TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Школа__ _Инженерная школа энергетики_____
Направление подготовки __13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника_____
Отделение школы (НОЦ)___НОЦ И.Н. Бутакова_____

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
«Проектирование парогенераторной установки для работы в составе энергетического блока АЭС с реактором ВВЭР-1200»

УДК 621.311.25:621.039.52::621.181-025.13

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Б4Б2	Асильбеков Аскар Кумисбекович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ. И.Н. Бутакова	Половников В.Ю.	к.т.н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Асс. НОЦ. И.Н. Бутакова	Нурпейис А.Е..	Асс.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Завьялова З.С.	к.ф.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Н.А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ	Антонова А.М.	к.т.н., доцент		

Томск – 2019 г.

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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 (специальность)_13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника__
Отделение школы (НОЦ)___НОЦ И.Н. Бутакова_____

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ _____ Антонова А.М.
(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
З-5Б4Б1	Асильбекову Аскару Кумисбековичу

Тема работы:

«Проектирование парогенераторной установки для работы в составе энергетического блока АЭС с реактором ВВЭР-1200»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	13.05.2019 г. №3689/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе *(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*	Цель настоящей выпускной квалификационной работы спроектировать парогенераторную установку для работы в составе энергетического блока с реактором, в соответствие с реальным, представить чертежи конструкции, рационально выбрать компоновку парогенератора в боксе. Руководствуясь научной литературой, учебными пособиями и методическими изданиями, провести необходимые расчёты по предлагаемым рекомендациям и методикам. Парогенераторы блоков АЭС с реакторами ВВЭР-1200 – вертикально расположенные теплообменные аппараты корпусного типа. Тип ПГ – насыщенного пара сЕЦ, ТТС – Э+И(корпусной Прототип, форма трубок - ПГ ВВЭР – 1200 (проект), верт., эвольвенты.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов *(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).*	1. Обоснование проектирования 1.1 Обзор источников по теме 1.2 Выбор и обоснование конструктивной схемы ПГ 2. Основные виды расчетов 2.1. Расчёт и построение тепловой диаграммы 2.2. Тепловой расчёт 2.3. Конструкторский расчёт 2.4. Расчет сепарации 2.5. Гидравлический расчет 2.6. Расчёт тепловой изоляции 2.7. Расчет водно-химического режима 2.8. Расчет стоимости парогенератора 3. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение 3.1. Состав и структура основных этапов проекта 3.1.2. Потенциальные потребители результатов исследования 3.2. Расчет затрат на проект парогенераторной установки 3.3. Расчет затрат на материалы 4. Социальная ответственность Заключение
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	ФЮРА.6934.10.0021.СК.002К Технологическая схема энергоблока ВВЭР-1200 ФЮРА.693410.001 Парогенератор вертикальный насыщенного пара ПГВ ФЮРА.693410.002 Парогенератор вертикальный насыщенного пара ПГВ

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Основной раздел (расчётно-аналитическая часть)	к.т.н. Доцент, Половников Вячеслав Юрьевич Асс. Нурпейис Атлант Едилулы
Социальная ответственность	ассистент ООД ШБИП Алексеев Николай Архипович
Финансовый менеджмент	к.ф.н. Доцент, ОСГН ШБИП Завьялова Зинаида Сергеевна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный руководитель ВКР	Половников В.Ю.	Профессор, д.ф-м.н.		
Консультант	Нурпейис А.Е.	Доцент, к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Б4Б1	Асильбеков Аскар Кумисбекович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И

Группа	ФИО
З-5Б4Б2	Асильбеков Аскар Кумисбекович

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Институт	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	Электроэнергетика и электротехника
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*	*- Типовой проект энергоблока АЭС-2006;* *- Расчет комбинированного энергоблока*
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*	*- Нормы и нормативы расходования ресурсов*
3. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*	*Размер страховых взносов – 26,2 %*
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*
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	*Планирование научного исследования: составление перечня этапов работ, определение трудоемкости выполнения работ, составление календарного план-графика выполнения работ. Формирование бюджета научного исследования: расчет материальных затрат, заработной платы исполнителей темы, отчислений во внебюджетные фонды, накладных расходов.*
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	*Расчет интегральных показателей ресурсо-эффективности научного исследования*
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*:	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений *2. Матрица SWOT* *3. Альтернативы проведения НИ* *4. График проведения и бюджет НИ* *5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП	Завьялова З.С.	к.ф.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Б4Б2	Асильбеков Аскар Кумисбекович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
З-5Б4Б2	Асильбеков Аскар кумисбекович

Школа	ИШЭ	**отделение**	НОЦ. И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавр	**Направление/специальность**	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	*Проектирование парогенераторной установки для работы в составе энергетического блока АЭС с реактором ВВЭР-1200*
Перечень вопросов, подлежащих исследованию проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность: *1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:* *− физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;* *− действие фактора на организм человека;* *− приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);* *− предлагаемые средства защиты;* *− (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).* *1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:* *− механические опасности (источники, средства защиты;* *− термические опасности (источники, средства защиты);* *− электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).*	***1. Производственная безопасность:*** *1.1. Анализ выявленных вредных факторов* *− Искусственное освещение;* *− Обеспечение санитарных норм по уровню шумов и вибрации;* *− Обеспечение микроклимата помещений;* *− Электростатическое излучение.* *1.2. Анализ выявленных опасных факторов* *− Обеспечение электробезопасности;* *− Взрывобезопасность;* *− Обеспечение противопожарной безопасности.*
2. Экологическая безопасность: *− защита селитебной зоны* *− анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);* *− анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);* *− анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);* *− разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды*	***2. Экологическая безопасность:*** *− Основные виды воздействия на окружающую среду;* *− Воздействия объекта на атмосферу;* *− Воздействие объекта на гидросферу;* *− Воздействие объекта на литосферу;* *− Предполагаемое акустическое воздействие объекта*

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: *− перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;* *− выбор наиболее типичной ЧС;* *− разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;* *− разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.*	***3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:*** *− Мероприятия по ЧС;* *− Возможные причины и факторы возникновения и развития ЧС;* *− Оценка последствий ЧС;* *− Предупреждение ЧС;* *− Ликвидация последствий ЧС.*
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: *− специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;* *− организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.*	***4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:*** *− Специальные трудовые нормы трудового законодательства;* *− Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны машиниста*

Задание выдал консультант:

Должность	**ФИО**	**Ученая степень, звание**	**Подпись**	**Дата**
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Н.Г.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	**ФИО**	**Подпись**	**Дата**
З-5Б4Б2	Асильбеков А.К.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 92 с., 5 рис., 3 табл., 12 источников, 1 прил.

Ключевые слова: жалюзи, ВВЭР 1200, вода, трубки, эвольвенты, вертикальный парогенератор.

Объектом исследования является (ются) парогенератор ВВЭР – 1200 (проект), верт., эвольвенты

Цель работы – провести расчет и спроектировать ПГ ВВЭР – 1200 (проект), верт., эвольвенты, при заданных параметрах.

В процессе исследования проводились: тепловой расчет, конструкторский расчёт, расчет сепарации, гидравлический расчёт, расчёт тепловой изоляции, расчет водно химического режима, расчет стоимости парогенератора.

В результате исследования был спроектирован и вычерчен ПГ ВВЭР – 1200 (проект), верт., эвольвенты.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: расход воды 2276,1 кг/с, давление теплоносителя 15,5 МПа, давление рабочего тела 6,7 МПа, расход пара 300 кг/с, ТТС: Э+И (корпусной).

Область применения: атомные электростанции.

Оглавление

Введение 9
1. Обоснование проектирования……..11
1.1. Обзор источников по теме……11
1.2. Выбор и обоснование конструктивной схемы ПГ 13
2. Основные виды расчетов……..14
2.1. Расчёт и построение тепловой диаграммы……..14
2.2. Тепловой расчет 16
2.3. Конструкторский расчёт 25
2.4. Расчет сепарации 28
2.5. Гидравлический расчёт 29
2.6. Расчёт тепловой изоляции 34
2.7. Расчет водно-химического режима 35
2.8. Расчет стоимости парогенератора..... 37
3. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение...42
3.1. Состав и структура основных этапов проекта……43
3.1.2 Потенциальные потребители результатов исследования 45
3.2 Расчет затрат на проект парогенераторной установки для работы в составе Энергоблока АЭС 46
3.3. Расчет затрат на материалы……..51
3.4.Расчет численности работающих по категориям……51
3.5. Расчет фонда заработной платы……52
3.6. Расчет общепроизводственных расходов……54
3.7. Расчет общехозяйственных расходов……..55
3.8. Расчет прибыли……..56
КАЛЬКУЛЯЦИЯ 57
3.9. Расчет экономического эффекта……...58
4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ 60
4.1. Техногенная безопасность……63
Заключение……66
Список литературы: 67

Приложение А

Графические Материалы:

ФЮРА.6934.10.0021.СК.002К Технологическая схема энергоблока ВВЭР-1200
ФЮРА.693410.001 Парогенератор вертикальный насыщенного пара ПГВ
ФЮРА.693410.002 Парогенератор вертикальный насыщенного пара ПГВ

Введение

Парогенераторы АЭС относят к особо сложным агрегатам современной техники. Для создания проекта о парогенераторе – задача многоплановая и трудоёмкая. Нет такой методики проектирования парогенератора, в которой можно сразу и легко получить его оптимальную схему. Для получения необходимо многократно, целенаправленно, учитывать всё многообразие факторов.

Для проектирования парогенератора нет строго принятых канонов, однако выполнение ряда принципиально важных рекомендаций облегчает проектирование и повышает его качество.

Для двух и трёх контурных АЭС, парогенератор является обязательным элементом.

Различают парогенераторы по теплоносителю, это − обогреваемые водой, газом или расплавленным металлом. В данной выпускной квалификационной работе будет рассмотрена конструкция ПГ с водяным теплоносителем, вертикальный.

Различие по характеру работы процессов в ПГ АЭС с ВВЭР, протекающих на стороне второго контура, различают двух видов: ПГ, в которых рабочая среда кипит в объеме на погруженной в нее поверхности нагрева; ПГ с естественной циркуляцией и в межтрубном пространстве плотного трубного пучка (прямоточного ПГ).

Типы ПГ с водяным теплоносителем в основном, горизонтальный и вертикальный однокорпусные ПГ с погружной поверхностью нагрева и встроенными паросепарационными устройствами. В качестве поверхности нагрева этих ПГ используют трубы малого наружного диаметра 12-22 мм.

Для выравнивания нагрузки зеркала испарения устанавливают погружной дырчатый щит. Для получения пара применяют паросепарционные и паропромывочные устройтсва.

Энергоблок состоит из реакторной установки с водоводяным энергетическим реактором с водой под давлением и турбоустановки. Тепловая схема – двухконтурная.

Первый контур - радиоактивный и состоит из гетерогенного реактора на тепловых нейтронах, четырех главных циркуляционных петель, парового компенсатора давления, вспомогательного оборудования. В состав каждой циркуляционной петли входят: парогенератор, главный циркуляционный насосный агрегат, главный циркуляционный трубопровод Ду 850.

Топливом является слабообогащенная двуокись урана. Нагреваемый при прохождении через активную зону реактора теплоноситель первого контура поступает в парогенераторы, где отдает свое тепло через стенки трубной системы воде второго контура.

Второй контур - не радиоактивный, состоит из паропроизводительной части парогенераторов, главных паропроводов, одного турбоагрегата, их вспомогательного оборудования и обслуживающих систем, оборудования деаэрации, подогрева и подачи питательной воды в парогенераторы.

Турбоустановка включает в себя паровую турбину и генератор, монтируемый на общем фундаменте с турбиной. Турбина снабжена конденсационным устройством, регенеративной установкой для подогрева питательной воды, сепараторами пароперегревателями, имеет нерегулируемые отборы пара на подогреватели системы регенерации, на собственные нужды станции и на подогрев добавки химически очищенной воды в цикл.

Упрощенная общая технологическая схема АЭС с указанием основного оборудования представлена на чертеже.

1. ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Цель настоящей выпускной квалификационной работы спроектировать парогенераторную установку для работы в составе энергетического блока с реактором, в соответствие с реальным, представить чертежи конструкции, рационально выбрать компоновку парогенератора в боксе. Руководствуясь научной литературой, учебными пособиями и методическими изданиями, провести необходимые расчёты по предлагаемым рекомендациям и методикам.

1.1. Обзор источников по теме

Разработка ПГ вертикальной компоновки, в котором была бы сохранена вся "идеология" горизонтального ПГ проводилась и в России в ОКБ "Гидропресс", начиная с 60-ых годов. Специалисты ОКБ "Гидропресс" занимаются поисками такой конструкции, которая позволила бы использовать преимущества горизонтальных ПГ с одновременным устранением недостатков, присущих "традиционным" вертикальным ПГ.

Некоторые варианты вертикальных ПГ, разработанных в ОКБ "Гидропресс".

а) горизонтальные трубы, один коллектор

б) горизонтальные трубы, два коллектора

в) витой пучок

г) ширмовый пучок.

В середине 80-ых годов в нашей стране прорабатывался концептуальный проект ВВЭР- 1500 с вертикальным ПГ.

Корпус ПГ - вертикальный, змеевики (теплообменные трубы) - горизонтальные, концы их заделаны в стенки вертикальных цилиндрических коллекторов теплоносителя. В верхней части установлена двухступенчатая система сепарации по типу, обычно принятому, в вертикальных ПГ существующих конструкций.

При сохранении всех преимуществ ПГ горизонтального типа в разрабатываемой конструкции имеется резерв по увеличению единичной мощности без изменения диаметра корпуса. В такой компоновке можно проще выделить часть трубного пучка для организации экономайзерного участка.

Вертикальные ПГ не имеют преимуществ перед горизонтальными ни по тепловой эффективности, ни по требуемым размерам герметичной оболочки.

В свою очередь, несмотря на отдельные недостатки, основная конструктивная схема и тип вертикального парогенератора на АЭС с PWR (т.е. на зарубежных АЭС) будут сохранены как принципиальное направление парогенераторостроения.

1.2. Выбор и обоснование конструктивной схемы ПГ

Парогенераторы блоков АЭС с реакторами ВВЭР-1200 – вертикально расположенные теплообменные аппараты корпусного типа. В табл. 1 представлены исходные данные для расчета ПГ.

