

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЫТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

УДК 621.311.2:621.184.64

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7А	Безбородова Василина Валерьевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	О.Ю. Ромашова	К.Т.Н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	В.Н. Мартышев			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Клемашева Елена Игоревна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Теплоэнергетика и теплотехника, доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	А.М. Антонова	К.Т.Н.		

**Планируемые результаты выпускника освоения образовательной программы
бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Код компетенции	Наименование компетенции
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 и иностранном (-ых) языке
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 использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-2	Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения

	основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность участвовать в сборе и анализе исходных данных для проектирования энергообъектов и их элементов в соответствии с нормативной документацией
ПК(У)-2	Способность проводить расчеты по типовым методикам, проектировать технологическое оборудование с использованием стандартных средств автоматизации проектирования в соответствии с техническим заданием
ПК(У)-3	Способность участвовать в проведении предварительного технико-экономического обоснования проектных разработок энергообъектов и их элементов по стандартным методикам
ПК(У)-8	Готовность к участию в организации метрологического обеспечения технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологического оборудования
ПК(У)-9	Способность обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве
ПК(У)-10	Готовность к участию в работах по освоению, доводке и сопровождению технологических процессов

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ А.М. Антонова
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7А	Безбородовой Василине Валерьевне

Тема работы:

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЫТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1 июня 2021 года
--	------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Целью данной работы является обзор и анализ современного уровня развития конструкций, проектирования и эксплуатации теплообменного оборудования паровых турбин в России и за рубежом. Объектом исследования в работе является совокупность электрических станций в России и за рубежом. Предметом исследования выступает теплообменное оборудование электрических станций.
---------------------------------	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p>Типы теплообменных аппаратов по функциональному назначению Обзор конденсаторов Обзор пароструйных эжекторов Обзор основного оборудования электрических станций Обзор подогревателей низкого давления (ПНД) Обзор подогревателей высокого давления (ПВД) ПВД нового поколения для паротурбинных установок АЭС Расчет подогревателя высокого давления ПВ-900</p>
--	--

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Е.И. Клемашева, доцент ОСГН</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>И.Л. Мезенцева, ассистент отделения общетехнических дисциплин</p>

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

Задание выдал руководитель / консультант:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ</p>	<p>О.Ю. Ромашова</p>	<p>к.т.н., доцент</p>		<p>01.12.20</p>
<p>Старший преподаватель НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ</p>	<p>В.Н. Мартышев</p>			<p>01.12.20</p>

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>5Б7А</p>	<p>Безбородова Василина Валерьевна</p>		<p>01.12.20</p>

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7А	Безбородова Василина Валерьевна

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

Исследование опыта проектирования и эксплуатации теплообменного оборудования электростанций	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: обзор и анализ эксплуатации подогревателей системы регенерации Область применения: ТЭС и АЭС
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	- ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. -ГОСТ 22615-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели типа «Тумблер». Общие эргономические требования. -ГОСТ EN 894-1-2012. Безопасность машин. Эргономические требования к оформлению индикаторов и органов управления. Часть 1. Общие руководящие принципы при взаимодействии оператора с индикаторами и органами управления.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: -физические и психо-психологические перегрузки -пониженные или повышенные параметры микроклимата рабочей зоны - повышенный уровень шума Опасные факторы: -повышенное значение напряжения в электрической сети -движущиеся части оборудования
3. Экологическая безопасность:	Атмосфера: вредные выбросы Гидросфера: опасные выбросы в воду Литосфера: загрязнение почвы химическими выбросами

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: повышение уровня радиации на АЭС, пожары, выброс масла, взрывы угольной пыли Наиболее типичные ЧС: пожары и выбросы в атмосферу

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7А	Безбородова Василина Валерьевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7А	Безбородова Василина Валерьевна

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	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 научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 207797 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 98540 руб; амортизационные отчисления – 2411 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент – 1,3; Накладные расходы – 16%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды : для руководителя и инженера – 30,2%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT;
2. Диаграмма Ганта.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7А	Безбородова Василина Валерьевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 95 страницы, 15 рисунков, 19 таблиц, 27 источников, 7 приложений.

Ключевые слова: теплообменное оборудование, подогреватель высокого давления, подогреватель низкого давления, конструкция, конденсатор.

Объектом исследования является совокупность электрических станций в России и за рубежом.

Цель работы – обзор и анализ современного уровня развития конструкций, проектирования и эксплуатации теплообменного оборудования паровых турбин в России и за рубежом.

В процессе работы проводились тепловой и конструкторский расчет подогревателя высокого давления.

В работе был произведен анализ и обзор современного уровня развития конструкций, проектирования и эксплуатации теплообменного оборудования паровых турбин в России и за рубежом.

Список обозначений и сокращений

АЭС- атомная электрическая станция;

ТЭС- тепловая электрическая станция;

ПВД- подогреватель высокого давления;

ПНД-подогреватель низкого давления;

ПТУ- паровая турбинная установка;

ЦНД- цилиндр низкого давления;

ЛМЗ- Ленинградский металлический завод;

ТКЗ- Таганрогский комбайновый завод;

ОП- охладитель пара;

ОД-охладитель дренажа;

СП-собственно подогреватель.

Оглавление

Введение.....	13
1.Типы теплообменных аппаратов по функциональному назначению.....	14
2. Обзор вспомогательного оборудования электрических станций...	15
2.1. Обзор конденсаторов электрических станций.....	15
2.2. Обзор пароструйных эжекторов электрических станций.....	19
3. Обзор основного оборудования электрических станций.....	22
3.1. Обзор подогревателей низкого давления (ПНД) электрических станций.....	22
3.2. Обзор подогревателей высокого давления (ПВД) электрических станций.....	25
3.3. ПВД нового поколения для паротурбинных установок АЭС.....	33
4. Расчет подогревателя высокого давления ПВ-900.....	36
4.1. Тепловой расчет подогревателя ПВ-900.....	36
5. Конструкторский расчет подогревателя ПВ-900.....	52
6. Социальная ответственность.....	55
6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	55
6.2. Производственная безопасность.....	57
6.2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте.....	61

6.2.3. Экологическая безопасность.....	62
6.2.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	63
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	66
7.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	66
7.1.1. Анализ конкурентных технических решений.....	66
7.1.2. SWOT-анализ.....	67
7.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	67
7.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	73
7.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности Исследования.....	73
Заключение.....	76
Список используемых источников.....	77
Приложение А.....	81
Приложение Б.....	83
Приложение В.....	85
Приложение Г.....	86
Приложение Д.....	88
Приложение Е.....	89
Приложение Ж.....	91

Введение

Теплообменный аппарат- это устройство, в котором происходит передача тепла от одной среды в другую, которые называются теплоносителями. Теплоносителями могут быть газы, жидкости, жидкие металлы и другие различные вещества. Первичный теплоноситель- теплоноситель, который отдает теплоту и имеет более высокую температуру. Вторичный теплоноситель- теплоноситель, который воспринимает теплоту и имеет более низкую температуру.

Целью данной работы является обзор и анализ современного уровня развития конструкций, проектирования и эксплуатации теплообменного оборудования паровых турбин в России и за рубежом.

1. Типы теплообменных аппаратов по функциональному назначению

Типы теплообменных аппаратов в зависимости от давления нагреваемой воды:

- Аппараты низкого давления, такие как ПНД, сальниковые подогреватели, охладители эжекторов и деаэраторы. В данных аппаратах нагреваемая вода находится под давлением от конденсатных насосов;
- Аппараты высокого давления, в этих аппаратах нагреваемая вода находится под давлением от питательных насосов.

В зависимости от источника греющего пара аппараты бывают основные (ПНД, ПВД, деаэратор) и вспомогательные (сальниковые подогреватели, охладители эжекторов, конденсаторы).

2. Обзор вспомогательного оборудования электрических станций

2.1. Обзор конденсаторов электрических станций

В состав конденсационной установки входит собственно конденсатор, отвод конденсата и воздуха, системы циркуляционного водоснабжения.

Направления, по которым ведется совершенствование проектирования конденсаторов:

- Повышение интенсивности теплового и массового обмена;
- Оптимизация трубного пучка (разбивка и форма);
- Увеличение эффективной поверхности теплообмена;
- Оптимизация подогрева и деаэрации конденсата;
- Снижение парового сопротивления.
- Обоснованный выбор материалов для изготовления элементов конденсатора;
- Снижение переохлаждения конденсата.

Современные конденсаторы должны отвечать таким требованиям как надежная герметизация водяного пространства, отсутствие опасных вибраций, безопасность тепловых расширений, продуманный выбор материала для изготовления конденсатора. Требования к конденсатору: приемлемые габаритные и массовые характеристики, надежная работа на различных режимах ПТУ, легкий монтаж и сборка.

Конденсаторы бывают выполнены подвальными и бесподвальными. В основном конденсаторы выполняют подвальными, они устанавливаются под ЦНД турбины. Бесподвальные боковые конденсаторы используются реже. Например, они выполнены на турбинах К-500-60/1500 и К-1000-60/1500. Главное различие бесподвальных конденсаторов от подвальных состоит в перегородках, находящихся в водяных камерах и разделяющих два потока воды. У бесподвальных конденсаторов они горизонтальные. Применение

боковых конденсаторов упрощает конструкцию ЦНД и фундамента турбины, но оно же снижает надежность работы последних ступеней турбины из-за возможного разброса конденсата в пусковых и переходных режимах.

Зарубежная компания General Electric производит турбины с боковым расположением конденсаторов (D650/D600), так как считает, что это позволяет уменьшить стоимость изготовления турбоустановки и высоту фундамента турбины, а также давление в выходных патрубках.

Конденсаторы также подразделяются на однокорпусные и многокорпусные. Это зависит от мощности турбины и числа выхлопов пара. Отечественные конденсаторы в основном выполняют двухходовыми.

В новых турбоустановках применяют также разделение конденсаторов многопоточных ЦНД на отсеки с разными давлениями, это повышает КПД турбоустановки и снижает давление пара в конденсационной установке.

Ряд турбин отечественного производства (ЛМЗ) выполняются с одноходовыми конденсаторами и продольными корпусами. Такие конденсаторы имеют в составе двухпоточные корпуса, подключённые последовательно или две группы конденсаторов, подключенные параллельно и имеющие по два последовательных однопоточных корпуса.

При сравнении характеристик отечественных и зарубежных конденсаторов был сделан вывод, что основные характеристики отечественных конденсаторов не уступают зарубежным. В приложении А представлена сравнительная таблица конденсаторов турбин General Electric и ЛМЗ.

