выбираются кабели с алюминиевыми жилами типа АКВВГ и площадью сечения жилы 2,5 мм².

В качестве информационных линий, соединяющих измерительные преобразователи с контроллером, выбираются кабели типа КВВГ площадью сечения 1,0 мм².

Характеристики выбранных проводов и кабелей представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Характеристики кабелей электропроводки САУРиЗ

№ линии	Марка	Число жил	Номинальное сечение, мм ²	Наружный диаметр кабеля, мм
1 – 39 (нечетные), 49, 50, 51, 52	АКВВГ	3	2,5	9,7
41, 42, 43, 44	АКВВГ	4	2,5	10,2
2 – 40 (четные), 57, 58, 59, 60	КВВГ	3	1,0	7,5
53, 54, 55, 56	КВВГ	4	1,0	8,0
45, 46, 47, 48	КВВГ	7	1,0	10,0

В качестве защитных труб выбраны стальные водогазопроводные трубы ГОСТ 3262 – 75 легкого исполнения. Для определения внутреннего диаметра защитной трубы использовалась формула:

$$D_{\text{вн}} \geq k \cdot d_{\text{каб.нар}}, \quad (6)$$

где: $D_{\text{вн}}$ - внутренний диаметр защитной трубы;

k - коэффициент, зависящий от количества прокладываемых в трубу проводов:

$k = 1,4$ для одного провода;

$d_{\text{каб.нар}}$ - наружный диаметр провода.

Выбор защитных труб представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Характеристики защитных труб

Номер линии	Наружный диаметр провода ($d_{\text{каб.нар}}$), мм	k	$k \cdot d_{\text{каб.нар}}$, мм	Внутренний диаметр трубы, мм	Толщина стенки трубы, мм	Наружный диаметр трубы, мм
1 – 39 (нечетные), 49, 50, 51, 52	9,7	1,4	13,58	15	2,0	20
41, 42, 43, 44	10,2	1,4	14,28	15	2,0	20
2 – 40 (четные), 57, 58, 59, 60	7,5	1,4	10,5	14	2,0	18
53, 54, 55, 56	8,0	1,4	11,5	14	2,0	18
45, 46, 47, 48	10,0	1,4	14	14	2,0	18

Для передачи воздействия контролируемой и регулируемой технологической среды на чувствительные элементы измерительных преобразователей используются импульсные трубные проводки.

Монтажная схема внешних электрических и трубных проводок представлена на листе ФЮРА.421000.013 С4.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б2В	Можевитину Данилу Владимировичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	Автоматизации теплоэнергетических процессов
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>Стоимость затрат на выполнение технического проекта (ТП):</i> - на специальное оборудование; - зарплату; - страховые отчисления; - прочие расходы.	Материальные затраты рассчитываются согласно стоимости оборудования по прайс-листам, либо по договорной цене. Зарботная плата определяется согласно базовому окладу, коэффициенту (учитывающему неотработанное время), районный коэффициент и доплата за ученую степень. Прочие расходы рассчитываются исходя из суммы всей заработной платы исполнителей данного ТП.
<i>Длительность выполнения ТП</i>	Приблизительная длительность выполнения ТП составляет около 60 календарных дней.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>Оценка перспективности выполнения данного ТП с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценку перспективности выполнения ТП можно провести с помощью анализа и оценки ресурсоэффективности.
<i>Планирование и последующее формирования графика работ по выполнению ТП</i>	Для составления графика работ необходимо произвести оценку трудоемкости. Исходя из полученных данных строится график технико-конструкторских работ, который позволит наилучшим образом спланировать сам процесс выполнения ТП.
<i>Выполнение сметной документации</i>	Для выполнения сметной документации по разрабатываемому ТП используем классификацию затрат по следующим статьям: 1) материальные затраты; 2) затраты на оплату заработной платы; 3) социальные отчисления; 4) отчисления на амортизацию основных фондов и нематериальных активов; 5) прочие затраты; 6) накладные расходы.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.02.16
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2В	Можевитин Данил Владимирович		

9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

9.1 Цели и задачи экономической части проекта

Целью экономической части данного проекта является расчёт экономической эффективности модернизации питательного насоса с электроприводом на турбопривод. Для достижения этой цели необходимо решить несколько задач:

1) определить капитальные вложения на разработку проекта по модернизации питательного насоса и его автоматической системы регулирования;

2) определить единовременные капитальные вложения на приобретение средств автоматизации, их монтаж и наладку, определяемые либо по фактическим затратам, либо по проектным сметам;

3) определить тот прирост экономического эффекта, который получает производство от данного внедрения [19].