Таблица 1 – Исходные данные для ПГ

Тип ПГ	Насыщенного пара, с ЕЦ
Вид т/н	Вода
D_2, кг/с	300
P_1,Мпа	15,5
t'_1, ^{0}C	332
t''_1, ^{0}C	290
P_2,Мпа	6,7
t''_2, ^{0}C	$t_{нас}$
$t_{пв}$, ^{0}C	220
$\alpha_{пр, \%}$	0,4
ТТС	Э+И (корпусной)
Источник тех. Воды	Балтийское море
Прототип, форма трубок	ПГ ВВЭР – 1200 (проект), верт., эвольвенты

2. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ РАСЧЕТОВ

2.1. Расчёт и построение тепловой диаграммы

Для рассчитываемого парогенератора уравнение теплового баланса имеет следующий вид:

$$Q_{ПГ} = \frac{D_{тн} \cdot \left(h_1^{вх} - h_1^{вых}\right) \cdot \eta_{ПГ}}{1000} = \left(D + D_{пр}\right) \cdot \left(h_s - h_{пв}\right) + D_r,$$

где $Q_{ПГ}$ – количество тепла, переданного от теплоносителя рабочему телу в ПГ ,МВт; $D_{тн}$ – расход теплоносителя, кг/с; $h_1^{вх}$ и $h_1^{вых}$ – соответственно энтальпия на входе в парогенератор и на выходе из него, Дж/кг.

Значения $h_1^{вх}, h_1^{вых}$ определяются по таблице в [1] и [2]:

$t_s = f(p_2) = 282{,}88\ ^0C$; $h_s' = 1251{,}81$ кДж/кг -энтальпия воды в состоянии насыщения; $h_{п.в} = 943{,}64$ кДж/кг -энтальпия энтальпия питательной воды; $h_s''(p_2) = 2776{,}39$ кДж/кг -энтальпия пара в состоянии насыщения; $h^{вх}(p_1, t_1') = 1530{,}83$ кДж/кг; $h^{вых}(p_1, t_1'') = 1284{,}17$ кДж/кг.

$Q_{ПГ}$ рассчитывается по формуле: $Q_{ПГ} = Q_и + Q_э$,

$$Q_{ПГ} = Q_э + Q_и = D_2(1 + a_{пр}/100) \cdot (h_s' - h_{п.в.}) + D_2 \cdot (h_s'' - h_s') = 300(1 + 0{,}4/100) \cdot$$
$$(1251{,}81 - 943{,}64) + 300 \cdot (2776{,}39 - 1251{,}81) = 550.2 \cdot 10^3\ кДж.$$

Здесь $Q_и = 457{,}37 \cdot 10^3 кДж$; $Q_э = 92{,}82 \cdot 10^3 кДж$;

Из уравнения теплового баланса определяем расход теплоносителя:

$$G = \frac{Q_{ПГ}}{\left(h_1^{вх} - h_1^{вых}\right) \cdot \eta_{ПГ}} = \frac{550{,}2 \cdot 10^3}{\left(1530{,}83 - 1384{,}17\right) \cdot 0{,}98} = 2276{,}1\,кг/с.$$

Проверим полученный результат с помощью формулы:

$$G = \frac{Q_{ПГ}}{\left(t_1^{вх} - t_1^{вых}\right) \cdot Cp} = \frac{550{,}2 \cdot 10^3}{\left(332 - 290\right) \cdot 5{,}81} = 2254{,}7\,кг/с.$$

Посчитаем расхождение результатов

$$\frac{G1 - G2}{G1} * 100\% = 0{,}94 \le 1\%\ \textit{решение найдено верно}.$$

Рассмотрим расчет температуры рабочего тела при смешении питательной воды с водой контура естественной циркуляции ПГ. Если

$К_ц=D_ц/D$ – кратность циркуляции контура, то уравнение смешения двух потоков воды можно записать следующим образом:

$$k_ц \cdot h_ц = h_{пв} + (k_ц - 1) \cdot h_s', \text{ отсюда } \quad h_ц = \frac{h_{пв} + (k_ц - 1) \cdot h_s'}{k_ц};$$

Кратность циркуляции в подобных ПГ изменяется от 4 до 8-10 [1]. Принимаем $К_ц = 6$, тогда

$$h_ц = \frac{h_{пв} + (k_ц - 1) \cdot h_s'}{k_ц} = \frac{943,64 + (6-1) \cdot 1251,81}{6} = 1200,5 кДж/кг;$$

что соответствует $273°C$ - это температура воды при смешивании питательной воды с водой контура естественной циркуляции.

Теплосодержание воды на выходе из экономайзерного участка:

$$h_{1и}'' = h_1' - \frac{Q_и}{G \cdot \eta} = 1530.83 - \frac{457,37 \cdot 10^3}{2276,1 \cdot 0.98} = 1325,78 кДж/кг, \text{ а } t_{1и}' = 296,5°C;$$

На рис. 1 представлена T-Q диаграмма, которая построена на основе полученных данных.

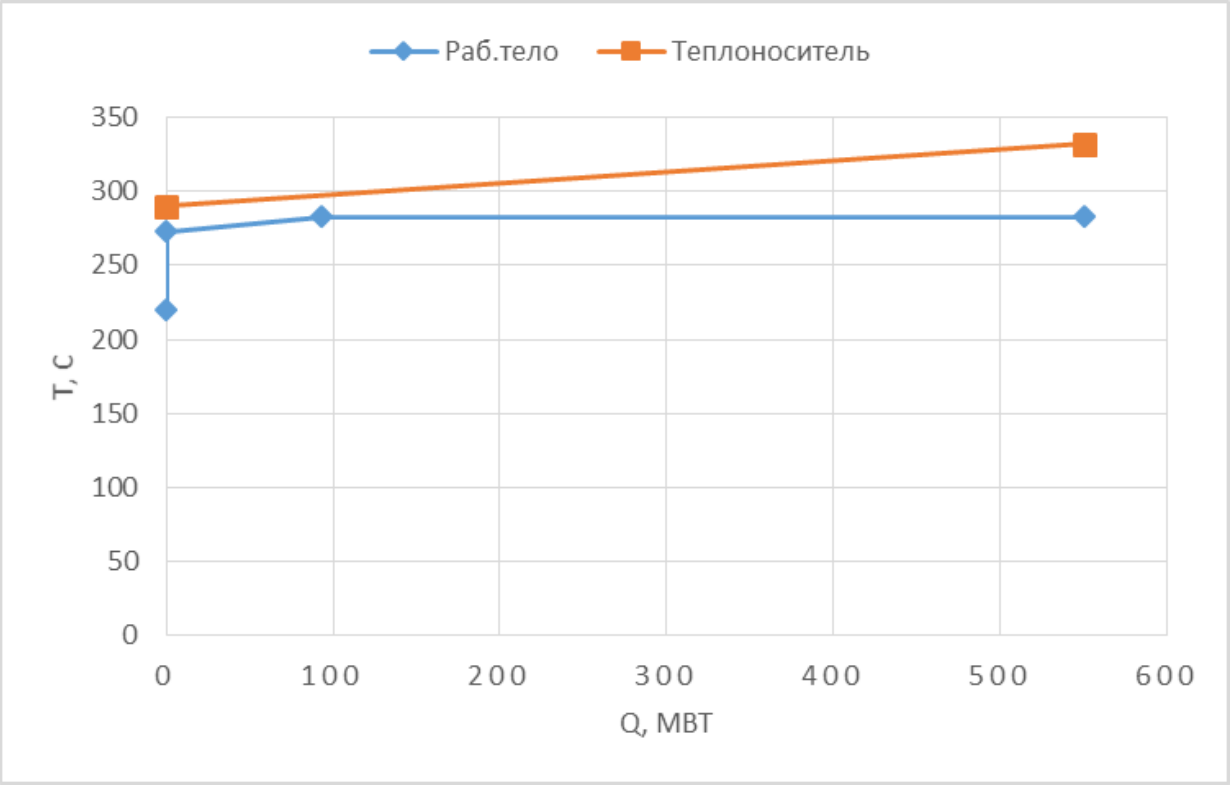

Рисунок 1 – T,Q-Диаграмма парогенератора

2.2. Тепловой расчет

Выбор материала и диаметр труб теплопередающей поверхности и коллектора теплоносителя, материала корпуса принимаем согласно прототипу, следующие марки стали:

- для труб теплопередающей поверхности – 0Х18Н10Т;
- для коллектора теплоносителя – 10ГН2МФА;
- плакированная со стороны, омываемой теплоносителем, сталью 0Х18Н10Т;
- для элементов корпуса – 22К.

Расчёт ПГ производим с наружным диаметром труб $d_H = 14$ мм.

2.1. Расчет толщины стенок труб теплопередающей поверхности, входной и выходной камер коллектора теплоносителя

Толщины стенки труб теплопередающей поверхности:

$$\delta_p = \frac{P_{1p} \cdot d_H}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] + P_{1p}} + C.$$

Расчетное давление теплоносителя:

$$P_{1p} = 0,9 \cdot 1,25 \cdot P_1 = 0,9 \cdot 1,25 \cdot 15,5 = 17,4375 \ МПа.$$

Температура стенки труб:

$$t'_{ст.р} = 0,5 \cdot \left(t^{вн}_{ст} + t^{н}_{ст}\right) = 0,5 \cdot \left\{\left[t_1^{'} - \frac{k}{\alpha_1} \cdot \left(t_1^{'} - t_s\right)\right] + \left[t_s + \frac{k}{\alpha_2} \cdot \left(t_1^{'} - t_s\right)\right]\right\} =,$$

$$= 0,5 \cdot (332 + 282,88) = 307,44^0 C;$$

при $t'_{ст.р} = 276.95^0 C$ для стали 0Х18Н10Т $[\sigma_H] = 12 \ кгс/мм^2$.

Коэффициент прочности труб $\varphi = 1$

$$\delta_p = \frac{1,779 \cdot 14}{2 \cdot 1 \cdot 12 + 1,779} + C = 0,966 + C,$$

Прибавка к толщине на минусовой допуск $C_1 = 0,11 \cdot \left(\delta_p - C\right) = 0,106 мм$,

$C_2 = 0$, $C_3 = 0$,

$$C_4 = \left[\frac{1{,}5\left(\frac{a}{100} - \frac{\delta_p}{d_н} \right)}{1{,}5\frac{a}{100} - \frac{\delta_p}{d_н}} \right] \delta_p = \left[\frac{1{,}5\left(\frac{12}{100} - \frac{1{,}4}{14} \right)}{1{,}5\frac{12}{100} - \frac{1{,}4}{14}} \right] 1{,}4 = 0{,}222 мм,$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 = 0,222 + 0,106 = 0,32825 мм,$$

$$\delta_p = 0,966 + 0,32825 = 1,2942 мм \approx 1,4 мм.$$

Внутренний диаметр труб $d_B = d_H - 2 \cdot \delta = 14 - 2 \cdot 1{,}4 = 11{,}2 мм$.

Площадь живого сечения трубы $f_{TP} = \frac{\pi \cdot d_B^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}0112^2}{4} = 9{,}85 \cdot 10^{-5} м^2$.

Внутренний диаметр $d_{BK} = 1{,}5 м$.

Расчетная температура стенки камер $t_{ст}^p \geq t_1' = 300°C$;

Номинальное допустимое напряжение для стали 10ГН2МФА при температуре $332°C$: $[\sigma_H] = 21{,}7 кгс / мм^2$.

Расположение отверстий в камерах для завальцовки труб теплопередающей поверхности – шахматное; диаметр отверстия $d_0 = d_н + 0.2 = 14.2 мм$.

Продольный шаг расположения отверстий: $s_{1k} \geq 2d_н = 30 мм.$

Поперечный шаг по окружности внутренней поверхности: $s_{2k} = 26 мм.$

Число отверстий в поперечном ряду: $n_{2k} = \frac{\pi \cdot d_{в.к.}}{s_{2k}} = \frac{3.14 \cdot 1.5}{0.026} \approx 181.$

Предварительно задаемся толщиной стенки камер: $\delta_к' = 160 мм.$

Средний диаметр камер: $d_{с.к.} = d_{в.к.} + \delta_к' = 1260 + 160 = 1420 мм.$

Поперечный шаг по средней окружности: $s_{2k.c} = s_{2k} \cdot \frac{d_{с.к.}}{d_{в.к.}} = 26 \cdot \frac{1,42}{1,26} \approx 30 мм;$

Коэффициенты прочности камер в различных направлениях:

в продольном $\varphi_1 = \frac{(s_{1k} - d_0)}{s_{1k}} = \frac{30 - 14.2}{30} = 0.526;$

в поперечном $\varphi_2 = 2 \cdot \frac{(s_{2k.c} - d_0)}{s_{2k.c}} = 2 \cdot \frac{30 - 14.2}{30} = 1.052;$

в диагональном (при $m = \frac{s_{2k.c}}{s_{1k}} = \frac{30}{30} = 1$ и $a = \frac{s_{1k}}{2} = \frac{30}{2} = 15мм$

$$\varphi_3 = \frac{1 - \frac{d_0}{a} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+m^2}}}{\sqrt{1 - 0.75 \cdot \left(\frac{m^2}{1+m^2}\right)^2}} = \frac{1 - \frac{14.2}{15} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+1}}}{\sqrt{1 - 0.75 \cdot \left(\frac{1}{1+1}\right)^2}} = 0.367.$$

Коэффициент прочности камер: $\varphi = \varphi_3 = 0.367.$

Расчетная толщина стенки камеры:

$\delta_p = \frac{P_{1p} \cdot d_{B.к.}}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - P_{1p}} + C = \frac{1,778 \cdot 1260}{2 \cdot 0,367 \cdot 21,7 - 1,778} + C = 159 + C,$ при С=1мм; $\delta_p = 160мм.$.

Принимаем толщину стенки $\delta_p = 0,16м$.

Наружный диметр $d_{H.K.} = d_{B.K.} + 2\delta_K^P = 1,26 + 2 \cdot 0,16 = 1,58м.$.

2.2. Число труб теплопередающей поверхности

Принимаем скорость теплоносителя на входе в трубки $\omega_{1вх} = 3м/с$. Удельный объем теплоносителя на входе $\upsilon_1^{/} = 1,55 \cdot 10^{-3}\ м^3/кг.$ определяем по P_1 и t_1'.