На многих электрических станциях России функционирует конденсатор производства компании Siemens. (рисунок 1)

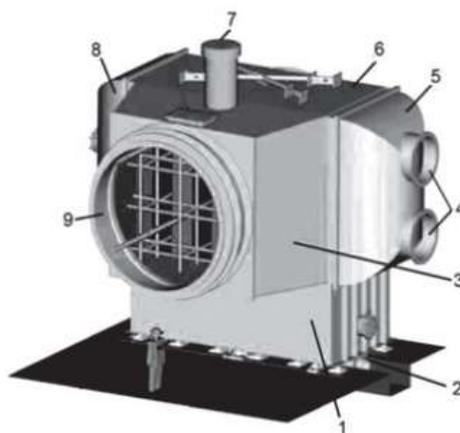


Рисунок 1 – Конденсатор Siemens в составе ПГУ Яйвинской ГРЭС: 1 — конденсатоотводчик; 2 — канал отвода конденсата; 3 — горловина конденсатора; 4 — вход/выход циркуляционной воды; 5 — передняя водяная камера; 6 — корпус конденсатора; 7 — патрубок предохранительной мембраны; 8 — задняя водяная камера; 9 — передний компенсатор [1]

Корпус конденсатора (6) имеет коробчатую форму. Пар, выходящий из последней ступени турбины, идет в диффузор, прикрепленный к горловине (3)

Между ними установлен компенсатор (9). Теплообменная поверхность конденсатора состоит из модулей. Модуль состоит из трубного пучка, а трубный пучок из двух лент конденсаторных трубок. Модуль разделен на две зоны: зона отсоса воздуха и общая камера, из которой паровоздушная смесь удаляется по двум трубопроводам. Каждый модуль имеет лист, который собирает конденсат и предотвращает слив конденсата на другие модули. В нижней части конденсатора скапливается конденсат, затем он отводится через канал (2). При выборе компоновки конденсатора учитывается обвязка конденсатора соединительными трубопроводами и конструкция фундамента турбины. На эффективность работы конденсатора влияет расположение соединений на корпусе конденсатора, также от данного фактора зависит конструкция фундамента турбины. Требования к конструкции фундамента турбины: достаточное пространство проемов в фундаменте для правильного распределения соединений на конденсаторе, достаточная глубина

фундамента, для того чтобы конденсатор имел объем, нужный для обеспечения эффективного распределения и расширения потоков в пространствах конденсатора.

В процессе проектирования трубного пучка конденсатора возникает сложность в рациональном размещении трубной системы в конденсаторе. Виды компоновки: ленточная, модульная, радиальная. Первый и самый распространённый тип компоновки- ленточный, поверхность теплообмена в ней формируется изогнутой лентой, толщина которой определяет длину пути пара. Ленточная компоновка требует установки направляющих щитов, много места для паропроводящих каналов, и это является главными ее недостатками.

На современных конденсаторах все чаще применяют модульную компоновку, поверхность охлаждения которой состоит из нескольких трубных модулей, разделенных проходами для пара. Модули имеют воздухоохладительный пучок и индивидуальный отсос паровоздушной смеси.

Современные зарубежные конденсаторы имеют также модульную компоновку. Производители конденсаторов также создают новые варианты компоновки и усовершенствуют уже имеющиеся.

На рисунке 2 представлены возможные варианты модульной компоновки. Компоновка под вариантом б имеет поверхность периферийных трубок на 10-15% меньше нежели компоновка под вариантом а, но количество трубок в двух вариантах неизменно. При уменьшении высоты поверхности периферийных трубок снижается металлоемкость и стоимость, но при этом имеется незначительное уменьшение тепловой эффективности. Также из-за уменьшения высоты поверхности периферийных трубок следует повышение устойчивости и улучшение вибрационных характеристик турбины.

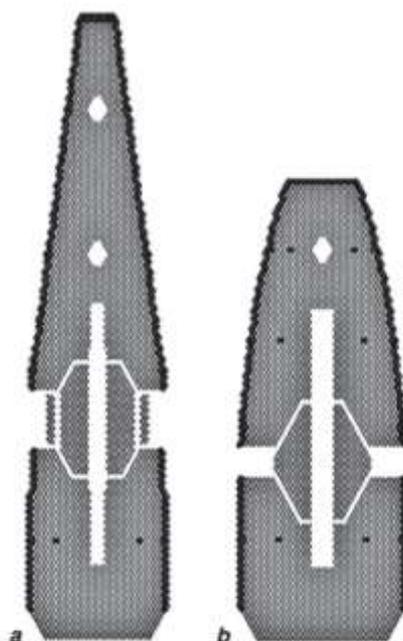


Рисунок 2 – Сравнение трубных модулей конденсатора АВВ с различной эффективностью [1]

Типы соединения трубок в трубных досках конденсатора:

- вальцевание трубок в трубных досках;
- сварка трубок с трубными досками с последующим вальцеванием.

Самым распространённым способом соединения трубок в России и за рубежом является вальцевание трубок.

Также применяют смешанный тип соединения- использование и вальцевания и сварки. Смешанный тип соединения увеличивает стоимость конденсатора, время изготовления и трудоемкость [1].

2.2. Обзор пароструйных эжекторов электрических станций

Назначение пароструйных эжекторов состоит в удалении паровоздушной смеси из парового пространства конденсатора и концевых уплотнений турбины. Вакуума от одноступенчатого эжектора не всегда достаточно, поэтому часто применяют последовательно соединённые несколько эжекторов. Эжекторы оснащаются охладителями для того, чтобы

последующие ступени не нагружались отработавшим паром. Количество охладителей соответствует числу ступеней сжатия. Назначение охладителей эжекторов состоит в конденсации отработавшего в эжекторах пара. Часто на выход из строя эжектора влияет износ элементов его корпуса, а также износ перегородок охладителей. Причиной возникновения износа могут стать материалы, из которых изготавливаются эжекторы.

Также увеличения экономичности пароструйных эжекторов достигают благодаря использованию оптимальных параметров рабочего пара в эжекторе (снижение давления и температуры). В результате проведенных исследований разработали новые многоступенчатые пароструйные эжекторы типов ЭПО-3-80 и ЭПО-3-120 (рисунок 3).

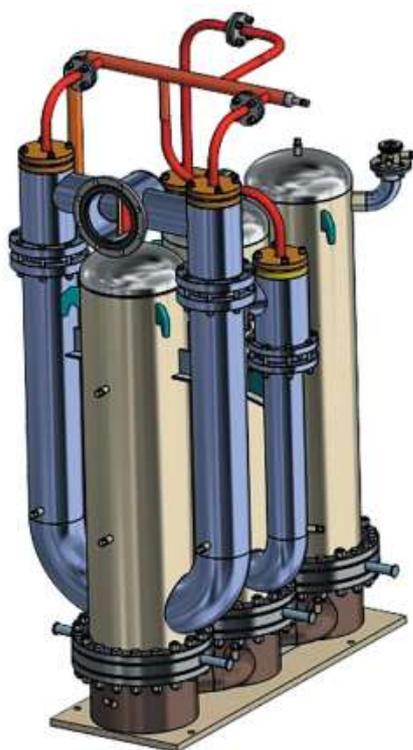


Рисунок 3 – 3D-модель эжектора ЭПО-3-120 [2]

В данных эжекторах охладители выполнены выносными и вертикальными. Трубки охладителей имеют U-образную форму и выполнены из нержавеющей стали. Для снижения коррозии патрубки между соплом и

диффузором расположены вертикально. Струйный аппарат состоит из двух параллельных аппаратов, это улучшает компоновку эжектора. Для надежной работы эжектора при разных режимах работы паротурбинной установки сопло перемещается по оси струйных аппаратов. При настройке эжектора сопла устанавливаются в различные положения по нужным параметрам.

Испытания и настройка новых эжекторов типов ЭПО-3-80 и ЭПО-3-120 были проведены в условиях эксплуатации на ТЭС.

Для обоснования замены эжекторов на новые был проведен анализ и сравнение характеристик. В результате сравнения характеристик эжекторов ЭП-3-700 (рисунок 4) и ЭПО-3-80 были сделаны выводы, что новые эжекторы имеют большую производительность. Достоинство установки эжектора ЭПО-3-80 поддержание глубокий вакуум в конденсаторе и экономичность турбоустановки. Новые эжекторы различаются с предыдущими в проектировании. В эжекторах ЭПО-3-80 установлены вертикальные охладители, также использованы новые технические решения в закреплении сопла (появилась возможность изменять осевое расстояние между соплом и диффузором)[2].

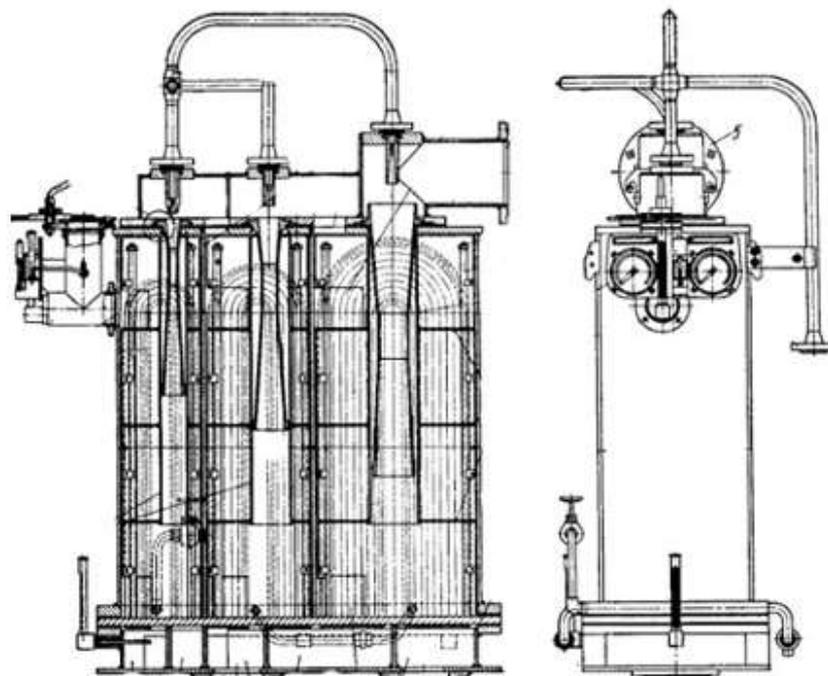


Рисунок 4– пароструйный эжектор ЭП-3-700 [2]

3. Обзор основного оборудования электрических станций

3.1. Обзор подогревателей низкого давления (ПНД) электрических станций

Назначение ПНД состоит в регенеративном подогреве основного конденсата в части низкого давления турбины. Допустимые значения давлений для аппаратов низкого давления: пара- 0,88 МПа, основного конденсата- до 3,34 МПа.