9.2 Определить капитальные вложения на разработку проекта по модернизации питательного насоса и его автоматической системы регулирования

Для выполнения работ по разработке системы управления, регулирования и защиты питательного турбонасоса с учетом приведенных задач необходим следующий персонал:

- научный руководитель – 1 человек;
- инженер 10 разряда – 1 человек.

Для определения капитальных вложений на разработку системы определим объем и продолжительность необходимых работ. Перечень и сроки выполнения работ приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Перечень работ и их продолжительность по времени

№ п/п	Наименование работ	Количество сотрудников	Разряд	Продолжительность, дни
1	2	3	4	5
1	Подбор и изучение научно – технической литературы	Инженер	10	1
2	Инновационный анализ	Инженер	10	3
3	Обзор и выбор управляющей системы автоматизации	Инженер	10	2
4	Разработка функциональной схемы САУРиЗ	Инженер	10	2
5	Составление заказной спецификации на приборы контроля, защиты	Инженер	10	7
6	Идентификация ТОУ	Инженер	10	4
7	Расчет динамических характеристик элементов системы	Инженер	10	1
8	Разработка электрической схемы соединений	Инженер	10	1
9	Расчёт статических характеристик элементов системы	Инженер	10	1
10	Охрана труда и безопасность жизнедеятельности	Инженер	10	2
11	Технико-экономическое обоснование	Инженер	10	2

1	2	3	4	5
12	Проверка документации	Руководитель	12	3
		Инженер	10	
Графическая часть				
13	Схема функциональная	Инженер	10	2
14	Схема структурная	Инженер	10	2
15	Схема электрическая соединений	Инженер	10	3
16	Схема трубных электрических проводок	Инженер	10	5
17	Схема монтажная электрическая	Инженер	10	5
18	Проверка документации	Руководитель	12	2
		Инженер	10	
Итого:		Руководитель		5
		Инженер		48

Произведем расчёт сметы затрат на разработку проекта, в которую входят следующие элементы [20]:

- материальные затраты;
- затраты на оплату заработной платы;
- социальные отчисления;
- отчисления на амортизацию основных фондов и нематериальных активов;
- прочие затраты;
- накладные расходы.

Стоимость расходных материалов на канцелярские товары приведена в таблице 12 и принимаем ее равной 3000 рублей.

Таблица 12 – Стоимость расходных материалов

Наименование	Цена за ед., руб.	Количество	Суммарная стоимость, руб.
1	2	3	4
Ручка	15	2	30
Бумага	0,5	1 пачка	250
Ластик	5	4	20
Карандаш	45	3	135
Папка для бумаги	15	2	30
Скрепки	60	1 упаковка	40
Программное обеспечение AutoCAD, MS office, Fine Reader, MS Windows 7	500	4	2000
Итого(I_{pm}):			2505

Так как офисная мебель и компьютерная техника используется не весь период ее эксплуатации, рассчитаем отчисления на амортизацию за период использования ее в проекте. Перечень офисной мебели и компьютерной техники приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Перечень офисной мебели и компьютерной техники

Наименование	Цена за ед., руб.	Количество	Суммарная стоимость,
1	2	3	4
Компьютер	20000	2	40000
Принтер	5000	2	10000
Стол	2500	2	5000
Стул	1500	2	3000
Итого:			58000

Амортизация офисного оборудования определяется по формуле [20]:

$$I_{ам} = C_{оф} \cdot H_a \cdot \frac{T_{исп}}{365}, \quad (53)$$

где: $H_a = 1/T_{сл}$ норма амортизации. Из расчета, что средний срок службы офисного оборудования 10 лет, тогда $H_a = 0,1$;

$T_{сл}$ – срок службы основных фондов, лет;

$T_{исп}$ – время использования основных фондов, дней;

$C_{оф}$ – стоимость основных фондов, руб.

$$I_{ам} = 58000 \cdot 0,1 \cdot \frac{48}{365} = 762,74 \text{ руб.}$$

Зарботную плату инженерно-технических работников, участвующих в работе, рассчитаем по формулам [19]:

$$ЗП_u = БО \cdot k_1 \cdot k_2; \quad (54)$$

$$ЗП_{н.р.} = (БО \cdot k_1 + D) \cdot k_2, \quad (55)$$

где: $БО$ – базовый оклад, рублей;

k_1 – коэффициент, учитывающий неотработанное время (отпуск);

k_2 – районный коэффициент;

D – доплата за учёную степень.

Рассчитаем заработную плату для руководителя ($ЗП_{н.р.}$) и инженера ($ЗП_u$) согласно формуле выше:

$$ЗП_{н.р.} = 23265 \cdot 1,1 + 2200 = 27792 \text{ руб.};$$

$$ЗП_u = 14500 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 20735 \text{ руб.}$$

Рассчитаем дневную заработную плату, для расчета заработной платы на выполнение всего проекта:

$$ЗП_{дн} = \frac{ЗП_i}{N}, \text{ руб.}, \quad (56)$$

где: $N = 21$ – количество рабочих дней в месяце.