Из уравнения неразрывности определим число труб теплопередающей поверхности:

$$n' = \frac{G \cdot \upsilon_1'}{\omega_{1вх} \cdot f_{тр}} = \frac{2254,7 \cdot 1,55 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 9,85 \cdot 10^{-5}} \approx 11831шт.$$

Число трубок в поперечном ряду коллектора

$$n_{2к} = \frac{\pi \cdot d_{BK}}{s_{2c}} = \frac{3.14 \cdot 1,5}{0.026} = 181шт.$$

Число рядов в камере

$$n_{1к}' = \frac{n'}{n_{2к}} = \frac{11830}{181} = 65,36 \approx 66\ шт.$$

Проверим число трубок

$$n_{тр} = n_{1к}(n_{2к} - 3) = 66 \cdot (181 - 3) = 11748шт.$$

Диаметр первого слоя :

$$d_{I1} = d_{н.кам.} + 2 \cdot (0,04 + 3,5 \cdot d_н) = 1,88 + 2 \cdot (0,04 + 3,5 \cdot 0,014) = 2,058 м.$$

Диаметр последнего слоя:

$$d_{I\,\mathrm{Im}} = 3.276$$

Шаг между слоями навивки примем:

$$s_{2сл} = 0,018 м.$$

Внутренний диаметр обечайки трубного пучка

$$d_{в.об} = d_{II\,\mathrm{Im}} + s_{2сл} = 3,276 + 0.018 = 3.294 м.$$

Толщина обечайки

$$\delta_{об} = 0,006 м.$$

Наружный диаметр обечайки

$$d_{н.об} = d_{в.об} + 2 \cdot \delta_{об} = 3,294 + 2 \cdot 0,006 = 3,306 м.$$

Средний диаметр межтрубного пространства

$$d_{ср} = \frac{1}{2} \cdot (d_{I1} + d_{I\,\mathrm{Im}}) = \frac{1}{2} \cdot (2,058 + 3,276) = 2,667 м.$$

2.3. Расчет площади теплопередающей поверхности испарительного участка ПГ

Исходные данные:

$Q_и$=457,374*10^3 кДж/кг, $t'_{1и} = t'_1 = 322\ ^oC$, $t''_1 = 296,5\ ^oC$, $t'_{2и} = t''_{2и} = t_s = 282,88\ ^oC$

Площадь теплопередающей поверхности рассчитывается по формуле

$$S_и = \frac{Q_и}{k_и \cdot \Delta t_{ср.и}}$$

Так как отношение $\frac{d_н}{d_в} = 14/11,2 \le 2,$ то коэффициент теплоотдачи k

рассчитывается по формуле $k = \left[\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}\right]^{-1}$

Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к стенке

$$\alpha_1 = 0,021 \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \mathrm{Re}^{0.8} \cdot \mathrm{Pr}^{0.43} \cdot C_t \cdot C_l,$$

где поправочные коэффициенты C_t и C_l в расчёте можно принять равными единице.

Рассчитаем скорости теплоносителя на входе и выходе трубки

$$\omega_{1вх} = \frac{G \cdot v_1'}{n_{тр} \cdot f_{тр}} = \frac{2276.1 \cdot 0.0015501}{11748 \cdot 9.85 \cdot 10^{-5}} = 3,05 \ м/с,$$

$$\omega_{1вых} = \frac{G \cdot v_1''}{n_{тр} \cdot f_{тр}} = \frac{2276.1 \cdot 0.0013631}{11748 \cdot 9.85 \cdot 10^{-5}} = 2,68 \ м/с.$$

Определим число Рейнольдса для входного и выходного участков

$$\mathrm{Re}_{вх} = \frac{\omega_{1вх} \cdot d_в}{v_1' \cdot \mu_1'} = \frac{3.05 \cdot 0,0112}{0.0015501 \cdot 79.05 \cdot 10^{-6}} = 2.788 \cdot 10^5,$$

$$\mathrm{Re}_{вых} = \frac{\omega_{1вых} \cdot d_в}{v_1'' \cdot \mu_1''} = \frac{2.69 \cdot 0,0112}{0.0013401 \cdot 95.15 \cdot 10^{-6}} = 2,316 \cdot 10^5.$$

Коэффициенты теплопроводности $\lambda_{1вх} = 0,493 \ \frac{Вт}{м \cdot к}$, $\lambda_{1вых} = 0,570 \ \frac{Вт}{м \cdot к}$.$\mathrm{Pr}_{вх}$=1,135; $\mathrm{Pr}_{вых}$=0,88.

Найдем $\alpha_{1и}'$ (*входной участок*) *и* $\alpha_{1и}''$(*выходной участок*)

$$\alpha_{1и}' = 0,021 \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot (\mathrm{Re})^{0.8} \cdot \mathrm{Pr}^{0.43} \cdot 1 \cdot 1; \ kВт/м^2 \cdot к$$

$$\alpha_{1и}' = 0,021 \cdot \frac{0,493}{0,0112} \cdot \left(2.788 \cdot 10^5\right)^{0.8} \cdot 1,135^{0.43} \cdot 1 \cdot 1 = 22.17 \ kВт/м^2 \cdot к,$$

$$\alpha_{1и}'' = 0,021 \cdot \frac{0,570}{0,0112} \cdot \left(2,316 \cdot 10^5\right)^{0.8} \cdot 0,88^{0.43} \cdot 1 \cdot 1 = 19.81 \ kВт/м^2 \cdot к.$$

Определим α_2' по формуле

$$\alpha_2' = 3.195 \cdot q^{2/3} \cdot p^{3/4} \ ,$$

где $\lambda_{ст} = 18,8 \ Вт/м \cdot к$, находится по температуре стенки

$$t_{ст} = t_s + \frac{1}{3} \cdot \Delta t_б = 282,88 + \frac{1}{3} \cdot (332 - 282,88) = 299,3 \ ^oC,$$

$$K = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + 2R_{ок} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1};$$

$$q_{расч}^{вход} = K_{вх} \cdot (t_1' - t_{s2}).,$$

подставим в уравнение для α'_2 примем $q' = 187 \ \frac{кВт}{м^2}$,

$$\alpha'_{2и} = 3,195 \cdot 187200^{2/3} \cdot 6,7^{3/4} = 43540,91 \ Вт/м^2 \cdot к,$$

определим k

$$k' = \left[\frac{1}{22,17} + \frac{0,0014}{18,8} + \frac{1}{43,54} + 0,00012\right]^{-1} = 3,81 \ \frac{кВт}{м^2 \cdot к}.$$

Проверим результат пересчитав тепловой поток

$$q'' = k' \cdot \Delta t = 3,81 \cdot (332 - 282,88) = 187,077 \ \frac{кВт}{м^2}.$$

Отношение принятого и рассчитанного значений теплого потока находятся в интервале $0,95 \le \left(q'/q'' = \frac{187}{187,077}\right) \le 1,05$, то значения α_2 и k окончательными.

Аналогично определим для выхода примем $q' = 44,7 \ \frac{кВт}{м^2}$,

$$\alpha''_{2и} = 3,195 \cdot 21,62^{2/3} \cdot 6,7^{3/4} = 16865 \ Вт/м^2 \cdot к,$$

где $\lambda_{ст} = 18,6 \ Вт/м \cdot к$, находится по температуре стенки

$$t_{ст} = t_s + \frac{1}{3}\Delta t_м = 282,88 + \frac{1}{3}\left(296,5 - 282,88\right) = 287,42 \ ^oC,$$

определим k

$$k' = \left[\frac{1}{19,81} + \frac{0,0014}{18,8} + \frac{1}{16,87} + 0,00012\right]^{-1} = 3,28 \ \frac{кВт}{м^2 \cdot к}.$$

Проверим результат пересчитав тепловой поток

$$q'' = k' \cdot \Delta t = 3,29 \cdot (296,5 - 282,88) = 44,71 \ \frac{кВт}{м^2}.$$

Погрешность в вычислениях не превышает допустимой

$(0.95 \le q''/q''' = 44,7/44,71 \le 1,05)$.

Определим средний коэффициент теплопередачи и площадь теплопередающей поверхности

$$k_и = \frac{k_{вх} + k_{вых}}{2} = \frac{3,81 + 3,28}{2} = 3,55 \ \frac{кВт}{м^2 \cdot к},$$

$$S_и = \frac{Q_и}{k_и \cdot \Delta t_{ср.и}} = \frac{457,37 \cdot 10^3}{3,55 \cdot 27,67} = 4661,07 \ м^2.$$

Больший температурный напор

$$\Delta t_б = t'_{1и} - t_s = 332 - 282,88 = 49.12°C,$$

Меньший температурный напор

$$\Delta t_м = t''_{1и} - t_s = 296,5 - 282,88 = 13.62°C.$$

Средне-логарифмический температурный напор испарительного участка:

$$\Delta t^и{}_{ср} = \frac{\Delta t_б - \Delta t_м}{\ln \frac{\Delta t_б}{\Delta t_м}} = \frac{49,12 - 13,62}{\ln \frac{49,12}{13,62}} = 27.67°C.$$

Длина труб теплопередающей поверхности испарителя

$$L^и_р = \frac{S}{\pi \cdot к_{зап} \cdot d_{ср}} = \frac{4661,07}{3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,0126} = 112200,7 \ м.$$

Длина одной трубы

$$l = \frac{L}{n_{тр}} = \frac{112200,7}{11700} = 9,551 \ м.$$

2.4. Расчет площади теплопередающей поверхности экономайзерного участка ПГ

Исходные данные:

$Q_э$=92,82*10^3 кДж/кг, $t'_{1э} = t''_{1и} = 296,5 \ ^oC$, $t''_{1э} = 290 \ ^oC$, $t''_{2э} = t'_{2и} = t_s = 282.88 \ ^oC$

$t'_{2э} = t_{пв} = 220°C$.

Площадь теплопередающей поверхности рассчитывается по формуле

$$S_и = \frac{Q_и}{k_и \cdot \Delta t_{ср.и}}$$

Так как отношение $\frac{d_н}{d_в} = 14/11,2 \le 2,$ то коэффициент теплоотдачи k

рассчитывается по формуле $k = \left[\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}\right]^{-1}$

Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к стенке

$$\alpha_1 = 0,021 \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \mathrm{Re}^{0.8} \cdot \mathrm{Pr}^{0.43} \cdot C_t \cdot C_l,$$

где поправочные коэффициенты C_t и C_l в расчёте можно принять равными единице.

Рассчитаем скорости теплоносителя на выходе трубки, так как на входе уже рассчитали выше.

$$\omega_{1вых} = \frac{G \cdot v_1''}{n_{тр} \cdot f_{тр}} = \frac{2276.1 \cdot 0.0013401}{11748 \cdot 9.85 \cdot 10^{-5}} = 2,682 \ м/с.$$

Определим число Рейнольдса для выходного участков

$$\mathrm{Re}_{вых} = \frac{\omega_{1вых} \cdot d_в}{v_1'' \cdot \mu_1''} = \frac{2.648 \cdot 0,0112}{0.0013401 \cdot 95.3 \cdot 10^{-6}} = 2,316 \cdot 10^5.$$

Коэффициенты теплопроводности $\lambda_{1вых} = 0,578 \ \frac{Вт}{м \cdot к}$. $\mathrm{Pr}_{вых}$=0,865.

Найдем $\alpha_{1и}''$(*выходной участок*)

$$\alpha_{1и}' = 0,021 \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot (\mathrm{Re})^{0.8} \cdot \mathrm{Pr}^{0.43} \cdot 1 \cdot 1; \ kВт/м^2 \cdot к$$

$$\alpha_{1и}'' = 0,021 \cdot \frac{0,578}{0,0112} \cdot \left(2,322 \cdot 10^5\right)^{0.8} \cdot 0,865^{0.43} \cdot 1 \cdot 1 = 19.91 \ kВт/м^2 \cdot к.$$

Определим α_2' по формуле

$$\alpha_2' = 3.195 \cdot q^{2/3} \cdot p^{3/4} \ ,$$

где $\lambda_{ст} = 18,5 \ Вт/м \cdot к$, находится по температуре стенки

$$t_{ст} = t_s + \frac{1}{3} \cdot \Delta t_б = 273 + \frac{1}{3} \cdot (290 - 273) = 278,7 \ ^oC,$$

$$K = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + 2R_{ок} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1};$$

$$q_{расч}^{вход} = K_{вх} \cdot (t_1' - t_{s2}).,$$

подставим в уравнение для α'_2 примем $q' = 57,4 \ \frac{кВт}{м^2}$,

$$\alpha''_{2и} = 3,195 \cdot 19,98^{2/3} \cdot 6,7^{3/4} = 19800 \ Вт/м^2 \cdot к,$$

определим k

$$k' = \left[\frac{1}{19,91} + \frac{0,0014}{18,5} + \frac{1}{19,8} + 0,00012 \right]^{-1} = 3,375 \ \frac{кВт}{м^2 \cdot к}.$$

Проверим результат пересчитав тепловой поток

$$q'' = k' \cdot \Delta t = 3,375 \cdot (290 - 273) = 57,37 \ \frac{кВт}{м^2}.$$

Погрешность в вычислениях не превышает допустимой

$(0.95 \le q''/q''' = 57,4/57,37 \le 1,05)$.

Определим средний коэффициент теплопередачи и площадь теплопередающей поверхности

$$k_и = \frac{k_{вх} + k_{вых}}{2} = \frac{3,283 + 3,375}{2} = 3,33 \ \frac{кВт}{м^2 \cdot к},$$

$$S_и = \frac{Q_и}{k_и \cdot \Delta t_{ср.и}} = \frac{457,37 \cdot 10^3}{3,33 \cdot 15,25} = 1828,834 \ м^2.$$

Больший температурный напор

$$\Delta t_б = t'_{1и} - t_s = 296,5 - 282,88 = 13.62°C,$$

Меньший температурный напор

$$\Delta t_м = t''_{1и} - t_s = 290 - 273 = 17°C.$$

Средне логарифмический температурный напор испарительного участка:

$$\Delta t^и{}_{ср} = \frac{\Delta t_б - \Delta t_м}{\ln \frac{\Delta t_б}{\Delta t_м}} = \frac{13,62 - 17}{\ln \frac{13,62}{17}} = 15.25°C.$$

Длина труб теплопередающей поверхности испарителя

$$L^и_р = \frac{S}{\pi \cdot к_{зап} \cdot d_{ср}} = \frac{1828,834}{3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,0126} = 44023,53 \ м.$$

Длина одной трубы

$$l = \frac{L}{n_{тр}} = \frac{44035,9}{11748} = 3,747 \ м.$$

3.1. Определяем площадь теплопередающей поверхности, длины труб ПГ

Расчетная площадь теплопередающей поверхности:

$$S_р = S_и + S_э = 4661,066 + 1828,834 = 6489,9 \ м^2.$$

Площадь теплопередающей поверхности ПГ

$$S = S_р \cdot 1,125 = 6489,9 \cdot 1,1 = 7138,89 \ м^2.$$

Длина труб:

$$L_р = \frac{S}{\pi \cdot d_{ср}} = \frac{7138,89}{3,14 \cdot 0,0126} = 180439 \ м.$$

Длина одной трубы:

$$l = \frac{L}{n_{тр}} = \frac{180439}{11748} = 15,359 \ м; l = 15,359 + 2 \cdot 0,19 = 16,309.$$

Длинна труб с учетом заделки в коллектор не превышает 17м, расчет произведен верно.

Длина труб с учетом заделки:

$L_р = (l + 2 \cdot \delta_{колл}) \cdot n_{тр} = (15,359 + 2 \cdot 0,19) \cdot 11748 = 191598,1 \ м.$

Масса труб:

$$m_{тр} = m_1 \cdot L_р \cdot 10^{-3} = 0,349 \cdot 191598,1 \cdot 10^{-3} = 66,868 \ , т$$

2.3. Конструкторский расчёт

3.1. Конструкционные характеристики пучка труб ПГ

Диаметры патрубков выбираются таким образом, чтобы скорость среды не превышала допустимую скорость в трубопроводах, присоединяемых к патрубкам. Для воды $\omega_{тр}^{доп} \le 10 м/с$, для пара среднего давления $\omega_{тр}^{доп} \le 50 \div 60 м/с$.