На современных электростанциях применяются ПНД как контактные (открытого типа), так и поверхностные (пластинчатые и кожухотрубные).

На рисунке 5 представлен подогреватель низкого давления открытого типа, работающий на АЭС Heysham 1 (Великобритания).

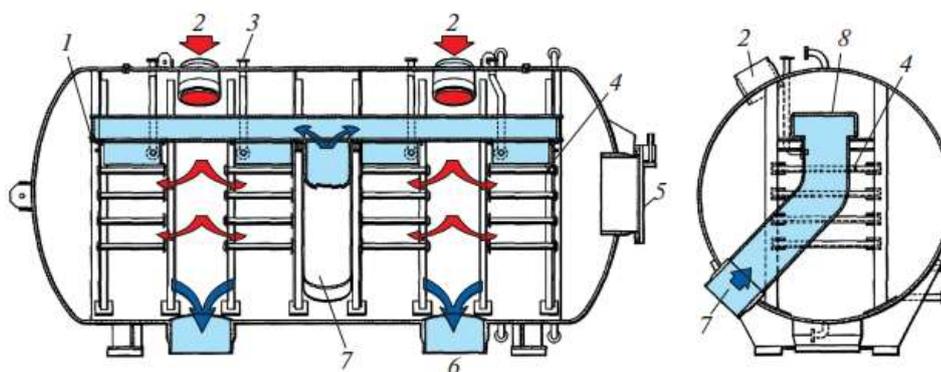


Рисунок 5 – Схема контактного подогревателя тарельчатого типа (АЭС Heysham 1) [3].

1-опора поддонов; 2- вход пара из турбины; 3- выход неконденсирующихся газов; 4- поддон; 5- люк для доступа; 6- выход основного конденсата; 7-вход основного конденсата; 8-коллектор основного конденсата

В России наоборот широко применяются контактные ПНД. Это обусловлено переходом на бездеаэрационные схемы, в которых смешивающие ПНД выполняют функцию деаэратора. Смешивающие подогреватели также выполняют вертикальными и горизонтальными. На ТЭС и АЭС большой мощности в основном используются вертикальные подогреватели.

На рисунке 6 изображен пример вертикального контактного ПНД. Данный ПНД используют и как одиночный аппарат, и как нижний ПНД с схеме с двумя контактными подогревателями [8].

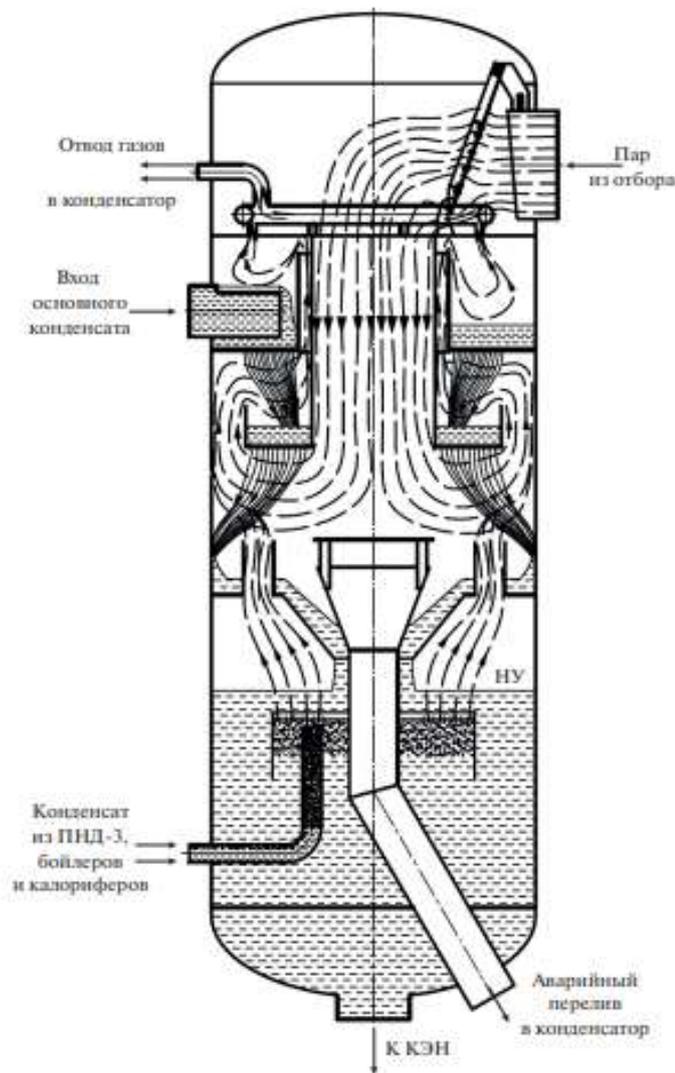


Рисунок 6 – Схема вертикального смешивающего ПНД с конденсатосборником. НУ – нормальный уровень; КЭН – конденсатный электронасос [3]

Классификация теплообменников по типу поверхности: трубчатые (кожухотрубные аппараты с гладкими, оребренными или профилированными трубками), пластинчатые (поверхностью теплообмена являются плоские листы).

Применение пластинчатых теплообменников за рубежом становится все более распространенным (вместо контактного ПНД или в качестве конденсатора). Поверхность теплообмена в таких аппаратах состоит из профилированных листов, собранных в пакеты, в которых есть каналы для

течения теплоносителя. Известными производителями пластинчатых аппаратов являются компании Alfa Laval (Швеция г. Лунд), Tranter Inc. (США).

Главным достоинством пластинчатого подогревателя является его компактность при высокой тепловой эффективности. Для такого размещения такого аппарата требуется небольшая площадь. Еще одно достоинство такого подогревателя состоит в его мобильности. Подогреватель может легко переключаться с одного режима на другой, что особо важно при работе на переменных режимах.

Недостатком пластинчатых подогревателей являются высокие гидравлические потери, это происходит из-за каналов малого диаметра с искусственной шероховатостью и турбулизации потоков теплоносителя.

Еще одна проблема пластинчатого подогревателя состоит в отведении неконденсирующихся газов и сохранение герметичности сварных соединений пластин. Пластинчатые теплообменники реагируют на гидро и термоудары и механические воздействия.

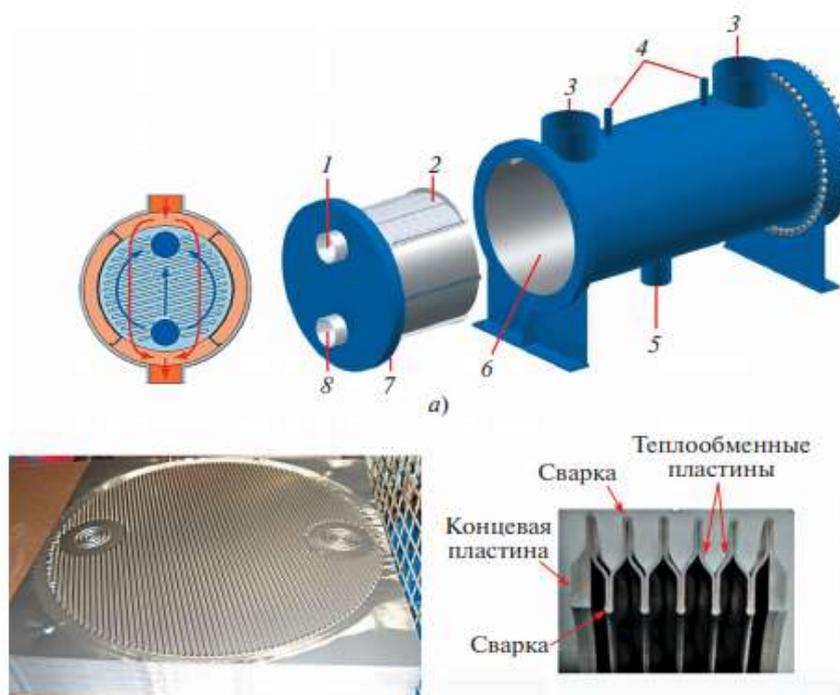


Рисунок 7 – Пластинчатый подогреватель низкого давления производства Tranter Inc. [3].
а – общий вид аппарата и схема течения теплоносителей; б – штампованная

теплообменная пластина; в – установка пластин в кассете; 1 – патрубок выхода питательной воды; 2 – теплообменный сердечник; 3 – патрубок входа отборного пара; 4 и 5 – патрубки входа и выхода дренажа; 6 – люк доступа; 7 – выемная головка аппарата; 8 – патрубок входа питательной воды

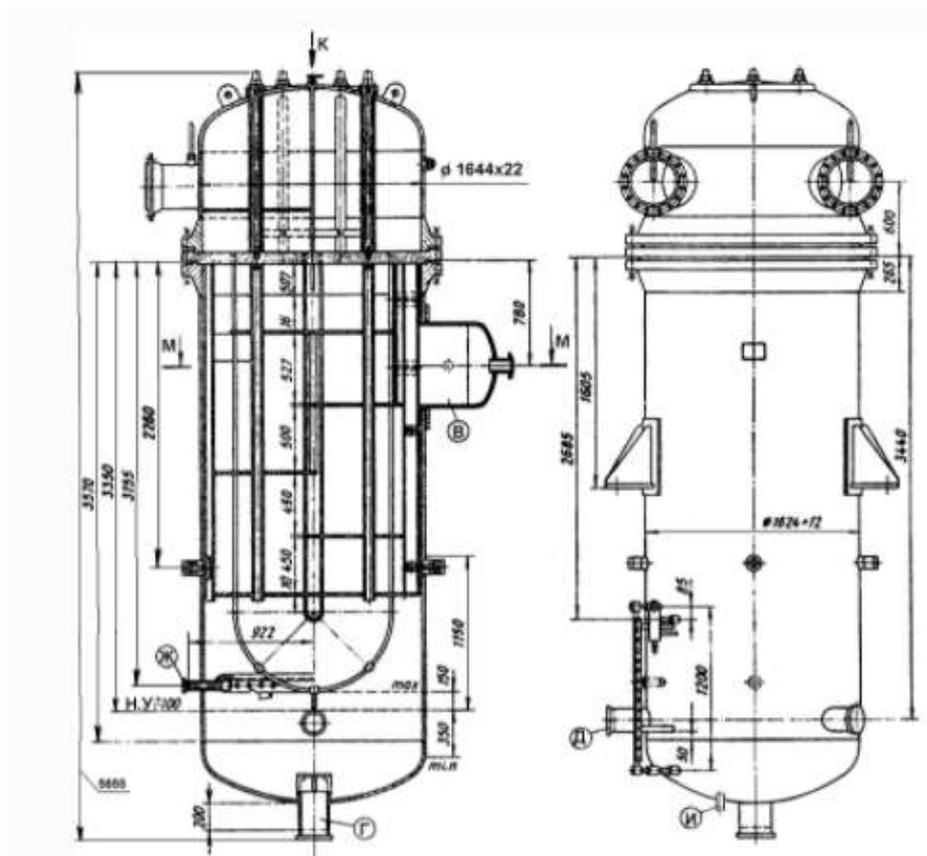


Рисунок 8 – Подогреватель ПН-400-26-7-II [3]