Дневная заработная плата научного руководителя:

$$ЗП_{дн} = \frac{ЗП_{н.р.}}{21} = \frac{27792}{21} = 1324 \text{ руб.};$$

$$ЗП_{н.р.}^{мес} = ЗП_{дн} \cdot 5 = 1324 \cdot 5 = 6620 \text{ руб.}$$

Дневная заработная плата инженера:

$$ЗП_{\text{дн.}} = \frac{ЗП_{\text{у.}}}{21} = \frac{20735}{21} = 987 \text{ руб.};$$

$$ЗП_{\text{у.}}^{\text{мес}} = ЗП_{\text{дн.}} \cdot 48 = 987 \cdot 48 = 47376 \text{ руб.}$$

Заработную плату участников работы сведем в таблицу 14.

Таблица 14 – Расчет затрат на оплату труда

Исполнители	Дневная заработная плата, руб.	Трудоемкость, дни	Затраты на выполнение всей
1	2	3	4
Руководитель	1324	5	6620
Инженер	987	48	47376
Итого ($I_{\text{зн}}$):			53996

Отчисления на социальные нужды вычислим по формуле [19]:

$$I_{\text{сн}} = 30\% \cdot I_{\text{зн}} = 0,3 \cdot 53996 = 16199 \text{ руб.} \quad (57)$$

Прочие затраты вычислим по формуле:

$$I_{\text{проч}} = 0,1 \cdot (I_{\text{рм}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{знл}} + I_{\text{сн}}); \quad (58)$$

$$I_{\text{проч}} = 0,1 \cdot (10310 + 651 + 53996 + 16199) = 8115 \text{ руб.}$$

Накладные расходы составляют 200 % от фонда заработной платы [19]:

$$I_{\text{нр}} = 2 \cdot (I_{\text{знл}} + I_{\text{сн}}); \quad (59)$$

$$I_{\text{нр}} = 2 \cdot (53996 + 16199) = 140390 \text{ руб.}$$

Затраты на работу (себестоимость работы) [20]:

$$I_{\text{нр}} = I_{\text{зн}} + I_{\text{сн}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{рм}} + I_{\text{нр}} + I_{\text{проч}}; \quad (60)$$

$$I_{\text{сб}} = 53996 + 16199 + 762,74 + 10310 + 140390 + 8115 = 229772 \text{ руб.}$$

На основе проведенных расчетов составим смету затрат на разработку системы автоматизации (таблица 15).

Таблица 15 – Смета затрат на проект

№ п/п	Элементы текущих затрат	Сумма текущих затрат, руб.
1	2	3
1	Материальные затраты	60505
2	Затраты на оплату труда	53996
3	Отчисления на социальные нужды	16199
4	Амортизация основных фондов и нематериальных активов	764,74
5	Прочие затраты	8115
6	Накладные расходы	140390
7	Себестоимость работы	279969,74

9.3 Определение единовременных капитальных вложений на приобретение средств автоматизации и их монтаж

Для определения капитальных вложений на приобретение средств автоматизации составим смету затрат (таблица 16).

Таблица 16 – Смета затрат на систему автоматического управления, регулирования и защит питательного турбонасоса

№ п/п	Наименование	Цена за ед., руб.	Кол-во	Суммарная цена, руб.
1	2	3	4	5
Комплект измерительных датчиков, контроллера, исполнительного механизма				
1	Датчик избыточного давления Метран – 55 – ДИ	7835	12	94020
2	Датчик перепада давлений Метран – 150 – АС	10490	3	31470

Продолжение таблицы 16

1	2	3	4	5
3	Диафрагма камерная ДКС – 40 – 400	1020	1	1020
4	Сосуд уравнильный СУ – 40 – 2 – Б	3445	1	3445
5	Преобразователь относительных перемещений ВК – 316ОС.04	25000	2	50000
6	Дифференциальный датчик числа оборотов Series A5S05B50	37000	3	111000
7	Механизм электроисполнительный однооборотный МЭО – 250/10 – 0,25У – 00	47900	2	95800
8	Механизм электроисполнительный однооборотный фланцевый МЭОФ – 2500 /63 – 0,25У – 00	62000	2	124000
9	Многофункциональный реверсивный бесконтактный пускатель БСТ – 12Р	15000	4	60000
10	Шкаф «Rittal» в сборе	200000	1	200000
Итого:			770 755 рублей	