Внутренний диаметр патрубков входа и выхода теплоносителя принимается равным $d'_в = d''_в = 0.85 м.$ Удельный объем воды при t'_1 и t''_1 равен соответственно $v'_1 = 0.00155 м^3/кг$ и $v''_1 = 0.00134 м^3/кг$.

Скорость теплоносителя:

- Во входном патрубке $\omega_{1вх} = \frac{G \cdot v'_1}{0.785 \cdot (d'_в)^2} = \frac{2276,1018 \cdot 0,00155}{0,785 \cdot 0,85^2} = 6,22 м/с \prec 10 м/с$;
- В выходном патрубке $\omega_{1вых} = \omega_{1вх} \frac{v''_1}{v'_1} = 6.22 \cdot \frac{0,00134}{0.00155} = 5,378 м/с \prec 10 м/с$.

Внутренний диаметр патрубка входа питательной воды: $d'_{в2} = 0.3 м.$; удельный объем воды: $v'_2 = 0.001185 м^3/кг$; скорость воды в патрубке:

$$\omega'_2 = \frac{(D + 0.005D) \cdot v'_2}{0.785 \cdot (d'_{в2})^2} = \frac{(300 + 0,005 \cdot 300) \cdot 0,001185}{0,785 \cdot 0,3^2} = 5,051 м/с \prec 10 м/с.$$

Внутренний диаметр патрубка для выхода пара: $d_{в2}^{п} = 0.6м.$; удельный объем пара $v_2'' = 2.8748 \cdot 10^{-2} м^3 / кг$;

$$\omega_2'' = \frac{D \cdot v_2''}{0.785 \cdot \left(d_{в2}''\right)^2} = \frac{300 \cdot 0,028748}{0,785 \cdot 0,6^2} = 30,518 м / с \prec 50 м / с .$$

3.2. Размеры основных деталей и узлов корпуса, коллектора и внутрикорпусных устройств

Для деталей коллектора:

- Расчетное давление $P_{1р} = 0,9 \cdot 1,25 \cdot P_1 = 0,9 \cdot 1,25 \cdot 15,5 = 17,4375 МПа$;
- Расчетная температура $t_{р1} = 332°C$;
- Номинальное допускаемое напряжение $[\sigma_н] = 21,644 \frac{кгс}{мм^2}$.

Для деталей корпуса и внутрикорпусных устройств:

- Расчетное давление $P_{2р} = 0,9 \cdot 1,25 \cdot P_2 = 0,9 \cdot 1,25 \cdot 6,7 = 7,5375 МПа$;
- Расчетная температура $t_{р2} = 280°C$;
- Номинальное допускаемое напряжение для стали 22К $[\sigma_н] = 12.7 \frac{кгс}{мм^2}$.

Обечайка трубного пучка. Материал – сталь 0Х18Н10Т.

- Наружный и внутренний диаметры обечайки, м/м: $\frac{d_н}{d_в} = \frac{3,306}{3,294}$;
- Высота обечайки: $h_{об.т.} = h_т + 0.5 = 12.623 + 0.5 = 13.123 м$;

Обечайка корпуса. Материал – сталь 22К.

- Площадь опускного участка кольцевого канала:

$$f_{оп} = \frac{k_ц \cdot D \cdot v}{\omega_ц} = \frac{6 \cdot 300 \cdot 0,00134}{2} = 1,206 м^2;$$

- Внутренний диаметр обечайки корпуса (расчетный): $d^{р}_{в.кор.} = \sqrt{\frac{f_{оп}}{0.785} + d_{н.об.т.}^2} = \sqrt{\frac{0,4953}{0,785} + 3,306^2} = 3,531 м^2$; принимаем $d_{в.кор.} = 3,6 м$;

- Расчетная толщина обечайки корпуса:

  $\delta_p = p_p \cdot d_в / \left(2\phi \cdot [\sigma_н] - p_p\right) + C = \dfrac{0,76883 \cdot 3,6}{2 \cdot 1 \cdot 12,7 - 0,6834} = 0,112м$; примем $\delta_p = 0,120м$;

- Наружный диаметр обечайки корпуса: $d_{н.кор} = d_{в.кор} + 2\delta_{кор} = 3,6 + 2 \cdot 0,12 = 3,84м$;

- Высота обечайки корпуса: $h_{об.кор.} = h^{н}_{\text{ПП}т} + 4.2 = 12.623 + 4.2 = 16.823м$.

Днища корпуса. Материал – сталь 22К.

- Высота днищ: $h_д = 0.25 d_{в.кор.} = 0,25 \cdot 3,6 = 0,9м$;

- Расчетная толщина днищ: $\delta^{р}_{д} = \dfrac{P_р \cdot d_{в.д.}}{4\phi[\sigma_н]} \cdot \dfrac{d_{в.д.}}{2h} + C = \dfrac{0,76883 \cdot 3,6 \cdot 3,6}{4 \cdot 1 \cdot 12,7 \cdot 2 \cdot 0,9} = 0,11м$;

  Принимаем толщину днищ по ГОСТ $\delta_д$ = 120 мм, чтоб была вровень с корпусом. Она и принимается в качестве толщины верхнего и нижнего днища.

Камеры теплоносителя. Материал – сталь 10ГН2МФА.

- Наружный и внутренний диаметр камер, м/м: $\dfrac{d_{н.к}}{d_{в.к}} = \dfrac{1,88}{1,5}$;

- Высота камер: $h_к = h_{к,\text{ПП}р} + 2 \cdot 0.35 = 0,96 + 2 \cdot 0,35 = 1,66м$;

Наружная обечайка коллектора. Материал – сталь 10ГН2МФА.

- Внутренний диаметр: $d_{в.НО} = d_{в.к.} = 1,5м$;

- Расчетная толщина стенки:

  $\delta_p = p_p \cdot d_в / \left(2\phi \cdot [\sigma_н] - p_p\right) + C = \dfrac{1,779 \cdot 1,5}{2 \cdot 1 \cdot 21,644 - 1,779} + C = 0,0643м$; принимаем по ГОСТу $\delta_{НО} = 0,075м$;

- Высота обечайки (по эскизу парогенератора): $h_{НО} = 10,003м$.

Днища коллектора. Материал – сталь 10ГН2МФА.

- Внутренний диаметр: $d_{в.д.} = d_{в.к.} = 1,5м$;

- Высота днищ: $h_д \geq 0.25 d_в \geq 0,375м$;

- Расчетная толщина днищ:

$$\delta_{\partial}^{p} = \frac{P_p \cdot d_{в.д.}}{4\phi[\sigma_н]} \cdot \frac{d_{в.д.}}{2h} + C = \frac{1,779 \cdot 1,5 \cdot 1,5}{4 \cdot 1 \cdot 21,644 \cdot 2 \cdot 0,375} = 0,0616 м;$$

Так как по ГОСТу допустимо округлять в меньшую сторону на 3% , то ближайшая большая толщина днищ по ГОСТ равна 60 мм. Она и принимается в качестве толщины днища коллектора.

Разделительная обечайка. Материал – сталь 0Х18Н10Т.

- Внутренний диаметр рассчитывается из условия равенства площадей:

  $0,785 \cdot \left(d_{в.к.}^2 - d_{в.РО}^2\right) = 0.785 \cdot d_{в.РО}^2$; отсюда $d_{в.РО} = \sqrt{\frac{d_{в.к.}^2}{2}} = \sqrt{\frac{1,5^2}{2}} = 1,06 м$;

- Толщина обечайки принимается равной $\delta_{РО} = 0,005 м$;
- Наружный диаметр обечайки: $d_{н.РО} = d_{в.РО} + 2\delta_{РО} = 1,06 + 2 \cdot 0,005 = 1,07 м$;
- Высота обечайки (по эскизу парогенератора): $h_{РО} = 4,4 м$.

2.4. Расчет сепарации

Осевые сепараторы – центробежные, с однократным закручиванием потока, с отводом влаги в объем корпуса через отверстия в стенке. При внутреннем диаметре сепаратора 240мм его производительность D_c=2.85 кг/с (определена экспериментально). Сухость пара на выходе из сепаратора 5–10%. Количество сепараторов: n_c=D/D_c=300/2.85=106 шт. Сепараторы изготавливаются из стали 0Х18Н10Т. Сепараторы установлены и приварены к плите толщиной 20 мм, ограничивающей сверху раздающую камеру пароводяной смеси над трубным пучком. Отверстия в плите под сепаратором располагаются с шагом 260 мм.

$$n_{сд} = \sqrt{4/3 \cdot (n_c - 1) + 1};$$

$$n_{сд} = \sqrt{4/3 \cdot (106 - 1) + 1} = 11,87;$$

$$s_c = 0,26 \ м;$$

$d_{пл} \geq n_{с.д.} \cdot s = 3,09$, что удовлетворяет услловию.

Жалюзийные сепараторы состоят из шести концентрических вертикальных секций. Ширина собственно жалюзей 80 мм. На входе в

каждую секцию и выходе из нее установлены дырчатые листы. Влажность пара на выходе составляет 0,2%. Площадь жалюзийных сепараторов определяется предельной скоростью пара, которая для вертикально расположенных сепараторов в два раза выше, чем для горизонтальных:

$$F_{жсс} = \frac{D \cdot v''}{\omega'_{пред}} = \frac{300 \cdot 0,028748}{2 \cdot 0,35} = 12,321 м^2 .$$

Секции сепаратора размещаются на специальной раме, опирающейся на корпус.

Найдем диаметры секций ж.с.:

$$d_1 = 0,5м;\ d_2 = d_1 + (2\delta_{жсс} + \delta_{вых}) \cdot 2 = 0,5 + (2 \cdot 0,08 + 0,3) \cdot 2 = 1,42м;$$

$$d_3 = d_2 + \delta_{вх} \cdot 2 = 1,42 + 0,1 \cdot 2 = 1,62м;$$

$$d_4 = d_3 + (2\delta_{жсс} + \delta_{вых}) \cdot 2 = 1,62 + (2 \cdot 0,08 + 0,1) \cdot 2 = 2,14м;$$

$$d_5 = d_4 + \delta_{вх} \cdot 2 = 2,14 + 0,1 \cdot 2 = 2,34м;$$

$$d_6 = d_5 + (2\delta_{жсс} + \delta_{вых}) \cdot 2 = 2,34 + (2 \cdot 0,08 + 0,3) \cdot 2 = 3,26м;$$

Находим высоту жалюзийных сепараторов:

$$H = \frac{F}{\Pi \cdot (d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5)} = \frac{12,321}{3,14 \cdot (0,5 + 1,42 + 1,62 + 2,14 + 2,34 + 3,26)} \approx 0,38м.$$

Масса ж.с.:

$$m_{ж.с.} = F \cdot 76кг / м^2 = 12,321 \cdot 76 = 936,4кг.$$

2.5. Гидравлический расчёт

Гидравлический расчёт контура с естественной циркуляцией проводится с целью определения надёжности работы контура при заданных размерах и тепловых характеристиках. Гидравлические потери будем брать исходя из рис. 2 и рис.4, на которых показаны движения теплоносителя и рабочего тела. На рис.3 изображен эскиз средней теплообменной трубки.

Входной патрубок:

Коэффициент сопротивления выхода теплоносителя из патрубка $\xi = 1,44$.

Скорость теплоносителя в патрубке:

$$\omega_1 = \frac{G}{f_n \cdot \rho_1'} = \frac{2276,1}{0,567 \cdot 645,1} = 6,22 м/с \ ,$$

где $f_n = \frac{\pi \cdot d_в^{\ 2}}{4} = 0,567 м^2$.

Сопротивление патрубка:

$$\Delta P_1 = \xi \frac{\rho_1 \cdot \omega_1^2}{2} \cdot 10^{-3} = 1,44 \cdot \frac{645,1 \cdot 6,22^2}{2} \cdot 10^{-3} = 17,97 кПа.$$

Разделительная обечайка:

Переходное число Рейнольдса:

$$\mathrm{Re}_n = \frac{120 \cdot d_{в.РО}}{\delta_ш} = \frac{120 \cdot 1,06}{0,00001} = 1,273 \cdot 10^7.$$

Скорость теплоносителя в обечайке:

$$\omega_2 = \frac{G}{f_{РО} \cdot \rho_1'} = \frac{2276,1}{0,883 \cdot 645,1} = 4 м/с.$$

Число Рейнольдса: $\mathrm{Re} = \frac{\omega_2 \cdot \rho_1' \cdot d_{в.РО}}{\mu_1'} = \frac{4 \cdot 645,1 \cdot 1,06}{8,07 \cdot 10^{-5}} = 3,42 \cdot 10^7$.

Коэффициент трения: $\xi_{2T} = \left(1,74 + 2\lg \frac{r_в}{\delta_ш}\right)^{-2} = \left(1,74 + 2\lg \frac{0.53}{0.00001}\right)^{-2} = 0.008$.

Коэффициент сопротивления выхода теплоносителя из разделительной обечайки $\xi_{2м} = 0,15$.

Сопротивление обечайки:

$$\Delta P_2 = \left(\xi_{2м} + \xi_{2T} \cdot \frac{h_{РО}}{d_{РО}}\right) \cdot \frac{\rho_1' \cdot \omega_2^2}{2} \cdot 10^{-3} = \left(0.15 + 0.008 \cdot \frac{3.65}{1.06}\right) \cdot \frac{645,1 \cdot 4^2}{2} \cdot 10^{-3} = 0.92 кПа.$$

Гидравлическое сопротивление труб теплопередающей поверхности.

Переходное число Рейнольдса: $\mathrm{Re}_n = 120 \frac{d_в}{\delta_ш} = 120 \cdot \frac{0,0112}{0,00001} = 1,344 \cdot 10^5$.

Гидравлическое сопротивление при движении теплоносителя:

Потери давления от трения вычисляются по формуле

$$\Delta p_{тр} = \xi_T \cdot \frac{L}{d_k} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}, \text{ Па.}$$

Потери давления от местных сопротивлений вычисляются по формуле

$$\Delta p_м = \xi_м \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}, \text{ Па},$$

где $\xi_Т$ и $\xi_м$ – коэффициент сопротивления на трение и коэффициент местного сопротивления, соответственно; ρ – плотность теплоносителя, кг/м^3; ω – скорость теплоносителя, м/с, $d_к$ – диаметр канала, м, L – длина канала, м. Так как поток однофазный ω и ρ можно брать как средние на участке.

$P_{ср}$ = 695,7 кг/м^3; $d_к$ = 0,0112 м; ω = 2,84 м/с; L=15,739 м; $\xi_Т$=0,0225.

$$\Delta p_{тр} = 0,02 \frac{15,739}{0,0112} \cdot \frac{695,7 \cdot 2,84^2}{2} = 0,07546 \text{МПа}.$$

Местное сопротивление на входе в трубки:

$$\Delta p_м = 0,5 \frac{645,1 \cdot 3,05^2}{2} = 1500, \text{ Па},$$

где $\xi_м = 0,5$.

Местное сопротивление при повороте в трубках, количество изгибов трубок 26:

$$\Delta p_м = 0,4 \frac{695,7 \cdot 2,84^2}{2} \cdot 26 = 29245 \text{ Па},$$

где $\xi_м = 0,5$.