А—вход питательной воды (основного конденсата), Б—выход питательной воды (основного конденсата), В—вход греющего пара, Г—выход конденсата (дренажа), Д—подвод конденсата (дренажа), Ж—отвод парогазовой смеси, И—к указателю уровня

3.2. Обзор подогревателей высокого давления (ПВД) электрических станций

К функциям ПВД относится регенеративный подогрев питательной воды, он происходит за счет пара, идущего из отборов турбины. Максимальное давление пара в ПВД – 6,5 МПа, а питательной воды – до 37,3 МПа. Первыми отечественными ПВД были вертикальные коллекторно-спиральной конструкции теплообменники (рисунок 9).

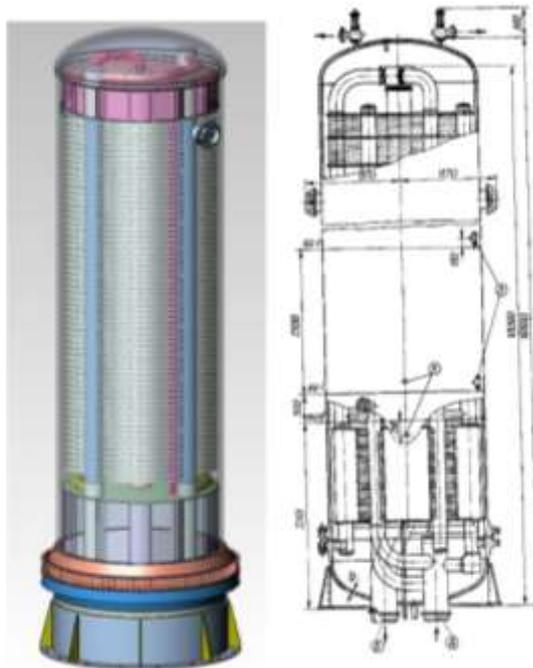


Рисунок 9 – ПВД коллекторно-спиральной конструкции [6]

На станциях применяют ПВД коллекторно-спиральной конструкции и камерного типа (рисунок 10).

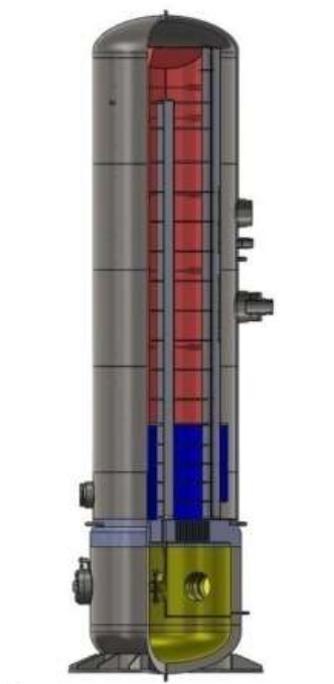


Рисунок 9 – ПВД камерной конструкции [6]

ТКЗ является одним из крупнейших поставщиков подогревателей высокого давления для электрических станций, который производит подогреватели коллекторно-спирального типа.

Так же был рассмотрен ряд зарубежных аппаратов. В Германии и Франции популярностью пользуется коллекторно-ширмовый подогреватель с U-образной трубной системой или с ширмовой трубной системой (рисунок 10).

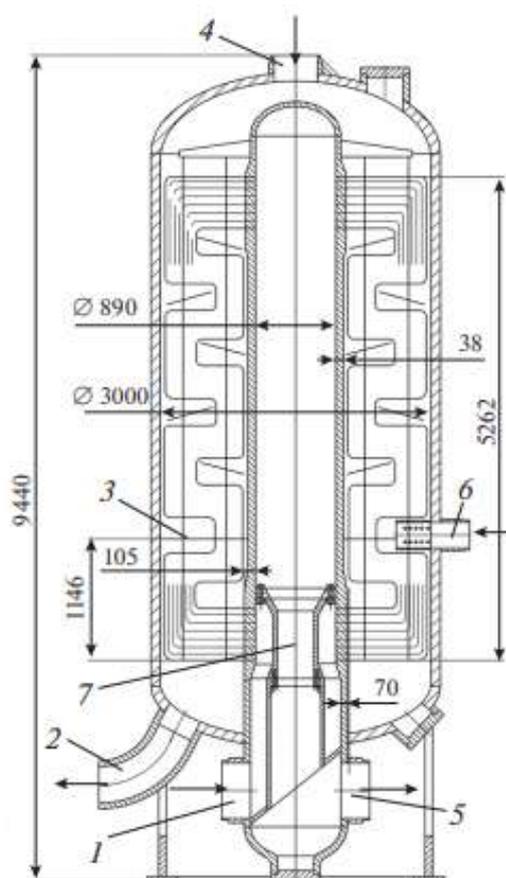


Рисунок 10 – Подогреватель коллекторно-ширмового типа с трубным пучком из эвольвентных ширм в двухниточном исполнении (ПВД-Ш-5).[3] 1 – вход питательной воды; 2 – выход конденсата; 3 – номинальный уровень конденсата; 4 – вход пара; 5 – выход питательной воды; 6 – вход конденсата; 7 – съемная вставка

Каждый тип ПВД имеет свои достоинства и недостатки.

Недостатки коллекторно-спиральной конструкции:

- Коррозия и эрозия труб и попадание продуктов коррозии в установку из-за применения углеродистой стали на теплообменной поверхности;
- Наличие множества неконтролируемых сварных швов (приваривают змеевик к коллектору) приводит к частым остановам и ремонтам;

- Необходимость частого контроля из-за коррозионно-эрозионного износа змеевиков, особенно на входных участках.

Преимущества камерных ПВД перед коллекторными:

Конструкция камерных ПВД имеют возможность ремонта теплообменной поверхности без ее замены в отличие от коллекторного типа.

- В конструкции камерного ПВД используются трубы малого диаметра (16 мм), это снижает их металлоемкость и увеличивает компактность всего аппарата;
- Проще в ремонтных работах и монтаже и изготовлении;
- Имеется доступ к трубной доске для удаления повреждений труб.

Преимущества и недостатки ПВД-К типа:

Преимущество:

- полноценный эффективный охладитель конденсата на холодном ходу питательной воды.

Недостатки:

- Сложности с выделением зоны ОП;
- Большая масса по сравнению с другими подогревателями;
- Сложности в реализации ОП по схеме Виолена;
- Сложности в закреплении теплообменных труб и сверлении трубной доски.

Преимущества и недостатки ПВД-Ш типа: [4]

Преимущества:

- количество сварных швов закрепления труб в коллекторе меньше примерно на 22%, чем в трубной доске ПВД-К;

- толщина стенок цилиндрических коллекторов в подогревателях ПВД-Ш существенно меньше вследствие увеличенного продольного шага расположения отверстий для закрепления концов труб;
- высокая ремонтпригодность.

Недостатки:

- Сложность набивки теплообменной поверхности и ее заведения в трубные доски;
- Применение только высоколегированных сталей;
- Сложности в реализации ОП по схеме Виолена.

На современных электростанциях можно встретить ПВД поверхностного типа (пластинчатые и кожухотрубные), но также существуют и ПВД и смешивающего типа.

К самому распространённому типу поверхностных ПВД относятся кожухотрубные подогреватели. На производстве накоплен значительный опыт использования кожухотрубных подогревателей. Существуют методы расчета и проектирования данных аппаратов. За время использования кожухотрубных подогревателей решены многие возникающие при эксплуатации проблемы, конструкция аппаратов постоянно совершенствуется с целью улучшения показателей эффективности и надежности работы.

Большинство зарубежных кожухотрубных подогревателей выполняются горизонтальными с U-образным трубным пучком (рисунок 11)

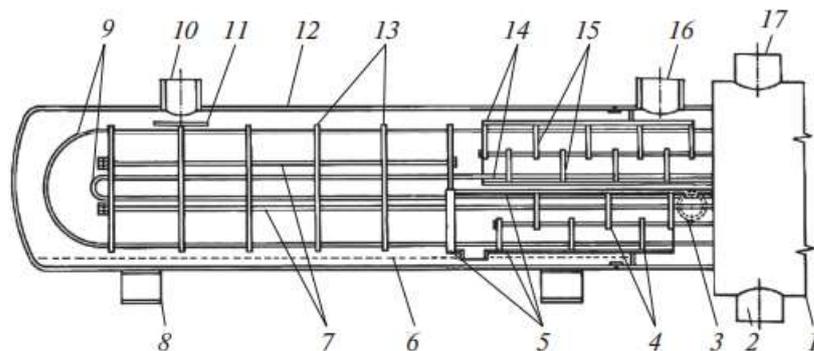


Рисунок 11 – Конструкция горизонтального подогревателя высокого давления.[6]

1 – водяная камера; 2 – патрубок входа воды; 3 – патрубок выхода дренажа; 4 – перегородки зоны ОК; 5 – кожух зоны ОК; 6 – уровень конденсата; 7 – каркасные элементы; 8 – опора аппарата; 9 – U-образные трубки; 10 – патрубок входа дренажа; 11 – отбойный щиток; 12 – корпус аппарата; 13 – промежуточные перегородки зоны КП; 14 – кожух зоны ОП; 15 – перегородки зоны ОП; 16 – патрубок входа пара; 17 – патрубок выхода воды

Горизонтальные подогреватели наиболее распространены из-за высокого коэффициента теплоотдачи при конденсации по сравнению с вертикальными. Данные аппараты являются стабильными по отношению к уровню контроля конденсата и удобства компоновки трубопроводов, но они занимают большую площадь около турбины.