Издержки на демонтаж, транспортировку, монтаж оборудования составят 20 % от затрат на технические средства [19]:

$$I_{\text{монт}} = 0,2 \cdot I_{\text{тса}} ; \quad (61)$$

$$I_{\text{уп}} = 0,2 \cdot 770755 = 154151 \text{ руб.}$$

9.4 Определение годовых эксплуатационных затрат на обслуживание системы автоматизации

Годовые эксплуатационные затраты [19]:

$$I_{\text{год}} = I_{\text{эл}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{сн}} + I_{\text{рем}} . \quad (62)$$

Издержки на амортизацию [20]:

$$I_{ам} = 0,1 \cdot I_{мса} = 0,1 \cdot 77075,5 = 7707,5 \text{ руб.} \quad (63)$$

Затраты на социальные нужды [20]:

$$I_{сн} = 0,3 \cdot ЗП_{перс} = 0,3 \cdot 53996 = 16198,8 \text{ руб.} \quad (64)$$

Затраты на ремонт составляют 10 % от амортизации [19]:

$$I_{рем} = 0,1 \cdot I_{ам} = 0,1 \cdot 7707,5 = 770,75 \text{ руб.} \quad (65)$$

Затраты на зарплату:

Оклад рабочего составляет 30000 рублей, тогда годовые издержки на зарплату обслуживающему персоналу составят [19]:

$$ЗП_{перс} = 30000 \cdot \kappa_p \cdot n \cdot 12 \cdot 1,1, \quad (66)$$

где: $\kappa_p = 1,3$ – районный коэффициент;

$n = 1$ – обслуживающий персонал данной системы;

$$ЗП_{перс} = 30000 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 12 \cdot 1,1 = 514800 \text{ рублей.}$$

Тогда:

$$I_{зод} = 514800 + 7707,5 + 16199 + 770,75 = 615782 \text{ рублей.}$$

9.5 Расчет экономической эффективности

Расход на собственные нужды до внедрения проекта [19]:

$$\mathcal{E}_{сн}^{э} = \mathcal{E}_{ц.н} + (\mathcal{E}_{пн} + \mathcal{E}_{тд.у} + \mathcal{E}_{тпр} + \mathcal{E}_{гзу} + \mathcal{E}_{пр}) \cdot B_{э.э} / B_г, \quad (67)$$

где: $\mathcal{E}_{ц.н}$ – расход на циркуляционные насосы;

$\mathcal{E}_{пн}$ – на питательные насосы;

$\mathcal{E}_{тд.у}$ – на тягодутьевые устройства;

$\mathcal{E}_{тпр}$ – на топливоприготовление;

$\mathcal{E}_{гзу}$ – на гидрозолоудаление;

$\mathcal{E}_{пр}$ – на прочие нужды;

$B_{э.э}$ – расход условного топлива;

$B_г$ – годовой расход топлива.

Расход на собственные нужды до внедрения проекта:

$$\mathcal{E}_{1сн}^{э} = 186693558 \text{ кВт} / \text{год}.$$

Расход на собственные нужды после внедрения проекта:

$$\mathcal{E}_{2сн}^{э} = 186206500 \text{ кВт} / \text{год}.$$

Тариф на электроэнергию в городе Кемерово составляет 2,93 руб/кВт:

$$\text{до внедрения: } 186693558 \cdot 2,93 = 547012125 \text{ руб} / \text{год};$$

$$\text{после внедрения: } 186206500 \cdot 2,93 = 545585045 \text{ руб} / \text{год}.$$

Экономический эффект от внедрения системы автоматического управления, регулирования и защиты питательного турбонасоса определяется как разность затрат электроэнергии на собственные нужды до и после внедрения новой системы [19]:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{1сн}^{э} - \mathcal{E}_{2сн}^{э}; \quad (68)$$

$$\mathcal{E} = 547012125 - 545585045 = 1427080 \text{ руб/год}.$$

Срок окупаемости для разрабатываемой САУРиЗ находится по формуле [19]:

$$T_{ок} = \frac{I_{сб} + I_{тса} + I_{монт}}{\mathcal{E} - I_{год}}, \quad (69)$$

где: $I_{сб}$ – себестоимость;

$I_{тса}$ – расходы, на приобретение оборудования;

$I_{монт}$ – затраты на монтаж оборудования;

\mathcal{E} – экономический эффект от внедрения системы управления и контроля;

$I_{год}$ – годовые эксплуатационные затраты:

$$T_{ок} = \frac{16199 + 770755 + 154151}{1427080 - 615782} = 1,16 \text{ года}.$$

Вывод: в данном разделе приведено экономическое обоснование разработанной системы автоматического управления, регулирования и защиты питательного турбонасоса Ново-Кемеровской ТЭЦ для питания котлоагрегата и рассчитаны основные показатели, характеризующие эффективность денежных вложений в систему.