Местное сопротивление на выходе из трубок:

$$\Delta p_м = 1 \frac{746,2 \cdot 2,64^2}{2} = 2594, \text{ Па},$$

где $\xi_м = 1$.

Суммарные гидравлические потери:

$$\Delta p_1 = \Delta p_{ТР} + \Sigma \Delta p_м = 0,07546 + 0,0015 + 0,029245 + 0,002594 \approx 0,1088 \text{ МПа}.$$

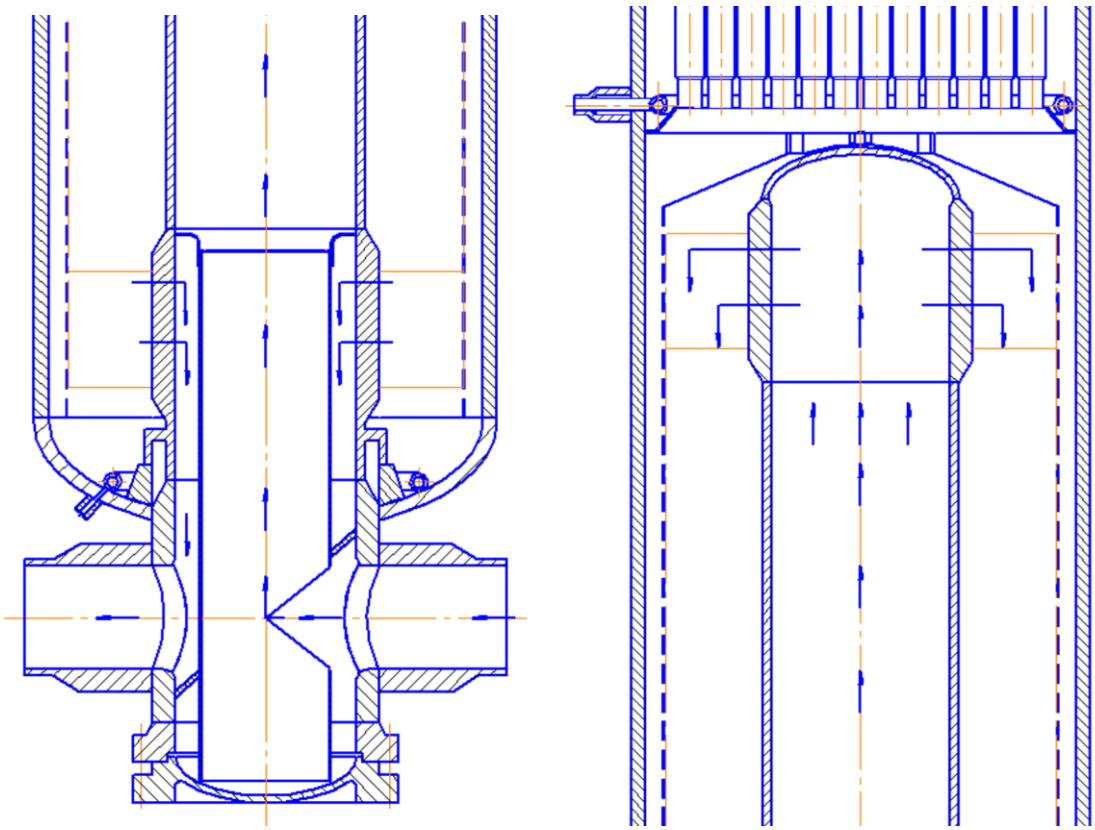

Рисунок 2 – Эскиз движения теплоносителя по парогенератору (верхняя и нижняя части)

Рисунок 3 – Эскиз теплообменной трубки ПГ (повернуто)

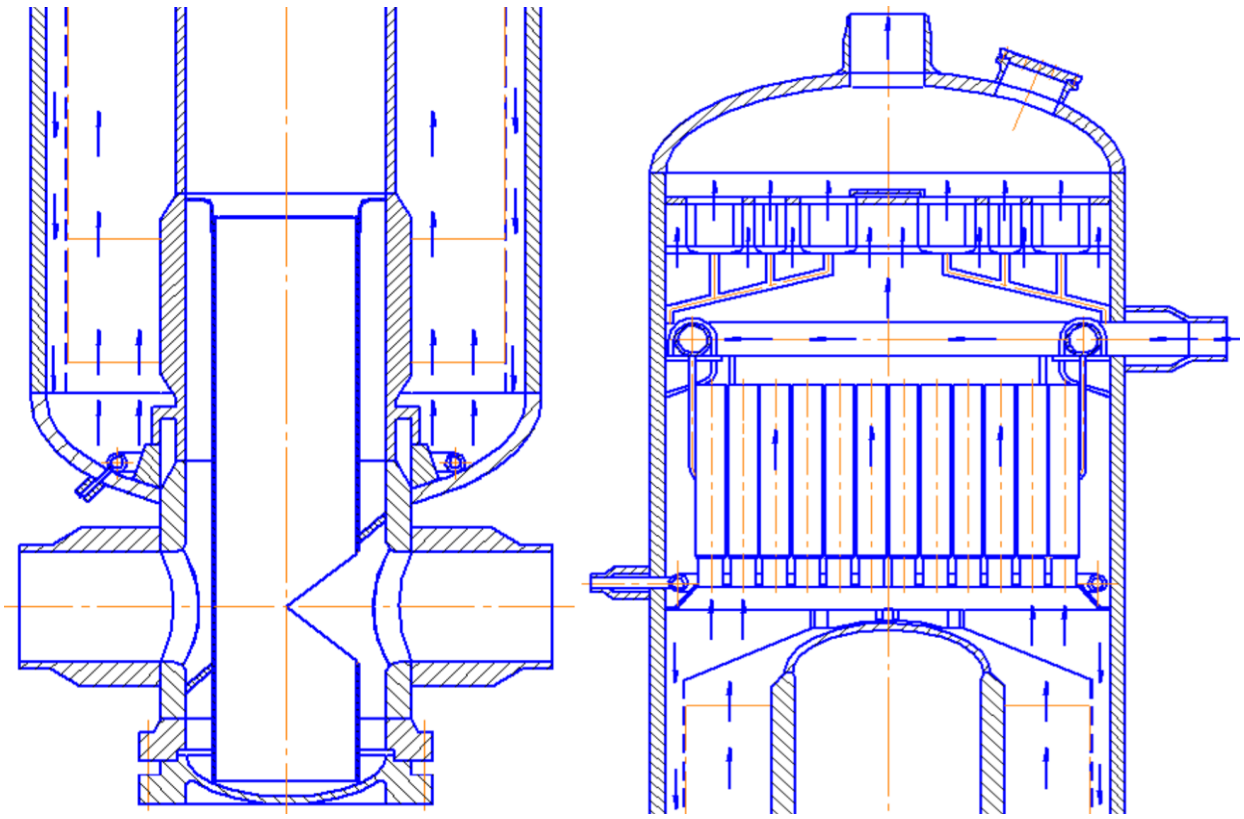

Рисунок 4 – Эскиз движения рабочего тела по парогенератору (верхняя и нижняя части)

Гидравлическое сопротивление при движении рабочего тела.

По воде.

Местное сопротивление местное сопротивление выхода ПВ из входного патрубка в коллектор:

$$\Delta p_м = 1,3 \cdot \frac{844 \cdot 5,05^2}{2} = 14000 \text{, Па,}$$

Местное сопротивление входа и выхода пит воды из раздающих трубок:

$$\Delta p_м = 1,7 \cdot \frac{844 \cdot 5,05^2}{2} = 18304 \text{ Па,}$$

Суммарные гидравлические потери по воде:

$$\Delta p_{ПВ} = \Delta p_{ТР} + \Sigma \Delta p_м = 0,014 + 0,018304 = 0,03204 \text{ МПа.}$$

По пару.

Гидравлическое сопротивление жалюзийного сепаратора:

$$\Delta p_ж = \xi_T \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = 1,31 \cdot \frac{34,79 \cdot 0,7^2}{2} = 11, \text{ Па}$$

$\omega = 0,7$ м/с, что не превышает допустимой скорости прохода пара через жалюзийный сепаратор.

Гидравлическое сопротивление входа пара в выходной патрубок:

$$\Delta p_n = \xi_n \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = 0,5 \cdot \frac{34,79 \cdot 30,52^2}{2} = 8100, \text{ Па}$$

Суммарные гидравлические потери по пару:

$$\Delta p_П = \Sigma \Delta p = 0,000011 + 0,0081 = 0,0081 \text{ МПа.}$$

Суммарные гидравлические потери по рабочему телу:

$$\Delta p_{РТ} = \Delta p_П + \Delta p_{ПВ} = 0,03204 + 0,0081 = 0,04014 \text{ МПа.}$$

2.6. Расчёт тепловой изоляции

Изоляция необходима как средство, обеспечивающее нормальную температуру воздуха в рабочих помещениях или предохраняющее обслуживающий персонал от ожогов. Температура на поверхности изоляции $t_к$ принимается в закрытых рабочих помещениях равной 45 ˚С. Расчётная температура стенки принимаем $t_{ст} = t_s(p_2) = 282,88$˚С.

Определяем значение коэффициента теплоотдачи от поверхности изоляции в окружающую среду как:

$$\alpha_н = 8,4+0,06\cdot(45-25) = 9,6 \text{ ккал/(ч·м}^2\text{·˚С)}.$$

В качестве изоляционного слоя выбираем минераловатные плиты на синтетической связке, полужёсткие марки 100 [3].

Коэффициент теплопроводности изоляционного слоя определяем по средней температуре слоя изоляции:

$$t_{ср} = (t_{ст} + t_к)/2 = (282,88 + 45)/2 = 163,94 \text{ ˚С;}$$

$$\lambda_{из} = 0,038+0,00018\cdot t_{ср} = 0,038+0,00018\cdot 163,94 = 0,0675 \text{ ккал/(ч·м·˚С)}.$$

Для плоских и цилиндрических поверхностей диаметром 2м и более толщину изоляции определяем по формуле:

$$\delta_{из} = \frac{\lambda_{из}}{\alpha_н} \cdot \left(\frac{t_{ст} - t_{из}}{t_{из} - t_{ос}} \right); \text{м}$$

Толщина изоляции тогда определяется как:

$$\delta_{из} = \frac{0,0675}{9,6} \cdot \left(\frac{282,88 - 45}{45 - 25} \right) = 0,084;, \text{ м.}$$

2.7. Расчет водно-химического режима

В качестве источника водоснабжения в задании указана река Кама. В таблице приведены данные [4].

Таблица 2 – Исходные данные для расчета ВХР

Источник водоснабжения	Балтийское море
q, %	0,02
$S^{Cl}_{пг.оч}$, *мкг / кг*	20
$S^{Na}_{пг.оч}$, *мкг / кг*	50
$S^{сульф}_{пг.оч}$, *мкг / кг*	35
$\alpha_{пп}$, *доли*	0,06
$\alpha_{ут}$, *доли*	0,029
$S^{Cl}_{пг}$, *мкг / кг*	125000
$S^{Na}_{пг}$, *мкг / кг*	43700
$S^{сульф}_{пг}$, *мкг / кг*	14800

Таблица 3 – нормы качества продувочной воды горизонтальных парогенераторов насыщенного пара энергоблоков ВВЭР-1200

№ п/п	Показатель	Мощность реакторной установки, % от $Q_{ном}$	
		< 55	≥ 55
1	$S^{Cl}_{пг}$, *мкг / кг*	≤ 300	≤ 100
2	$S^{Na}_{пг}$, *мкг / кг*	≤ 1000	≤ 300
3	$S^{сульф}_{пг}$, *мкг / кг*	≤ 600	≤ 200

Расчет будем вести значений присосов охлаждающей воды при 100% мощности.

Так как второй контур АЭС с реактором типа ВВЭР имеет БОУ со 100 %-ой конденсатоочисткой, то расчет водного режима ведем только при наличии примесей хлорида-иона.

Величина продувки определяется с помощью уравнения баланса примесей во втором контуре установки:

$$q \cdot S_{охл} + \alpha_{д.в} \cdot S_{д.в} + (1+\alpha_{пп}) \cdot S_{п} + p \cdot S_{пг.оч} = (1+\alpha_{пп}) \cdot S_{п} + \alpha_{ут} \cdot S_{п} + p \cdot S_{пг},$$

$\alpha_{д.в}$ - относительный расход добавочной воды. Для данной схемы равен утечкам $\alpha_{ут}$;

$S_{п}$ - концентрация конкретной примеси в свежем паре. По абсолютному значению близка к нулю.

Это уравнение упрощается, если сократить одинаковые слагаемые в левой и правой частях. Также можно пренебречь слагаемым $\alpha_{ут} \cdot S_{п}$, ввиду его малости. Преобразованное уравнение примет вид

$$q \cdot S_{охл} + \alpha_{д.в} \cdot S_{д.в} + p \cdot S_{пг.оч} = p \cdot S_{пг}$$

и может быть использовано для непосредственного вычисления величины продувки.

Тогда величина продувки будет вычисляться по формуле:

$$p = \frac{q \cdot S_{охл} + \alpha_{д.в} \cdot S_{д.в}}{S_{пг} - S_{пг.оч}}.$$

Рассчитаем величину продувки для иона-хлора при мощности установки 100% от $Q_{ном}$:

$$p^{Cl} = \frac{\frac{0,02}{100} \cdot 125000 + 0,029 \cdot 5}{100 - 20} = 0,3143.$$

Содержание примесей оценивается по балансовому уравнению вида

$$\alpha_{пв} \cdot S_{пв} = q \cdot S_{охл} + \alpha_{д.в} \cdot S_{д.в},$$

где $\alpha_{пв} = 1 + \alpha_{пп} + \alpha_{ут}$ - относительный расход питательной воды.

Тогда содержание примесей в питательной воде вычисляем по формуле:

$$S_{пв} = \frac{q \cdot S_{охл} + \alpha_{д.в} \cdot S_{д.в}}{\alpha_{пв}}.$$

Рассчитываем содержание ион-хлора в питательной воде:

$$S_{пв} = \frac{\frac{0,02}{100} \cdot 125000 + 0,029 \cdot 5}{1 + 0,029 + 0,06} = 23,09 \ мкг / кг.$$

Рассчитаем величину продувки и содержание примесей для остальных примесей на случай, если на БОУ произойдет авария.

$$p^{Na} = \frac{\frac{0,02}{100} \cdot 43700 + 0,029 \cdot 5}{300 - 50} = 0,035.$$

$$S_{пв} = \frac{\frac{0,02}{100} \cdot 43700 + 0,029 \cdot 5}{1 + 0,029 + 0,06} = 8,03 \ мкг / кг.$$

$$p^{сульф} = \frac{\frac{0,02}{100} \cdot 14800 + 0,029 \cdot 5}{200 - 35} = 0,0179.$$

$$S_{пв} = \frac{\frac{0,02}{100} \cdot 14800 + 0,029 \cdot 5}{1 + 0,029 + 0,06} = 2,72 \ мкг / кг.$$

Делаем вывод, что продувка, которая задана изначально, удовлетворяет требованиям ВХР для заданной реки при 100% тепловой мощности.