В некоторых подогревателях питательной воды применяются прямые трубки, тогда это требует применение «плавающей» водяной камеры.

Поверхность подогревателя может содержать такие зоны как зона конденсации, зона охлаждения пара и конденсата.

В зависимости от характера теплообмена поверхность регенеративного подогревателя может содержать различные зоны- конденсации, охлаждения пара и конденсата. Каждая из трех зон имеет систему перегородок, благодаря которым обеспечивается необходимое движение пара.

На выходной части трубного пучка размещается зона снятия перегрева пара. Ее назначение –нагрев питательной воды, который обеспечивается из-за перегретого пара в подогревателе (нагрев производится до температуры насыщения или выше нее). Температура наружной стенки трубки должна превышать температуру насыщения хотя бы на $1,1^{\circ}\text{C}$ при давлении на выходе из зоны, тогда пар не будет конденсироваться в зоне перегрева. Такой нагрев помогает избежать коррозии металлов и эффекта «мокрой трубки».

В зоне охлаждения пара имеется специальный кожух, который разделяет паровое пространство и организует движение пара. Для возможности поперечного протекания пара в перегородках зоны охлаждения пара имеются вырезы, кроме последних перегородок. Пар выходит из зоны ОП через окна на кожухе.

В зоне КП конденсат скапливается в нижней части корпуса, его уровень поддерживается через внешнюю систему контроля слива.

На входном участке трубного пучка располагается зона охлаждения конденсата. Зона также, как и зона ОП имеет перегородки и вырезы для поперечного течения пара. В зоне ОК происходит охлаждение конденсата до температуры близкой к температуре питательной воды на входе в аппарат.

В отдельных случаях на электростанциях в США (на европейских чаще) устанавливаются вертикальные подогреватели. Эти подогреватели различаются расположением водяной камеры – в верхней или нижней части аппарата. За рубежом вертикальные аппараты с верхней водяной камерой используются значительно реже, в отличие от отечественных аппаратов, которые имеют преимущественно верхнее расположение водяной камеры.

Вертикальные подогреватели высокого давления имеют те же три зоны теплообмена, что и горизонтальные. На рисунке 12 показаны схемы вертикальных подогревателей высокого давления с нижним и верхним расположением водяной камеры [5].

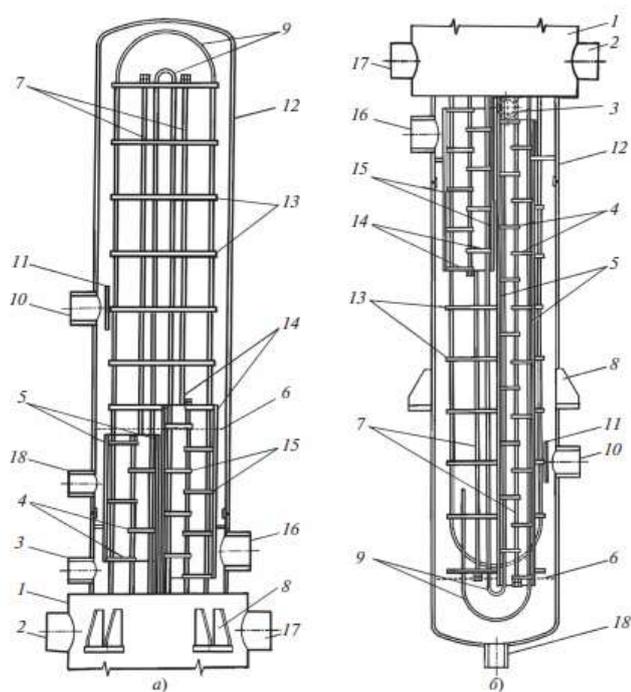


Рисунок 12 – Типовые конструкции вертикальных подогревателей высокого давления.[5]
а – с нижним расположением водяной камеры; б – с верхним расположением водяной

камеры; 1 – водяная камера; 2 – патрубок входа воды; 3 – патрубок выхода дренажа; 4 – перегородки зоны ОК; 5 – кожух зоны ОК; 6 – уровень конденсата; 7 – каркасные элементы; 8 – опора аппарата; 9 – U-образные трубки; 10 – патрубок входа дренажа; 11 – отбойный щиток; 12 – корпус аппарата; 13 – промежуточные перегородки зоны КП; 14 – кожух зоны ОП; 15 – перегородки зоны ОП; 16 – патрубок входа пара; 17 – патрубок выхода воды; 18 – дренажный байпас

У U-образных камерных ПВД очень высокие пиковые напряжения возникают при температурных градиентах в точках соединения толстой трубной доски и относительно тонкой крышки водяной камеры. В результате в большинстве случаев в зонах перехода между трубной доской и водяной камерой появляются трещины. Для решения этой проблемы организуют два параллельных потока питательной воды через два ПВД U-образного типа. При этом массовый расход питательной воды через подогреватель уменьшается вдвое, необходимый диаметр оболочки и толщина трубной доски также могут быть уменьшены. Как инновационную альтернативу U-образным подогревателям фирма SPX Heat Transfer начала выпускать ПВД коллекторного типа [11]. Первоначально такие аппараты производились с плоскими змеевиками. В отличие от подогревателей U-образного типа, входной и выходной коллекторы такого подогревателя при тех же основных условиях имеют стенки толщиной от 70 до 120 мм, т.е. около 15% толщины трубной доски [12]. Подогреватели питательной воды коллекторного типа также могут быть расположены как горизонтально, так и вертикально. Горизонтальное расположение в США встречается чаще, но иногда предпочтительнее использовать вертикальные подогреватели.

В коллекторных подогревателях питательная вода первоначально поступает во впускной коллектор, проходит через трубки в форме змеевика в три или четыре хода и покидает аппарат через выходной коллектор (рис. 6). Каждая трубка индивидуально приварена к коллекторам, а коллекторы приварены к корпусу. Следует отметить, что в таких конструкциях змеевики обычно плоские. Конструкции со спиральными змеевиками встречаются только в Европе. Основной их изготовитель – фирма Balcke-Dürr [12]. В

России основным типом подогревателя высокого давления является вертикальный коллекторный теплообменный аппарат с поверхностью нагрева из гладких труб, образующих плоские спирали.

Конструкции коллекторно-спиральных ПВД, основным производителем которых в России является Таганрогский котельный завод “Красный котельщик”, имеющий уникальный опыт конструирования и изготовления таких аппаратов, постоянно развивались и совершенствовались. В современных конструкциях отечественных ПВД для мощных турбин при изготовлении спиральных элементов используются трубки меньшего диаметра – 22 мм с толщиной стенки 3.5 мм, в отличие от ранее применявшихся трубок диаметром 32 мм. В некоторых конструкциях ПВД спиральные элементы устанавливаются наклонно, что позволяет улучшить теплообмен в аппарате.

3.3. ПВД нового поколения для паротурбинных установок АЭС

Для исследования эффективности коллекторно-ширмовых подогревателей были разработаны подогреватели высокого давления с трубным пучком из эвольвентных ширм различной мощности (рисунок 13). Для исключения трубопроводов большого диаметра, соединяющих ПВД-Ш-5 и ПВД-Ш-6, и увеличения свободной площади машинного зала был разработан теплообменный аппарат, который совмещает в себе два подогревателя тех же типов [5].

Двойной подогреватель в двухниточной схеме представляет собой единый вертикальный аппарат, корпус которого в верхней части (ПВД-Ш-6) имеет внутренний диаметр 2600 мм, а в нижней части (ПВД-Ш-5) – 3000 мм. Общая высота составляет 15420 мм. По торцам теплообменный аппарат закрыт эллиптическими днищами, в центре которых закреплены вертикальные коллекторы. Верхнее днище корпуса ПВД-Ш-5 является одновременно

нижним днищем корпуса ПВД-Ш-6, т.е. служит средним днищем для обоих подогревателей, в котором закреплены одновременно верхний коллектор ПВД-Ш-5 и нижний коллектор ПВД-Ш-6. Коллекторы соединены один с другим и образуют единый перепускной коллектор питательной воды. В кольцевом пространстве между корпусом и коллектором в каждом подогревателе расположены трубные пучки, состоящие из эвольвентных ширм. Концы теплообменных труб закреплены в коллекторах. Высота подогревателя обеспечивает его монтаж под площадкой обслуживания турбоагрегата (отметка +16.00 м).

Технические характеристики подогревателя, совмещающего в одном корпусе две ступени подогрева (ПВД-Ш-5 и ПВД-Ш-6) одной группы в двухниточной схеме, приведены в приложении Б. Масса перепускных трубопроводов питательной воды между подогревателями группы сокращена, кроме того, масса аппаратов уменьшена на 7.5% (или на 20 т) на блок в сравнении с массой этих же подогревателей, приведенной в табл. 1. Разработанный теплообменный аппарат позволяет снизить гидравлическое сопротивление группы подогревателей по питательной воде, а также уменьшить количество фундаментов в 2 раза [6].

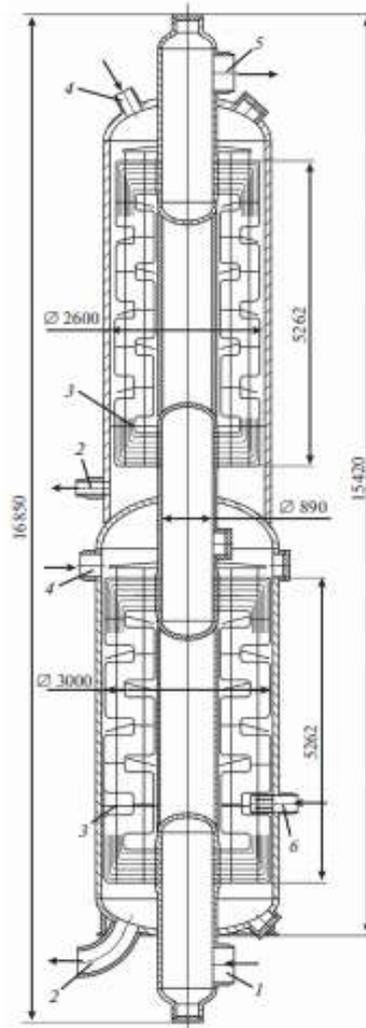


Рисунок 13 – Двойной подогреватель коллекторно-ширмового типа [5]

1 – вход питательной воды; 2 – выход конденсата; 3 – номинальный уровень конденсата; 4 – вход пара; 5 – выход питательной воды; 6- вход конденсата.