2.8. Расчет стоимости парогенератора

Для того чтобы рассчитать стоимость парогенератора нужно найти его массу. Чтобы посчитать массу, наш парогенератор следует разбить на несколько частей.

а) Корпус:

Находим объем корпуса: $V_a = \frac{\pi}{4} \cdot \left(d_{нар}^2 - d_{вн}^2\right) \cdot l$;

$d_{вн} = 3600 \ мм$; $l = 17,549 \ м$;

$$d_{нар} = d_{вн} + 2 \cdot \delta = 3,6 + 2 \cdot 0,12 = 3,84 \ мм;$$

$$V_a = \frac{3,14}{4} \cdot \left(3,6^2 - 3,84^2\right) \cdot 17,549 = 24,598 \ м^3.$$

б) Обечайка:

$$V_б = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h - V_{тр};$$

$h = 5818\ мм$; $d_{вн} = 1500\ мм$; $d_{нар} = 1880\ мм$

$$V_{тр} = \frac{\pi}{4} \cdot d_н^2 \cdot n_{тр} \cdot h = \frac{3,14}{4} \cdot \left(1,88^2 - 1,5^2\right) \cdot 5,818 = 5,866\ м^3;$$

$$V_б = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h - V_{тр} = \frac{3,14}{4} \cdot 1,141^2 \cdot 0,18 - 0,0682 = 0,116\ м^3;$$

$$V_б = 2 \cdot V_б = 2 \cdot 0,116 = 0,232\ м^3.$$

в) Крышка.

Крышка имеет сложную форму, поэтому разбиваем ее на две поверхности: кольцо и эллиптическая часть-диск.

Верхняя крышка:

Находим объем кольца: $V_в' = \frac{\pi}{4} \cdot \left(d_{нар}^2 - d_{вн}^2\right) \cdot l - V_{тр}^{подв}$;

$d_{вн} = 3600\ мм$; $l = 769\ мм$;

$$d_{нар} = d_{вн} + 2 \cdot \delta = 3,6 + 2 \cdot 0,12 = 3,84\ мм;$$

$$V_a = \frac{3,14}{4} \cdot \left(3,6^2 - 3,84^2\right) \cdot 0,769 = 1,078\ м^3;$$

Находим объем диска:

$d_{дис.нар} = 3840\ мм$; $d_{дис.вн} = 600\ мм$;h=120мм;

$$V_{диск} \frac{\pi}{4} \cdot d_{дис}^2 \cdot h = \frac{3,14}{4} \cdot (3,84^2 - 0,6^2) \cdot 0,12 = 1,355\ м^3;$$

$$V_в' = V_{колц.} + V_{диск} = 1,078 + 1,355 = 2,433\ м^3;$$

Нижняя крышка (днище):

$d_{вн} = 3600\ мм$; $l = 769\ мм$;

$$d_{нар} = d_{вн} + 2 \cdot \delta = 3,6 + 2 \cdot 0,12 = 3,84\ мм;$$

$$V_a = \frac{3,14}{4} \cdot \left(3,6^2 - 3,84^2\right) \cdot 0,769 = 1,078\ м^3;$$

Находим объем диска:

$d_{дис.нар} = 3840\ мм$; $d_{дис.вн} = 1880\ мм$;h=120мм;

$$V_{диск}\ \frac{\pi}{4}\cdot d_{дис}^2\cdot h=\frac{3{,}14}{4}\cdot(3{,}84^2-1{,}88^2)\cdot 0{,}12=1{,}056\ \ м^3;$$

$$V_в'=V_{колц.}+V_{диск}=1{,}056+1{,}078=2{,}134\ \ м^3;$$

Общий объем двух крышек:

$$V_в=V_в'+V_в''=2{,}433+2{,}134=4{,}567\ \ м^3.$$

г) Патрубки подвода и отвода теплоносителя.

Находим объем патрубка:

$$V_г=\frac{\pi}{4}\cdot\left(d_{нар}^2-d_{вн}^2\right)\cdot l;$$

$d_{вн}=850\ \ мм$; $d_{нар}=1230\ \ мм$; $l=1061\ \ мм$;

$$V_г=\frac{3{,}14}{4}\cdot\left(1{,}23^2-0{,}85^2\right)\cdot 1{,}061=0{,}658\ \ м^3;$$

$$V_г=2\cdot V_г=2\cdot 0{,}658=1{,}317\ \ м^3.$$

д) Патрубки подвода и отвода рабочего тела.

Находим объем патрубка подвода р.т. $V_д'=\frac{\pi}{4}\cdot\left(d_{нар}^2-d_{вн}^2\right)\cdot l$; разобьем на 2 части.

1. $d_{нар}=380\ \ мм$; $d_{вн}=300\ \ мм$; $l=250\ \ мм$;

$$V_д'=\frac{3{,}14}{4}\cdot\left(0{,}38^2-0{,}3^2\right)\cdot 0{,}250=0{,}0107 м^3.$$

2. $d_{нар}=576\ \ мм$; $d_{вн}=476\ \ мм$; $l=775\ \ мм$;

$$V_д'=\frac{3{,}14}{4}\cdot\left(0{,}576^2-0{,}476^2\right)\cdot 0{,}775=0{,}064 м^3.$$

$$V=v+v=0{,}0107+0{,}064=0{,}0747 м^3.$$

Находим объем патрубка отвода р.т.:

$$V_д''=\frac{\pi}{4}\cdot\left(d_{нар}^2-d_{вн}^2\right)\cdot l;$$

$d_{нар}=712\ \ мм$; $d_{вн}=600\ \ мм$; $l=500\ \ мм$;

$$V_д''=\frac{3{,}14}{4}\cdot\left(0{,}712^2-0{,}6^2\right)\cdot 0{,}5=0{,}0577 м^3;$$

$$V_д=V+V_д''=0{,}0747+0{,}0577=0{,}1324\ \ м^3.$$

е) Центральная трубка.

Находим объем трубки:

$$V_e = \frac{\pi}{4} \cdot \left(d_{нар}^2 - d_{вн}^2\right) \cdot l;$$

1 часть

$d_{нар} = 1071\ мм$; $d_{вн} = 1061\ мм$; $l = 4,484\ м$;

$$V_e = \frac{3,14}{4} \cdot \left(0,1071^2 - 0,1061^2\right) \cdot 4,484 = 0,075\ м^3.$$

2 часть

$d_{нар} = 1650\ мм$; $d_{вн} = 1500\ мм$; $l = 10,067\ м$;

$$V_e = \frac{3,14}{4} \cdot \left(1,65^2 - 1,5^2\right) \cdot 10,067 = 3,734\ м^3.$$

$$V_{sum} = V + V = 0,075 + 3,734 = 3,809\ м^2$$

ж) Кожух.

$$V_ж = \frac{\pi}{4} \cdot \left(d_{нар}^2 - d_{вн}^2\right) \cdot l;$$

$d_{нар} = 3306\ мм$; $d_{вн} = 3,294\ мм$; $l = 13,123\ м$;

$$V_ж = \frac{3,14}{4} \cdot \left(3,312^2 - 3,3^2\right) \cdot 13,123 = 0,816\ м^3.$$

Масса теплообменных трубок была найдена в пункте 2.

Общий объем парогенератора без теплообменных трубок:

$$V_{пг} = V_а + V_б + V_в + V_г + V_д + V_е + V_ж;$$

$$V_{пг} = 0,816 + 3,809 + 0,1324 + 1,1317 + 4,567 + 0,232 + 24,598 \approx 35,24\ м^3.$$

Масса парогенератора:

$$M_{пг} = V_{пг} \cdot \rho_{ме} + m_{жс} + m_{цикл} + m_{тр} = 35,24 \cdot 7850 + 936,4 + 31 \cdot 106 + 66868 = 347719\ кг =$$
$$= 347,719\ т$$

где $m_{жс}$ - масса жалюзийных сепараторов, $m_{цикл}$ - масса циклонов, $m_{тр}$ - масса теплообменных трубок.

$\rho_{ме} = 7850\ \frac{кг}{м^3}$ - плотность нержавеющей стали.

Масса стали 22К:

$$M = V_{22К} \cdot \rho_{ме} = 230573\ кг = 230,573\ т;$$

Масса стали 0Х18Н10Т

$$M = V_{0X18H10T} \cdot \rho_{ме} = 9691\ кг = 9,691\ т;$$

Масса стали 12Х18Н10Т

$$M_{жсс} = 0,936\ т;$$

Масса стали 10ГН2МФА

$$M_{жсс} = 107,1\ т;$$

Стоимость деталей рассчитывалась исходя из стоимости материала и стоимости изготовления конечного продукта [5, 6].

$$M_{пг} = (M_{22K} \cdot \delta_1 + M_{0X18H10T} \cdot \delta_2 + M_{12X18H10T} \cdot \delta_3 + M_{10ГН2МФА} \cdot \delta_4) \cdot 1,9 = (229,987 \cdot$$
$$\cdot 56280 + 9,691 \cdot 180000 + 0,936 \cdot 180000 + 107,1 \cdot 45000) \cdot 1,9 = 37384869\, руб \approx$$
$$\approx 37,4\ млн.руб$$

где 1,9 – коэффициент учитывающий затраты на изготовление конструкции.

$\delta_1 = 56280\ \frac{руб}{т}$ - стоимость одной тонны нержавеющей стали типа 22К.

$\delta_2 = 180000\ \frac{руб}{т}$ -стоимость одной тонны нержавеющей стали типа 0Х18Н10Т.

$\delta_3 = 180000\ \frac{руб}{т}$ -стоимость одной тонны нержавеющей стали типа 12Х18Н10Т.

$\delta_4 = 45000\ \frac{руб}{т}$ - стоимость одной тонны нержавеющей стали типа 10ГН2МФА.

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Конечной целью создания АЭС является обеспечение безопасного и надежного производства электроэнергии по стоимости меньшей, чем на конкурирующих типах электростанций. Одним из важнейших направлений повышения экономической эффективности АЭС является оптимизация тепловых схем и технических решений по турбоустановке и комплектующему оборудованию. При выборе наиболее эффективных технических решений используется максимум чистого дисконтированного дохода, который при определении на средний год расчетного периода эквивалентен критерию максимума годового экономического эффекта или минимума стоимости электроэнергии. Снижение стоимости электрической энергии возможно путем снижения капитальных затрат, либо повышением КПД нетто. В реальных условиях проектирования обычно увеличение КПД нетто турбоустановки за счет какого-либо решения приводит к росту капитальных затрат и изменению затрат на эксплуатацию. Повышение КПД. нетто приводит при заданной тепловой мощности к увеличению выработки электроэнергии и снижению капитальной компоненты стоимости электроэнергии, составляющей значительную долю стоимости электроэнергии (не менее 50%). В данном дипломном проекте рассмотрен комбинированный энергоблок АЭС с интегрированием в тепловую схему ГТУ с КУ в отдельно построенном здании без изменения здания турбинного цеха АЭС.

Электрическая мощность комбинированного блока.

$$N_э^{БЛ} = N_э^{ТУ} + N_э^{ГТУ} = 1305 + 284,2 = 1589,2 МВт$$

Основные факторы, влияющие на повышение КПД турбоустановки АЭС это:

− повышение температуры перегретого пара на входе в ЦВД;

− вытеснение отбора свежего пара на ПП2;

− повышение температуры пара на входе в ЦНД;

− замещение отбора ПНД-3 подогревом ОК в КУ:

Для того, чтобы выполнить расчет затрат на проект по проектированию парогенераторной установки для АЭС в срок при наименьших затратах средств, составляется план-график, в котором рассчитывается поэтапная трудоёмкость всех работ.

3.1. Состав и структура основных этапов проекта

Таблица 4 – Этапы выполнения работ

№ п/п	Наименование работы	Потребная численность, чел.	Продолжительность работы			
			t_{min}	$t_{н.в}$	t_{max}	$t_{ож}$
1	Получение задания от руководителя	Руководитель Инженер	2	4	4	4
2	Подготовка к проектированию	Руководитель Инженер	1	2	4	2
3	Обработка исходных данных	Руководитель Инженер	6	7	7	7
4	Выбор и обоснование конструктивной сжемы ПГ	Инженер Инженерконс.	3	3	4	3
5	Тепловой расчет и построение тепловой диаграммы	Инженер Инженерконс.	3	4	5	4
6	Конструкционный расчет	Инженер	7	7	7	7
7	Расчет сепарации	Руководитель Инженер	3	3	4	3
8	Гидравлический расчет	Инженер	6	8	8	8
9	Расчет тепловой изоляции	Руководитель Инженер конс.	1	2	3	2

№ п/п	Наименование работы	Потребная численность, чел.	Продолжительность работы			
			t_{min}	$t_{н.в}$	t_{max}	$t_{ож}$
		Инженер				
10	Расчет водно-химического режима	Руководитель Инженер	1	1	1	1
11	Расчет стоимости парогенератора	Руководитель Инженер конс. Инженер	14	15	16	15
12	Подготовка рабочих чертежей	Инженер	15	16	17	16
13	Утверждение проекта парогенетора для блока АЭС	Руководитель Инженер	2	3	4	3
		Итого:	64	75	84	75

Далее производим построение линейного графика.