6. Социальная ответственность

В данном разделе рассмотрены регулируемые государством социальные вопросы – промышленная и экологическая безопасность, охрана труда, безопасность в чрезвычайных ситуациях и т.д.

Одной из главных задач охраны труда является обеспечение безопасных условий труда для человека, т.е. должны быть созданы такие условия труда, при которых исключается воздействие на рабочих опасных и вредных производственных факторов. Уровни этих факторов не должны превышать предельных значений, оговоренных правовыми, техническими и санитарно-техническими нормами.

Соблюдение правил и норм по безопасности жизнедеятельности позволяет улучшить и облегчить условия труда, обеспечить широкие возможности для высокопроизводительной работы.

В данной работе представлен обзор вспомогательного оборудования электростанций (в частности подогревателей высокого давления), которое используется на ТЭС и АЭС. Анализ выбора оборудования актуален для инженеров-конструкторов, при проектировании электрических станций.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В федеральном законе РФ от 28.12.2013 № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда», указано, что с вредными условиями труда сталкиваются рабочие на предприятиях.

Государство предусмотрело, что люди, работающие на вредных производствах, обеспечиваются льготами и компенсациями. Какие сферы деятельности и специальности связаны с вредными условиями труда, указывается в Постановлении Правительства.

Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливаются на основании статей Трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия.

Законодательно предусмотрено, что люди, работающие в опасных условиях, могут получать такие гарантии и компенсации:

- уменьшение количества рабочих часов (36 часов в неделю и меньше);
- оплачиваемый отпуск, являющийся дополнительным и предоставляемым каждый год (не меньше 7 календарных дней);
- происходит рост оплаты труда (не меньше 4% от оклада) – льготы для пенсионного обеспечения;
- бесплатное лечение и оздоровление;
- выдача расходных материалов – спецодежды, обеззараживающих средств.

Работодатель имеет право самостоятельно определять вид и размер компенсации за вредные условия труда, основываясь на Трудовом кодексе. Также он может инициировать повышение суммы. Все компенсации выплачиваются из страховых взносов работодателей по тарифам, установленными страховыми организациями. В ряде регионов установлен специальный тариф за неблагоприятные природные условия.

Компенсация дополнительного отпуска за вредные условия труда для работника предусмотрена только за те дни, которые дает работодатель сверх минимального значения (более 7).

Все разновидности компенсаций не облагаются налогами. В то же время, если на данном уровне технологического развития имеется возможность устранить вредные производственные факторы, то выплата денежной компенсации уже таковой не считается. Поэтому, если выплата продолжается, то она подлежит налогообложению налог на доходы физических лиц на общих основаниях. Также из компенсационных выплат не удерживаются страховые взносы.

Кроме компенсаций, существует такое понятие как доплата за вредные условия труда, которая также может устанавливаться работодателем.

Судебная практика указывает, что к такому роду доплат относится и так называемая компенсация морального ущерба сотрудникам, работающим в опасных условиях.

Неотъемлемой частью подготовки к работе и проверки знаний персонала является производственное обучение и система инструктажей, которая включает в себя вводный, первичный, повторный, внеплановый и целевой инструктажи.

Персонал должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты (СИЗ) в соответствии с типовыми отраслевыми нормами и характером выполняемой работы.

6.2 Производственная безопасность

6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Таблица 2 – Опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Р азра ботка	И зготовл ение	кспл уата ция	
1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи	+	+		ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.[39]
2. Повышенный уровень шума		+		СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.[51]
3. Пониженные или повышенные параметры микроклимата рабочей зоны	+	+		СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.[49]
4. Физические и нервно-психологические перегрузки	+	+		СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.[61]
5. Повышенный уровень электромагнитного излучения	+	+		ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

- 1) Повышенное значение напряжения в электрической цепи и возможность поражения электрическим током

На любом рабочем месте существует опасность поражения электрическим током. При этом электрический ток производит термическое, электролитическое, биологическое воздействие на организм человека. Действие электрического тока приводит к местным электротравмам и электрическим ударам. Напряжение прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 3.

Таблица 3 – Значения напряжений прикосновений и токов [20]

Род тока	U, В	I, mA
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

- 2) Повышенный уровень шума

В производственных условиях источниками шума являются работающие станки и механизмы, ручные механизированные инструменты и т.д. В условиях сильного шума возникает опасность снижения и потери слуха, которая во много обусловлена индивидуальными особенностями человека [24]. Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах с учетом напряженности и тяжести трудовой деятельности представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Предельно допустимые уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести в дБА [21]

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75

Продолжение таблицы 4

Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

3) Повышенные или пониженные параметры микроклимата рабочей зоны

Факторы микроклимата влияют на состояние здоровья человека, и на его работоспособность. В частности, высокие температуры приводят к тепловым ударам, повышению давления, низкие – к простудным заболеваниям, переохлаждению. Все это может привести к профессиональным заболеваниям [16]. Категория работ для инженер-конструктора – категория Иб. Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах для данной категории работ приведены в таблицах 5-6.

Таблица 5 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах для категории работ Иб [17]

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

Таблица 6 – Допускаемые величины показателей микроклимата на рабочих местах для категории работ Иб [17]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с

Продолжение таблицы 6

		ниже оптимальны х величин	выше оптимальны х величин			дл я температ ур воздуха ниже оптималь ных величин, не более	дл я темпера тур воздуха выше оптималь ных величин, не более
Холо дный	Іб (140-174)	19,0 -20,9	23,1 -24,0	18,0 -25,0	1 5-75	0, 1	0, 2
Тепл ый	Іб (140-174)	20,0 -21,9	24,1 -28,0	19,0 -29,0	1 5-75	0, 1	0, 3

4) Физические и нервно-психологические перегрузки

Нервно-психологические и физические перегрузки организма – перенапряжение органов чувств, стрессовые условия труда, перегрузки статические и динамические и т.д. Наиболее простым считается труд, в ходе которого сотруднику не нужно принимать собственные решения. Чем выше уровень ответственности и больше инструкций, тем выше моральное напряжение. Допустимые величины психофизиологических производственных факторов представлены в приложении В.

1) Повышенный уровень электромагнитного излучения

Источниками электромагнитных излучений являются промышленные установки, средства теле- и радиовещания, внутренние электрические сети. Воздействие на живую ткань организма электромагнитного поля вызывает переменную поляризацию молекул и атомов, составляющих клетки, в результате чего происходит опасный их нагрев. Избыточная теплота может нанести вред отдельным органам и всему организму человека [15]. Допустимые уровни электромагнитных полей на рабочих местах персонала приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Предельно допустимые значения напряженностей электрического и магнитного полей [12]

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

6.3 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте

Рабочие места должны соответствовать требованиям к безопасности ГОСТ 12.2.061-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам».

Большое количество оборудования на электрических станциях создают неодинаковые условия труда по степени вредности в разных зонах производства.

Одним из наиболее вредных факторов при работе на предприятии такого рода является шум от всевозможных вращающихся элементов оборудования.

Для снижения воздействия повышенного уровня шума на предприятии можно использовать или создать малошумное оборудование,

Обслуживающий персонал, временно находящийся на территории, где располагается основное оборудование, использует наушники, закрывающие ушную раковину и вкладыши, перекрывающие наружный слуховой канал. Так же оптимальное размещение шумного оборудования, позволит минимизировать воздействие шума на рабочем месте.

Источниками вибраций являются: электродвигатели, вентиляторы. Создаваемые ими вибрации относятся к технологическим, нормирование которых определяется ГОСТ 12.1.012 - 2004 ССБТ «Вибрационная

безопасность. Общие требования”.

Мероприятия по борьбе с вибрацией должны разрабатываться в процессе проектирования предприятия с учетом амплитудно-частотных характеристик оборудования, предусмотренного для производства. Например, такие мероприятия как установка, оборудования на фундамент, применением виброизолирующих прокладок, динамические виброгасители и виброизоляция.

Так же на предприятии источником тока является электросеть напряжением 220-380 В. Наиболее частые причины электротравматизма: неисправное электрооборудование, отсутствие или недостаточность заземления, прикосновение к частям оборудования, находящихся под напряжением, отсутствие индивидуальных и коллективных средств защиты.

К мероприятиям по предотвращению возможности поражения электрическим током следует отнести: заземление всего оборудования, поддержание исправного состояния электропроводки, изоляция, зануление, устранение опасности поражения при появлении напряжения на корпусах электрооборудования и т.д.

Недостаточная и чрезмерная освещенность, оказывает также свое негативное влияние на работающий персонал.

Согласно действующих норм проектирования производственного освещения СП 52.13330.2016 задаются как количественная (величина минимальной освещённости) так и качественные характеристики (показатель ослеплённости, дискомфорта и глубина пульсации освещения) искусственного освещения.

На предприятии организовано аварийное освещение и эвакуационное. Аварийное освещение организуется для поддержания работы, если внезапно произошло отключение рабочего освещения, чтобы не останавливался производственный процесс. Эвакуационное освещение служит для безопасной эвакуации людей в случае чрезвычайных ситуаций.

6.4 Экологическая безопасность

1) Защита атмосферы

В процессе работы электрических станций происходят выбросы дымовых газов и золы, а также углекислого газа и водяного пара.

Существует несколько методов очистки дымовых газов, а также активно применяется комбинирование различных методов. Для очистки дымовых газов от золы и твердых частиц используют фильтрование. Для очистки дымовых газов от оксидов серы используется мокрая сероочистка, сухая очистка, мокросухая очистка.

2) Защита гидросферы

Электрические станции забирают воду из водоемов. Перед тем как сбросить воду обратно в водоем ее остужают и очищают. Для очистки сточных вод используют механическую очистку, физико-химическую очистку, химическую очистку, биохимическую.

3) Защита литосферы

Твердые частицы, содержащиеся в дымовых газах, осаждаются на поверхности земли и загрязняют почву. Еще одним источником загрязнения являются зола и шлак, образующиеся в процессе сгорания топлива, которые далее складываются в золошлакоотвалах. Золошлакоотвалы загрязняют не только поверхность почвы. Твердые частицы через почву попадают в грунтовые воды, а также попадают в атмосферу.

Для предотвращения такого опасного источника загрязнения необходима своевременная утилизация золошлаковых отходов.

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожарная безопасность характеризуется ФЗ №123 от 22 июля 2008 года.

Система пожарной защиты предусматривает, наряду с мерами предотвращения возникновения пожара и распространение его за пределы очага возгорания, также применение средств пожаротушения и пожарной сигнализации.

Для тушения пожаров применяют первичные средства тушения, к которым относятся углекислотные, пенные и порошковые огнетушители, а также пожарные стволы, присоединенные при помощи рукавов к системе пожарного водопровода при помощи пожарных кранов, располагаемых в наиболее доступных и безопасных местах здания.

При аварийной ситуации на оборудовании, необходимо прекратить выполнение плановой работы и действовать согласно требованиям инструкции по ликвидации аварий и производственных инструкций по обслуживанию оборудования. Принять меры к восстановлению нормального режима работы или ликвидации аварийного положения и предотвращении развития аварии.

При возникновении несчастного случая немедленно оказать первую медицинскую помощь согласно инструкции по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве.

При угрозе несчастного случая вывести людей из зоны поражения, оградить опасную зону, по возможности отключить аварийное оборудование.

О замеченном загорании на объекте необходимо сообщить дежурному персоналу объекта, в пожарную часть и преступить к тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения, соблюдая при этом меры безопасности. Там, где имеется оперативный план тушения пожара, необходимо действовать в соответствии с этим планом.

При невозможности самостоятельно потушить пожар необходимо вызвать пожарную команду, после чего поставить в известность о случившемся инженера по технике безопасности.

Тушить пожар на электрооборудовании, находящемся под напряжением следует углекислотными и порошковыми (до 1000 В) огнетушителями.

Тушение пожара в сильно задымленных помещениях без снятия напряжения с электроустановок и кабельных линий запрещается.

На предприятии должны использоваться только кабели с негорючими покрытиями.

Вывод по разделу

По результатам данного раздела были решены важные задачи:

В первом разделе были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Во втором разделе были рассмотрены основные вредные и опасные факторы для электрических станций. Были предложены способы снижения или защиты от воздействия.

В третьем разделе были рассмотрены основные факторы, влияющие на экологию.

В четвертом разделе были рассмотрены вероятные ЧС. На примере характерной неисправности оборудования электростанций для какого именно? был рассмотрен выход из аварийной ситуации и способы устранения неисправностей.

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является определение конкурентоспособности и рентабельности подогревателя высокого давления (ПВД) разных типов. Проведение сравнительного анализа экономических показателей.

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

7.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам, позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направление для ее будущего повышения [27].

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности различных типов подогревателей. Целесообразнее проводить оценку с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 8.

Таблица 8 - Оценочная карта для сравнения конкурентных разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{к1}	Б _{к2}	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки					
Номинальный расход питательной воды	0,2	4	5	0,8	1
Удобство эксплуатации	0,1	5	5	0,5	0,5
Надежность	0,1	4	5	0,4	0,5
Уровень шума	0,01	3	3	0,03	0,03
Безопасность	0,1	5	5	0,5	0,5
Ремонтопригодность	0,05	4	5	0,2	0,25
Экономические критерии оценки					
Себестоимость ПВД	0,1	5	5	0,5	0,5
Срок эксплуатации	0,04	4	5	0,16	0,2
Обслуживание	0,1	5	5	0,5	0,5

Продолжение таблицы 8

Итого	1			4,09	4,48
$B_{к1}$ – баллы ПВД коллекторно- спирального типа $B_{к2}$ – баллы ПВД камерного типа					

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Анализируя полученные результаты, делаем вывод, что разработка под номером 2 является наиболее конкурентоспособной и выгодной. Такие разработки проще в наладке и эксплуатации, обеспечивают большее качество регулирования и динамическую точность в отличие от варианта под номером 1.

7.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта, применяется для исследования внешней и внутренней среды проекта [27].

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

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

7.2 Планирование научно-исследовательских работ

7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

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

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по видам работ приведен в приложении Д.

7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{ожi} = \frac{3t_{минi} + 2t_{маxi}}{5}, \quad (2)$$

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями .

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (3)$$

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

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести календарные дни. Для этого воспользуемся формулой [27]: 69

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле [27]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5)$$

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

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

Коэффициент календарности равен [27]:

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

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

Временные показатели проведения научного исследования представлены в приложении Е.

Пример расчета для первой строки:

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

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{\text{Ч}_i} = \frac{1,4}{1} = 2 \text{ дня.}$$

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

7.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [27].

Календарный план-график представлен в таблице 9 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней).

Таблица 9– Календарный план-график проекта

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

Продолжение таблицы 9

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

 - Руководитель

 - Инженер

7.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

7.3.1 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Расчет затрат научно-исследовательского проекта представлен в приложении Ж.

Расчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции [27].

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб	Примечание
1. Амортизационные отчисления	2411	Пункт 3.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	91103,5	Пункт 3.2
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10932,4	Пункт 3.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	30610,8	Пункт 3.4
5. Услуги сторонних организаций	800	Пункт 3.5
6. Накладные расходы	21737,2	Пункт 3.6
7. Бюджет затрат НТИ		157594,9 руб.

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

7.4.1 Оценка эффективности проекта

Одним из критериев эффективности проекта является интегральный показатель ресурсоэффективности I_{pi} :

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где,

a_i – весовой коэффициент варианта исполнения работ, (таблица 1);

b_i – бальный коэффициент варианта исполнения работ.

Расчеты приведены в таблице 11. Описание конкурирующих проектов приведено в п. 1.2.

Таблица 11 –Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий сравнения	Весовой коэффициент	Бальная оценка	
		Исп. 1	Исп. 2
Удобство эксплуатации	0,2	4	4
Безопасность	0,25	4	3
Надежность	0,25	5	3
Энергоэкономичность	0,15	5	4
Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	4	3
ИТОГО	1		

Исп.1 – ПВ-900-380-66-1

Исп. 2 – ПВ-900-380-18-1

$$I_{p1} = 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 = 4,4 \quad - \text{интегральный}$$

показатель эффективности рассчитанного подогревателя;

$$I_{p2} = 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 = 3,35 \quad - \text{интегральный}$$

показатель эффективности аналогового подогревателя;

На основании критерия интегральной ресурсоэффективности проекта, разработанный подогреватель обладает большей ресурсоэффективностью перед аналогом этого подогревателя. Он обладает следующими ключевыми преимуществами: надежность, а также энергоэкономичность.

Выводы по разделу

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

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

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

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

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

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

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе был произведен обзор и анализ современного уровня развития конструкций, проектирования и эксплуатации теплообменного оборудования паровых турбин в России и за рубежом, а также выполнен тепловой и конструкторский расчет подогревателя высокого давления ПВ-900. Изученные материалы показывают, что в каждой отдельной стране складываются собственные традиции в проектировании и изготовлении подогревателей высокого и низкого давления и других аппаратов системы регенерации паровых турбин. Единого тренда в этой области не существует, поскольку производственный опыт, накопленный различными изготовителями подогревателей, воспринимается и осваивается во всем мире, и Россия не является исключением.

Список используемых источников

1. Современный уровень и тенденции в проектировании и эксплуатации подогревателей высокого и низкого давления паровых турбин ТЭС и АЭС в России и за рубежом. Ч. 1. Типы и конструкции подогревателей / Ю.М. Бродов, К.Э. Аронсон, А.Ю. Рябчиков, М.А. Ниренштейн, И.Б. Мурманский, Н.В. Желонкин // Теплоэнергетика. 2020. № 10. С. 5–18
2. Тенденции исследований и разработок многоступенчатых пароструйных эжекторов паротурбинных установок / И.Б. Мурманский, К.Э. Аронсон, А.Ю. Рябчиков, Н.В. Желонкин // Теплоэнергетика 2020, №12, с. 42-49
3. Современный уровень и тенденции в проектировании и эксплуатации подогревателей высокого и низкого давления паровых турбин ТЭС и АЭС в России и за рубежом. Ч. 2. Особенности проектирования и эксплуатации подогревателей / Ю.М. Бродов, К.Э. Аронсон, А.Ю. Рябчиков, М.А. Ниренштейн, И.Б. Мурманский, Н.В. Желонкин // Теплоэнергетика. 2020. № 10. С. 19–26
4. Трухний А.Д. Стационарные паровые турбины М.: Энергоатомиздат, 1990.
5. Подогреватели высокого давления нового поколения для паротурбинных установок АЭС / В.М. Зорин, А.С. Шамарков, С.Б. Пустовалов // Теплоэнергетика. 2021, №4, с.35-46
6. Авдеев А.А., Шамарков А.С., Фальковский Л.Н. Подогреватели высокого давления коллекторноширмового типа // Теплоэнергетика. 2009. № 2. С. 51–56.
7. Рихтер Л. А., Елизаров Д.П., Лавыгин В.М. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций. – М.: Энергопромиздат, 1978. – 216с.

8. Галашов Н.Н. Тепломеханическое и вспомогательное оборудование тепловых электростанций : учебное пособие. - Томск : изд-во: Томского политехнического университета, 2010. - 244 с.
9. РТМ 108.271.23-84. Расчет и проектирование поверхностных подогревателей высокого и низкого давления. НПО ЦКТИ. 1985
10. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные.
11. КонсультантПлюс. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 09.03.2021). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
12. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studbooks.net/>, свободный. – Загл. с экрана.
13. КонсультантПлюс. Приказ Минтруда России N 988н, Минздрава России N1420н от 31.12.2020 «Об утверждении перечня вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные медицинские осмотры при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
14. Пожарная безопасность. Инструкция по охране труда для инженера АСУ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fire-declaration.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
15. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913>, свободный. – Загл. с экрана.
16. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 22269-76. Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. [Электронный

- ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012834>, свободный. – Загл. с экрана.
17. ТЕХЭКСПЕРТ. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901704046>, свободный. – Загл. с экрана.
18. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071>, свободный. – Загл. с экрана.
19. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения токов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>, свободный. – Загл. с экрана.
20. ТЕХЭСПЕРТ. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901703278>, свободный. – Загл. с экрана.
21. ТЕХЭКСПЕРТ. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>, свободный. – Загл. с экрана.
22. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, которое может воздействовать на человека. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vuzlit.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
23. Воздействие производственного шума на организм рабочих. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://34.rospotrebnadzor.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