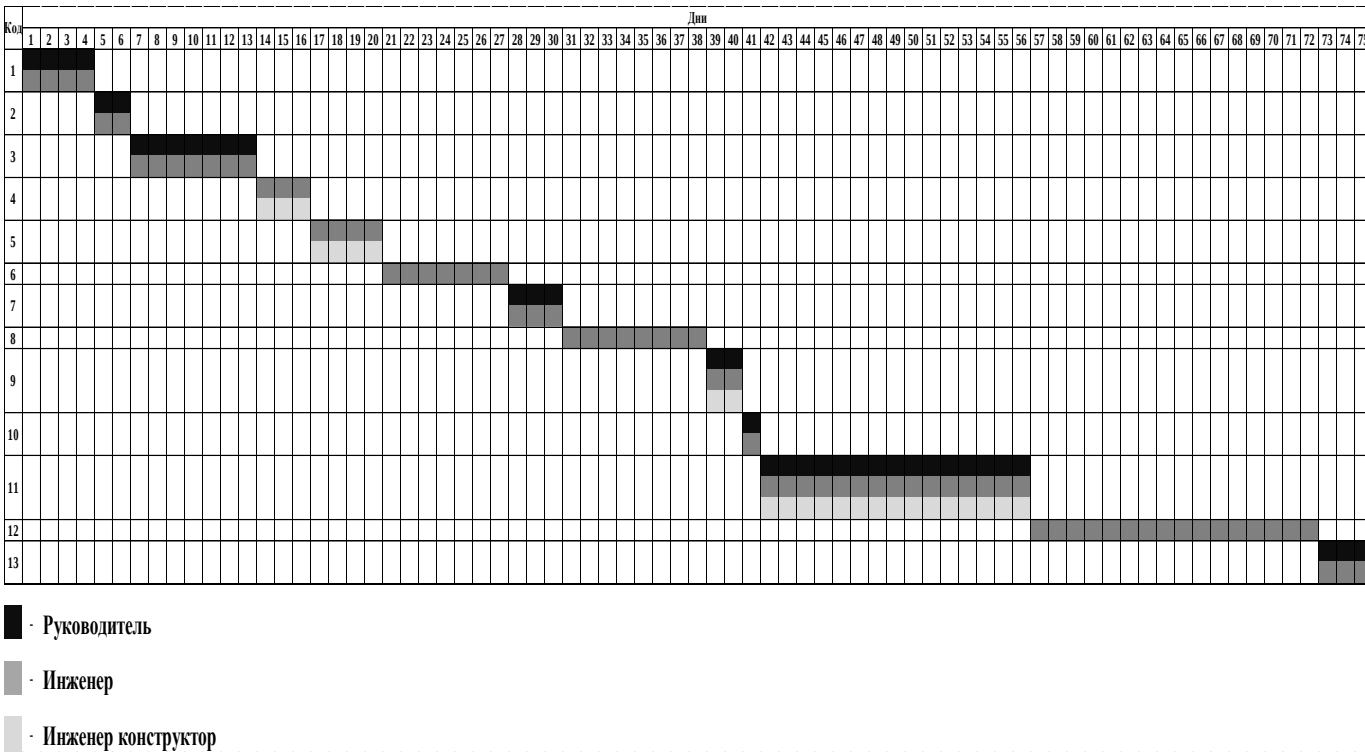

Рисунок 5 – Линейный график выполнения работ

3.1.2 Потенциальные потребители результатов исследования

Целью данной выпускной квалификационной работы спроектировать парогенераторную установку для работы в составе энергетического блока с реактором, в соответствии с реальным, представить чертежи конструкции, рационально выбрать компоновку парогенератора в боксе. Объектом исследования является парогенератор атомной электростанции с реактором ВВЭР-1200. Отсюда можно сделать вывод, что потенциальными потребителями результатов проектирования являются энергоблоки с реактором ВВЭР (1000 и 1200) атомных электростанций.

Существующие энергоблоки на которых применим данный парогенератор с небольшой корректировкой.

В Российской Федерации порядка 15 энергоблоков с ВВЭР-1000 к которым тоже применима данная установка, но актуальна только к:

- Нововоронежская АЭС 6 и 7 энергоблоки;
- Ленинградская АЭС-2, Балтийская АЭС-2, Нововоронежская АЭС-2, на них только строятся данные энергоблоки;

Сооружение станций с ВВЭР в России ведётся в связи с федеральной целевой программой по развитию ядерной энергетики. Кроме того, реализуются проекты в нескольких странах мира, при этом ВВЭР является единственной экспортной технологией России в области ядерной энергетики.

В других станах тоже в основном энергоблоки с ВВЭР-1000, это в Украине (18), Чехии (4), Болгарии (2), Ирана (3), Китая (4), а еще в некоторых странах только стояться данные энергоблоки. Страны, в которых есть энергоблоки с ВВЭР-1200 или будут строить это:

- Венгрия с АЭС Пакш 5 и 6 энергоблоки;
- Китай с Тяньваньской АЭС 7 и 8 энергоблоки;
- Беларусь с Белорусской АЭС 1 и 2 энергоблоки.

3.2 Расчет затрат на проект парогенераторной установки для работы в составе Энергоблока АЭС

Рассчитаем себестоимость проделанной работы. Необходимые статьи затрат:

1. Материальные затраты;
2. Затраты на оплату труда;
3. Отчисления в социальные фонды;
4. Амортизация основных средств;
5. Прочие затраты;
6. Накладные расходы;

Материальные затраты

В элементе «материальные затраты» отражается стоимость приобретенных со стороны сырья и материалов, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя её основу.

Комплектующие:

– флешка – 500 р. (1шт.)

– бумага – 500 р. (500 листов)

– канцтовары – 800 р.

$$И_k = 500+500+800=1800 \text{ р.}$$

Затраты на оплату труда

В состав затрат на оплату труда включаются:

1. Выплаты заработной платы за фактически выполненную работу, исходя из сделанных расценок, тарифных ставок и должностных окладов в соответствии с принятыми на предприятии формами и системами оплаты труда;
2. Выплаты стимулирующего характера по системам положения;
3. Выплаты, обусловленные районным регулированием оплаты труда (выплаты по районным коэффициентом);
4. Оплата в соответствии с действующим законодательством очередных ежегодных и дополнительных отпусков;

5. Другие виды выплат за исключением расходов по оплате труда, финансируемых за счет прибыли предприятия. Организация заработной платы основана на тарифной системе. Тарифный фонд для бюджетных работ рассчитывается по единой тарифной сетке. Она предусматривает 18 разрядов. Тарифная сетка применяется для установления соотношений в оплате труда в зависимости от квалификации рабочего определяемой присвоенным разрядом. Каждому разряду соответствует определенный тарифный коэффициент.

Таблица 5 – Расчет заработной платы исполнителей

Исполнитель	Оклад,р. ($ЗП_Т$)	Плата за неотработанное время ($0,1 \cdot ЗП_Т$)	Районный коэффициент ($0,3 \cdot ЗП_Т$)	Премиальные, 70% от (п.2 + п.3 + п.4)	Месячная зарплата
1	2	3	4	5	6
Руководитель	25000	2500	7500	24500	59500
Инженер конструктор	16000	1600	4800	15680	38080
Инженер	12000	1200	3600	11760	28560

Районный коэффициент Ленинградской области −. Время работы исполнителей 75 дней (3,5 мес.)

Рассчитывается плановый фонд заработной платы научных, инженерно-технических работников, лаборантов, рабочих мастерских, выполняющих заказы по данной разработке, в соответствии с построенным графиком выполнения работ (п. 3). Величина планового фонда заработной платы определяется по формуле:

$$ЗП = ЗП_т + ЗП_д + ЗП_п,$$

где $ЗП_т$ – тарифный фонд заработной платы (по окладам);$ЗП_д$ – дополнительная заработная плата за неотработанное время (отпуск);

$$ЗП_д = (0,08 – 0,16)\ ЗП_т,$$

$ЗП_п$ – доплаты за условия работы и проживания (0,3-0,5) $ЗП_т$ (учитывается поясной коэффициент и доплата за вредные и опасные условия работы).

Т - количество трудовых дней - 75- 3,5 мес. (в 1 мес. -22 рабочих дня);

$$Т_{рук} = 37 дней = 1,7 мес$$

$$Т_{инж.кон.} = 24 дня = 1,1 мес$$

$$Т_{инж} = 75 день = 3,4 мес$$

$$ЗП_{РУК.} = 59500 \cdot 1,7 = 101150 \text{ р.}$$

$$ЗП_{ИНЖ\text{-}К.} = 38080 \cdot 1,1 = 41888 \text{ р.}$$

$$ЗП_{ИНЖ} = 28560 \cdot 3,4 = 97104 \text{ р.}$$

$$ЗП_{ФОНД} = ЗП_{РУК.} + ЗП_{ИНЖ\text{-}К.} + ЗП_{ИНЖ} = 240142 \text{ р.}$$

Отчисление в социальные фонды

Социальный налог включает в себя: обязательные отчисления по установленным законодательством нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования от элемента «Затрат на оплату труда».

Социальные отчисления ($И_{СО}$) составляет 26,2 от фонда заработной платы (ФПЗ).

$$И_{СО} = ЗП_{ФОНД} \cdot 0,262 = 240142 \cdot 0,262 = 62917 \text{ р.}$$

Амортизационные отчисления

Расчет амортизационных отчислений, на полное восстановление основных средств, производится по нормативам амортизации утвержденном в установленным действующим законодательством порядке, и определенным в зависимости от балансовой стоимости оборудования.

Стоимость оборудования:

– компьютер – 30000 р.

– принтер – 9000 р.

$$С_{ОБОР.}=30000+9000=39000 \text{ р.}$$

$$Н_{ам} = \frac{1}{Т_{сл}} = \frac{1}{10} = 0{,}1\%$$

$$И_{ам} = \frac{Т_{исп}}{Т_{сл}} \cdot Н_{ам} \cdot С_{обор} = \frac{75}{1825} \cdot 0{,}1 \cdot 39000 = 160 \text{ р.}$$

где $Т_{ИСП.}$ – время использования оборудования = 75 дней;

$Т_{Г}$ – количество использования в год = 365 дней;

$С_{ОБОР.}$ – стоимость оборудования;

$Т_{СЛ.}$ – срок службы оборудования =5 лет.

Прочие затраты

К ним относятся налоги, сборы, отчисления в специальные внебюджетные платежи по обязательному страхованию имущества, вознаграждения за изобретения и рационализаторские предложения, за подготовку кадров, оплата услуг связи и т.п.

Прочие расходы составляют 10 % от всех издержек.

$$Пр = 0{,}1 \cdot (И_{К} + ЗП_{ФОНД} + И_{СО} + U_{АМ}),$$

$$Пр = 0{,}1 \cdot (1200+240142+62917+160)=30442 \text{ р.}$$

Накладные расходы

Накладные расходы – это расходы, связанные с производством, управлением и хозяйственным обслуживанием организации, которые в равной степени относятся ко всем разрабатываемым темам (оплата административных расходов, расходов на содержание зданий и помещений, оплата труда административно управленческого персонала). Величина накладных расходов определяется как 16 % от фонда заработной платы. Данные для расчета получены из проектного бюро.

$$Нр = 0.16 \cdot ЗП_{ФОНД},$$

$$Нр = 0.16 \cdot 240142 = 38423 \text{ р.}$$

Таблица 6 – Смета затрат

Виды затрат	Затраты, руб.
Материальные затраты	1200
Затраты на оплату труда	240142
Отчисления на социальные нужды	62917
Амортизационные затраты	160
Прочие расходы	30442
Накладные расходы	38423
Себестоимость	373284
Прибыль	163029
Договорная цена	447941

Договорная цена должна обеспечить получение прибыли, достаточной для отчисления средств в виде налогов и фиксированных платежей в специальные фонды и бюджеты разного уровня в соответствии с утвержденными экономическими нормативами, а также для развития предприятия–разработчика (или кафедры и т.д.) и поощрения исполнителей.

Величина договорной цены должна устанавливаться с учетом эффективности, качества и сроков исполнения разработки на уровне, отвечающем экономическим интересам заказчика (потребителя) и исполнителя.

Если разработка носит прикладной характер, то договорная цена должна рассчитываться с учетом потенциального экономического эффекта у потребителя.

Рентабельность принимаем 20% =0,2 :

$$Ц_д = С_{пл} + (С_{пл} \cdot 0{,}2),$$

$$Ц_д = 373284 + (373284 \cdot 0{,}2) = 447941 \text{ р.}$$

3.3. Расчет затрат на материалы

Затраты основных материалов по модернизации парогенератора ПГВ-1000М составили: (Приложение №1)

$$Сос.м=441238руб$$

Затраты на покупные полуфабрикаты составили: (Приложение №2)

$$Сп.ф.=644руб$$

Затраты транспортно-заготовительные расходы составили 9% от расхода основных материалов:

$$Ст.з= Сос.м + Сп.ф *9\%=441238+644*9\%=39769руб$$

Всего затрат основных материалов за вычетом отходов составили:

$$См= Сос.м+ Сп.ф+ Ст.з-Св.отх=441238+644+39769-3049=478602руб$$

3.4. Расчет численности работающих по категориям

Расчет основных рабочих участвующих в модернизации ПГ:

$$P_{расч}^{осн} = \frac{T_д}{F_{др}}$$

где $T_д$ - трудоемкость

$F_{др}$ - действующий фонд рабочего времени одного работающего

$$P_{расч}^{осн} = \frac{9018 чел/час}{501 час} = 18 чел$$

Списочная численность:

$$P_{сп}^{осн} = P_{расч}^{осн} \cdot к$$

где $к=1,1$ - коэффициент, учитывающий не выходы на работу по уважительной причине:

$$P_{сп}^{осн} = 12 чел \cdot 1{,}1 = 13 чел$$

Кроме основных рабочих, непосредственно принимают участие в модернизации вспомогательные рабочие, ИТР и служащие.

Численность вспомогательных рабочих определяется, укрупнено в размере 28-32% от численности основных рабочих:

$$P_{сп}^{всп} = P_{сп}^{осн} \cdot 28\% = 13 чел \cdot 28\% = 4 чел$$

Численность инженерно-технических работников и служащих укрупнено, может быть определенно в размере 8-12% от численности всех рабочих (основных и вспомогательных):

$$P_{сп}^{итр} = \left(P_{сп}^{всп} + P_{сп}^{осн}\right) \cdot 8\% = (13 + 4) \cdot 8\% = 1 чел$$

Общая численность работающих на модернизации ПГ:

$$P^{об} = P_{сп}^{итр} + P_{сп}^{всп} + P_{сп}^{осн} = 13 + 4 + 1 = 18 чел$$

3.5. Расчет фонда заработной платы

Основная заработная плата производственных рабочих отражает заработную плату рабочих и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в модернизации ПГ:

Таблица 7

п/п	Наименование показателей	Ед. измере-ния		Примечания
1	Численность принятая для расчета человек	чел.	18	
	Средняя заработная плата на одного работающего			
2	Минимальная тарифная ставка рабочего первого разряда	руб.	1282,666	
3	Средняя ступень оплаты труда (средний разряд работ)		6,2	
4	Тарифный коэффициент		1,8044	

5	Среднемесячная тарифная ставка	руб.	2314,446	1282,666* 1,8044
6	Доплата к тарифу за условия труда и др. выплаты предусмотрены К30Т РФ Всего На человека	% руб.	18 416,60	2314,146*18%
7	Текущее премирование -средний % премирования по положению -на чел. к тарифу, включая	% руб.	50 1365,523	(2314,446+ 416,61)*50
8	Выплата вознаграждений за выслугу лет Годовой стажевой коэффициент выслуги лет - в % к тарифу - на человека	% руб.	1,36 11,33 262,22	2314,446* 11,33
9	Итого расчетная средняя зарплата пром. произв. персона. на чел. в месяц	руб.	4358,79	2314,446+ 616,60+ 1365,23+ 262,22+322,68

$$ЗПосн=Зср.м*18чел*3мес$$

где *Зср.м* - средняя месячная заработанная плата одного производственного работающего.

$$ЗП_{осн}=4358,79руб*18чел*3мес=235375руб$$

К дополнительной заработной плате относятся оплата очередных и дополнительных отпусков, компенсации за неиспользуемый отпуск, оплата перерывов в работе кормящих матерей, оплата за время, использованное работником на выполнение государственных и общественных обязанностей, и другие выплаты, предусмотренные трудовым законодательством, за не проработанное на производстве время. Дополнительная заработная плата укрупнено берется 9% от основной заработной платы.

$$ЗПдоп=Зосн*9\%=235375руб*9\%=21184руб$$

В случае превышения заработной платы работников над нормативной, для последующих расчетов берется нормативная заработная плата с пересчетом превышения.