24. Микроклимат на рабочем месте: от каких параметров он зависит, категории, оптимальные значения для разных объектов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mir-klimata.info/>, свободный. – Загл. с экрана.
25. Опасные и вредные производственные факторы и их классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lab-ecostar.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
26. Автоматическое регулирование прямоточных парогенераторов. Прямоточный парогенератор как объект регулирования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studme.org/>, свободный. – Загл. с экрана
27. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

Приложение А (рекомендуемое)

Таблица А1 – Сравнительная характеристика конденсаторов турбин General Electric и ЛМЗ

Характеристика	Турбины производства General Electric			Турбины производства ЛМЗ	
	1000	1200	1700	1000	1200
Мощность турбин, МВт	1000	1200	1700	1000	1200
Секционирование	Нет	Да	Нет	Да	Да
Тепловая нагрузка конденсаторов, МВт	1820	2030	2750	1846	1330
Абсолютное давление, кПа	5,5	5,2/7,0	3,5	5,1	3,4
Расчетная температура воды на входе, °С	25	22	13	20	12
Расход охлаждающей воды, м ³ /с	63	40	60	48	30
Нагрев охлаждающей воды, °С	7	6/6	11	9,9	11,6
Число ходов воды	1	1	1	2	1
Кратность охлаждения	83,8	47,7/47,5	53,2	53,5	48,8
Поверхность теплообмена, м ²	76000	70000	115000	82000	60000
Удельная паровая нагрузка, кг/(м ² ·ч)	35,6	43,1/43,3	35,30	36,1	35,7
Материал трубок	Титан	Нерж. сталь	Титан	МНЖ5–1	МНЖ5–1
Длина трубок, м	16,5	15	15,5	12	12

Продолжение таблицы А1

Способ крепления трубок в трубной доске	Вальцевание со сваркой			Вальцевание с раскаткой	
	Вес конденсатора без воды, т	2200	3450	5800	2050
Вес конденсатора с водой, т	3600	4600	9700	-	-
Высота конденсатора, м	13,0	16,5	14,0	14,9	12,9

Приложение Б (рекомендуемое)

Таблица Б1 – Технические характеристики подогревателей с двухниточной и одноститочной схемами

Характеристика	Двухниточная схема	Одноститочная схема		
	Две ступени подогревателей в одном аппарате	ПВД- Ш-5	ПВД- Ш-6	Две ступени подогревателей в одном аппарате
Тепловая мощность аппарата, МВт	$127.34 + 60.593 =$ 187.933	254.6 8	121,186	$254.68 +$ $121.186 =$ 375.866
Число подогревателей в группе (нитке)	1			
Число подогревателей на блок	2	1		
Диаметр корпуса внутренний, мм	2600/3000*	4000	3600	3600/4000*
Высота, мм: подогревателя трубного пучка	15420 5262/5262*	10 60 0 5408	10360 5408	16610 5408/5408*

Продолжение таблицы Б1

Площадь поверхности теплообмена, м	1915/2600*	5203	4210	4210/5203*
Недогрев питательной воды, °С	1.7/1.9*	1,9	1,7	1.7/1.9*
Недоохлаждение конденсата, °С	7.0/7.0*	7,0	1,5	1.5/7.0*
Гидравлическое сопротивление тракта питательной воды, МПа	0.1 + 0.1 = 0.2	0,1		0.1 + 0.1 = 0.2
Масса аппарата, т	122	125	100	213

* В числителе – значения для верхней части аппарата (ПВД-Ш-6), в знаменателе – для нижней части аппарата (ПВД-Ш-5).

Приложение В (справочное)

Таблица В1 – Допустимые величины психофизиологических
производственных факторов по показателям тяжести и напряженности труда.

Факторы трудового процесса	Допустимые
	Мужчины
1. Подъем и перемещение (разовое) тяжести при чередовании с другой работой (до 2 раз в час), кг	До 30
2. Подъем и перемещение (разовое) тяжести постоянно в течение рабочей смены, кг	До 15
3. Суммарная масса грузов, перемещаемых в течение каждого часа смены, кг:	
- с рабочей поверхности,	До 870
Факторы трудового процесса	Мужчины
-с пола	До 435
4. Рабочая поза	Периодическое, до 25% времени смены, нахождение в неудобной (работа с поворотом туловища, поднятыми руками, неудобным размещением конечностей) и (или) фиксированной позе (невозможность изменения взаимного положения тела относительно друг друга)
5. Наклоны корпуса (вынужденные более 30 град.), количество за смену	51-100
6. Перемещения в пространстве, обусловленные технологически процессом, км	До 8
7. Монотонность нагрузок	
7.1. Число элементов или повторяющихся операций	От 9 до 6
8. Сенсорные нагрузки	
8.1. Длительность сосредоточенного наблюдения (% от времени смены)	От 26 до 50
8.2. Плотность сигналов (световых, звуковых) в среднем за час работы	От 76 до 125
8.3. Число объектов наблюдения	От 6 до 10

Приложение Г (обязательное)

Таблица Г1 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1.Возможность организации полноценного эффективного охладителя пара С2.Полноценный эффективный охладитель конденсата на холодном ходу питательной воды. С3.Исключается необходимость продувки воздуха на теплообменных трубах при гидроиспытаниях. С4.Высокая надежность системы.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1.Сложность реализации охладителя пара по схеме Виолена. Сл2. Большая масса. Сл3.Сложность выделения зоны ОП Сл4. Сложность сверления трубной доски. Сл5. Сложность закрепления теплообменных труб при вертикальном сверлении отверстий.</p>
<p>Возможности: В1.Повышение спроса на продукт. В2. Ужесточение норм на выбросы загрязняющих веществ. В3. Повышение цен на иные топливные ресурсы не используемые для данного объекта. В4.Повышение стоимости конкурентных разработок. В5. Рост тарифов на электрическую и тепловую энергию.</p>	<p>Результаты анализа полей «Сильные стороны и возможности». 1. Повышение спроса на продукт из-за перехода энергетики на современные технологии. 2. Меньшая стоимость разработки системы в отличие от конкурентных за счет меньшего количества требуемой аппаратуры. 3. Ужесточение норм на выбросы загрязняющих веществ приведет к поиску нового способа сжигания топлива на который ориентирована система.</p>	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и возможности». 1. Повышение спроса на продукт приведет к повышению потребности в высококвалифицированном персонале. 2. При повышении стоимости конкурентных разработок, стоимость разработки системы на их фоне может выглядеть не высокой. 3. При понижении стоимости компонентов системы, стоимость системы также понизится.</p>

Продолжение таблицы Г1

<p>Угрозы: У1.Отсутствие спроса на продукт. У2.Повышение стоимости на топливо. У3.Усовершенствование конкурентных систем. У4.Появление новых проектных решений. У5.Снижение платежеспособности потребителей.</p>	<p>Результаты анализа полей «Сильные стороны и угрозы».</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие спроса на продукт из-за ориентированности системы на конкретные объекты. 2. При использовании современных компонентов системы, повышение стоимости на компоненты системы приведет к удорожанию системы в целом. 3. Появление новых мощных подогревателей. 	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и угрозы».</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие спроса на продукт из-за высокой стоимости системы. 2. Появление новых проектных решений, не имеющих привязки к конкретным параметрам объекта автоматизации. 3. Существенные капитальные затраты.
--	---	---

Приложение Д (обязательное)

Таблица Д1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

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

Приложение Е (обязательное)

Таблица Е1 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	t_{min} , чел.-дни		t_{max} , чел.-дни		$t_{ож}$, чел.-дни		T_{pi}		T_{ki}	
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	4	-	5	-	4,4	-	5	-	10
Выбор направления исследования	-	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4
Календарное планирование работ по теме	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Поиск и анализ существующих проектных решений	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков, поиск способ усовершенствования	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Оценка эффективности полученных результатов	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Определение целесообразности проведения ОКР	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Разработка проектной конструкторской документации, подбор оборудования	-	22	-	24	-	22,8	-	23	-	46

Продолжение таблицы Е1

Разработка мероприятий связанных с охраной труда и экологической безопасностью	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Оценка коммерческого потенциала, ресурсоэффективности, ресурсосбережения	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Составление пояснительной записки ВКР	-	4	-	5	-	2,4	-	5	-	10

Приложение Ж (обязательное)

Расчет затрат на специальное оборудование для научных 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 теме [27]. Затраты на оборудование приведены в таблице Ж1.

Таблица Ж1 – Расчет бюджета

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
Персональный компьютер	1	40 000	40 000
Итого			40 000

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

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.пк}} \cdot C_{\text{пк}}}{T_{\text{кал}} \cdot T_{\text{сл}}}, \quad (\text{Ж1})$$

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

$$K_{\text{ам}} = \frac{110 \cdot 40000}{365 \cdot 5} = 2411 \text{ руб./год.}$$

Основная заработная плата исполнителей проекта

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоёмкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок [27].

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату [27]:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (Ж2)$$

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

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле [27]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (Ж3)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [27]:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (Ж4)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 28 раб. дня $M=11,1$ месяца, 5-дневная рабочая неделя; в 48 раб.дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная рабочая неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно технического персонала, раб. дн. (таблица Ж2).

Таблица Ж2 – Баланс рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника [27]:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (Ж5)$$

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

Месячный должностной оклад руководителя и инженера:

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

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

Среднедневная заработная плата руководителя и инженера:

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

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

Основная заработная плата руководителя и инженера:

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

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

Расчет основной заработной платы приведен в таблице Ж3.

Таблица Ж3 – Расчет основной заработной платы

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

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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

обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодно оплачиваемого отпуска и т.д.) [27].

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [27]:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (\text{Ж6})$$

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

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФОМС) от затрат на оплату труда работников [27].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [27]:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (\text{Ж7})$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). В 2021 году коэффициент отчислений во внебюджетные фонды составил 30,2%.

Величина отчислений во внебюджетные фонды руководителя и инженера:

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

$$З_{\text{внеб}}^{\text{инж}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}}^{\text{инж}} + З_{\text{доп}}^{\text{инж}}) = 0,3 \cdot (71651,5 + 8598,2) = 24074,9 \text{ руб.}$$

Услуги сторонних организаций

Оплата услуги, сторонних организаций включает расходы, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями [27].

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

$$Z_{\text{контр}} = 800 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле [27]:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (\text{Ж8})$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16% [27].

Величина накладных расходов:

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{контр}} + A) \cdot k_{\text{нр}} = \\ &= 91103,5 + 10932,4 + 30610,8 + 800 + 2411) \cdot 0,16 = 21737,2 \text{ руб.} \end{aligned}$$