Отчисления на социальные нужды начисляются с основной и дополнительной заработной платы:

$$З_{отч}=З_{Посн}+ З_{Пдоп}*37,3\%=235375руб+21184руб*37,3\%=95697руб$$

где *37,3*-коэффициент, учитывающий отчисления:

- в пенсионный фонд – *28%*
- в соцстрах – *4%*
- в медицинское страхование – *3,6%*
- отчисление от несчастного случая – *1,7%*(АЭС)

3.6. Расчет общепроизводственных расходов

Расчет общепроизводственных расходов состоит из расходов на содержание и эксплуатацию оборудования, в которые входят затраты:

- износ оборудования на полное восстановление
- ремонт оборудования
- потребление электроэнергии

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования составят:

$$С_{эо}=С_{и}+ С_{р}+ С_{э}+ С_{сом}$$

Износ оборудования на полное восстановление начисляется по нормам с учетом вида топлива, нагрузки и числа часов работы оборудования.

Начисления амортизации производится по группам основных фондов по каждой станции ежемесячно. За время ремонтов и простоев оборудования начисление амортизации не прекращается.

$$C_{и} = C_{ф}^{осн} \cdot N_{год}$$

где $C_{ф}^{осн}$ - среднегодовая стоимость ПГ.

Nгод - годовая норма амортизационных отчислений (3,3%).

*Си=3078000руб*3,3%/12мес*3мес=25394руб*

Затраты на ремонт оборудования:

$$C_{р}=C_{ф}^{осн} \cdot N_{р}$$

где *Nр* - коэффициент, учитывающий затраты на ремонты и осмотры (30% годовых).

*Ср=3078000руб*30%/12мес*3мес=230850руб*

Затраты на использование электроэнергии:

*Сэ=1044140кВт.ч/12мес*3мес*1015руб=300190руб*

Затраты на смазочно-обтирочные материалы укрупнено могут быть приняты в размере 8+10% от затрат на ремонт оборудования:

*Ссом=Ср*8%=230850руб*8%=18468руб*

Сэо=25394руб+230850руб+300190руб+18468руб =574902руб

3.7. Расчет общехозяйственных расходов

К общехозяйственным расходам относятся: основная и дополнительная зарплата всего административно-управленческого персонала, включая энергосбыт, расходы на все служебные командировки того же персонала, подъемные при перемещении, сюда же относятся канцелярские, почтово-

телеграфные расходы, расходы по содержанию легкового транспорта, кроме того входят расходы по содержанию пожарной, военизированной и сторожевой охраны, а также отчисления на содержание вышестоящих организаций.

К общехозяйственным расходам относятся расходы по содержанию зданий, сооружений и инвентаря общехозяйственного характера. Также относятся расходы по подготовке кадров, по набору рабочей силы, по производственной практике студентов. Также учитываются расходы по уплате налогов и т.д.

Расчет общехозяйственных расходов берем по сложившимся расходам (160%) по отношению к основной заработной плате:

$$Собщ/хоз= ЗПосн*160\%=235375*160\%=376600руб$$

Итого затраты по модернизации ПГ составили:

$$С=См+Ст.з-Сотх+ЗПосн+ ЗПдоп+ Зотч+Сэо+Собщ/хоз=$$

$$=441882руб+39769руб-3049руб+235375руб+21184руб+95697руб+$$

$$+574902руб+376600руб=1782360руб$$

3.8. Расчет прибыли

На статью «Прибыль» списываются штрафы, пени и неустойки, полученные и уплаченные за нарушение договорных обязательств, штрафы за простой транспорта и др. штрафы за нарушение правил.

В затратах учтена прибыль исходя из рентабельности к себестоимости в размере 20%.

Затраты берем методом укрупненного калькулирования

$$П=С*20\%$$

*П=1782360руб*20%=356472руб*

Всего затрат по модернизации ПГ составили:

З=С+П

З=1782360руб+356472руб=2138832руб

КАЛЬКУЛЯЦИЯ

На модернизацию парогенератора ПГВ-100М

Таблица 8

п/п	Наименование статей	Сумма в рублях
1	***Сырье и основные материалы***	441238
2	Покупные и комплектующие изделия, полуфабрикаты и услуги кооперированных предприятий	644
	Итого: материалов и полуфабрикатов	441882
3	Транспортно-заготовительные расходы	39769
4	Возвратные отходы	3049
	Итого: за вычетом отходов	478602
5	Основная зарплата	235375
6	Дополнительная зарплата	21184
7	Отчисления на социальное страхование	95697
8	***Общепроизводственные расходы***	574902
9	Общехозяйственные расходы	376600
10	Внепроизводственные расходы	1782360
11	Полная себестоимость	1552221
12	Прибыль 20%	356472
	Итого: затраты	2138832

3.9. Расчет экономического эффекта

За счет модернизации уменьшились расходы на ремонт коллектора т.е. затраты на ремонт коллектора составили таблица 9:

Зр.к=12130347руб (382299руб*1,67*19)

1,67 – коэффициент перевода цен к ценам 1982 года.

19 - рыночный коэффициент.

Так как межремонтный срок увеличился в 2,5 раза, затраты составили:

Зр.к*2,5р=12130347руб*2,5= 30325868руб

При модернизации был демонтирован жалюзийный сепаратор ПГВ-1000, т.е. расход материалов уменьшился на сумму

Зж.с=42945руб (629,1кг)

Затраты на демонтаж жалюзийного сепаратора составили:

Зд=629,1кг*156руб/т=3110руб

Экономический эффект от модернизации составил:

Ээф=Зр.к+Зж.с-Зд-З

Ээф=30325868руб+42945руб-3110руб-2138832руб=28226871руб

Приложение 1

Расшифровка материальных затрат

Таблица 9

п/п	Наименование материалов и покупных изделий	Ед.изм.	Расход на изд.	Действ. цена в руб.	Затраты на изд. по действующим ценам
1	***Сталь сортовая нержавеющая***	кг	162,66	68,33	11114,56
2	Сталь толстолист. ряд марок	-	4450,1	12,59	56045,21

3	Сталь лист. констр. 10ГН2МФА	-	153,7	20,42	3138,55
4	Сталь лист. констр. углеродистая	-	95,3	12,50	1191,25
5	Сталь лист. нержавеющая г/к	-	133,15	62,50	8321,88
6	Сталь лист. нержавеющая х/к	-	160,31	68,33	10953,37
7	Трубы катанные нерж.	-	5,88	183,33	1077,98
8	***Трубы катанные нерж. ЭПХ***	-	101,11	316,64	32018,50
9	***Трубы т/ст нерж. ЭПХ***	-	365	458,33	167290
10	Трубы т/ст нерж. бесшовные	-	291,84	233,33	68095
11	Уайт-спирит	-	8,7	5,17	44,98
12	Ткань х/б	м.кв	104	25	2613,75
13	Аргон	м.куб	401	16,56	6640,56
14	Электроды вольфрамовые	кг	0,5	775,00	387,50
15	Проволока св 80ГС	-	183,2	19	3480,80
16	Проволока св 04Х19Н11М3	-	18,1	105,00	1900,5
17	Электроды нерж.	-	355,4	150,00	53306
18	Швеллер	кг	241,98	8,50	2056,83
	Прочие материалы				4149,88
	Итого материалов				441238
	Итого возвратных отходов				3049

Приложение 2

Покупные полуфабрикаты

Таблица 10

п/п	Наименование материалов и покупных изделий	Ед.изм.	Расход на изд.	Действ. цена в руб.	Затраты на изд. всего
1	***Поковка 320.630.10.02.001 22К***	кг	35,4	18,20	644,28

4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Безопасность человека на производстве является сложной многоуровневой задачей, одним из аспектов которой является социальная ответственность. Практика решения вопросов охраны труда на производстве показывает, что инженерно-технические решения этих вопросов, не могут обеспечить полностью качественную и эффективную защиту работников. Необходимо учитывать человеческий фактор, в том числе, повышать социальную и моральную ответственность работодателей за создаваемые условия труда.

Задачами социальной ответственности являются:

- снижение неблагоприятных воздействий производственных факторов на работника, т.е. установление оптимальных соотношений между факторами производственной среды;
- установление определенных норм допустимых значений каждого из неблагоприятных факторов;
- контроль законодательных органов за соблюдением и выполнением норм допустимых значений;
- обеспечение безопасности выполнения работ как для исполнителя, так и для окружающих;

– разработка конкретных мероприятий по оздоровлению условия труда;
– использование рациональных технических средств защиты работающих от влияния неблагоприятных факторов;
– разработка методов оценки эффективности планируемых и проведенных мероприятий по оздоровлению условий труда.

4.1. Техногенная безопасность

Этот раздел включает вопросы об опасностях которые возникают в процессе работы, их нельзя убрать, поэтому но о них необходимо знать. От этих факторов предусмотрен ряд защитных мер и допустимых барьеров контакта с этими факторами.

Вредные вещества

Не все радиоактивные вещества одинаково вредны. В ходе ядерных реакций образуется значительное количество продуктов деления, большое число различных радионуклидов, часть из которых обладает крайне малой продолжительностью жизни и практически сразу же превращается в другой химический элемент. Однако среди наиболее опасных и долговечных - это йод, цезий и плутоний.

В результате в случае выброса в окружающую среду преимущественно попадают инертные газы (неон, ксенон, криптон). И из-за этой самой инертности опасности они не представляют. Они обладают низкой токсичностью, разлетаются в атмосфере и не участвуют в биологических циклах.

Наиболее заметный след оставляют йод и цезий. Всего существует несколько радиоактивных изотопов йода, однако основной из них – это

йод- 131, очень слабые дозы которого используются для рентгеновского обследования щитовидной железы. Речь идет о крайне радиоактивном химическом элементе, чей период полураспада составляет восемь дней. В то же время его высокая радиоактивность падает очень быстрыми темпами: в 1000 раз каждые 80 дней.

Цезий-137

В случае длительного радиоактивного заражения превентивные меры заключаются в контроле за пищевыми цепями. В первую очередь это касается широколистных растений (шпинат, салат) и молока (из-за употребления травы в пищу жвачными животными).

Обеспечение радиационной безопасности требует комплекса многообразных защитных мероприятий, зависящих от конкретных условий работы с источниками ионизирующих излучений, а также от типа источника.

Защита временем основана на сокращении времени работы с источником, что позволяет уменьшить дозы облучения персонала. Этот принцип особенно часто применяется при непосредственной работе персонала с малыми радиоактивностями.

Защита расстоянием – достаточно простой и надежный способ защиты. Это связано со способностью излучения терять свою энергию во взаимодействиях с веществом: чем больше расстояние от источника, тем больше процессов взаимодействия излучения с атомами и молекулами, что в конечном итоге приводит к снижению дозы облучения персонала.

Защита экранами – наиболее эффективный способ защиты от излучений. В зависимости от вида ионизирующих излучений для изготовления экранов применяют различные материалы, а их толщина определяется мощностью и излучением.

Ионизирующее излучение

Все ядерные излучения можно разбить на две группы. К первой группе относятся излучения, представляющие собой потоки заряженных частиц, таких, как альфа-и бета-частицы, протоны и т. п. Вторая группа включает в себя все виды электромагнитного излучения, в том числе гамма-лучи, и нейтроны.

Человек, подвергшийся воздействию интенсивного излучения, заболевает лучевой болезнью. Небольшие дозы облучения человек переносит безболезненно. Если облучение повторяется часто, изо дня в день, в течение многих лет, то ежедневная безопасная доза облучения, допускаемая в соответствии с международным соглашением, примерно в 2000 раз меньше той максимальной, которую человек переносит безболезненно при однократном облучении.

Таблица 11 - Прогнозируемые уровни облучения, при которых необходимо срочное вмешательство:

Орган или ткань	Поглощенная доза в органе Или ткани за 2 суток, Гр
Все тело	1
Легкие	6
Кожа	3
Щитовидная железа	5
Хрусталик глаза	2
Гонады	3

Поскольку лучшей замедляющей способностью обладают легкие элементы, постольку они являются наиболее подходящими материалами для защитных экранов от нейтронного излучения. Для снижения интенсивности потока быстрых нейтронов в миллион раз требуется слой воды толщиной около 25 см или слой свинца толщиной около 78 см.

Выбирая материал для защиты от нейтронов, нужно помнить, что в

процессе неупругого рассеяния при замедлении нейтронов испускаются гамма-лучи. Желательно выбирать такой материал, чтобы это гамма-излучение было минимально возможным.

Гамма-излучение ослабляется гораздо сильнее тяжелыми элементами, чем легкими. Это объясняется тем, что гамма-лучи взаимодействуют в основном с электронами атомных оболочек. У тяжелых элементов электронов больше, они располагаются вокруг ядер в несколько слоев. Поэтому тяжелые элементы сильнее взаимодействуют с гамма-лучами, чем легкие.

Проблему защиты от излучения реактора нельзя разрешить применением двухслойного экранирования так, чтобы первый слой, например из легких элементов, поглощал нейтроны, а второй слой, из тяжелых элементов, поглощал гамма-лучи. Если организовать защиту реактора таким образом, то нейтроны, образовавшиеся при взаимодействии гамма-лучей с ядрами элементов второго слоя защиты, не будут задержаны и выйдут за пределы защитного экрана. Точно так же, если мы попытаемся первый слой изготовить из тяжелых элементов, а второй слой из легких, образовавшееся во втором слое (например, за счет неупругого рассеяния) гамма-излучение не будет поглощено.

Таким образом, защитный экран должен быть изготовлен или из большого количества чередующихся слоев нейтронной защиты и защиты от гамма-излучения, или вообще из однородной смеси тяжелых и легких элементов.

Таблица 12 - Основные пределы доз

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А)	население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная	150 мЗв	15 мЗв

доза за год в хрусталике глаза		
Кожа	500 мЗв	50 мЗв
Кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

Вопросы описания производственного освещения, вибрации, метеоусловий, а также техногенной и региональной безопасности, безопасности при ЧС, приведены в Приложении А

Заключение

В данном выпускной квалификационной работе был спроектирован и рассчитан ПГ ВВЭР – 1200 по начальным данным, верт., эвольвенты. В процессе проектирования были проведены тепловой расчет, конструкторский расчёт, расчет сепарации, гидравлический расчёт, расчёт тепловой изоляции, расчет водно химического режима, расчет стоимости парогенератора.

Все значения, полученные в расчетах, удовлетворяют допускаемым. Так же определены масса ПГ. Весь ПГ рассчитан конструкторским методом. Правильность расчетов расхода отражает допустимые пределы погрешности менее 2%, при определении расхода ТН двумя способами.

На основании расчетов был выполнены чертежи ПГ: ФЮРА 6934 10.001 ВО, ФЮРА 6934 10.002 ВО.

Спроектированный ПГ соответствует техническому заданию и отличается от проекта, который планируют применять на АЭС, только теплообменными трубками.

Проведены все необходимые проверки, которые подтвердили правильность расчетов и конструкторских решений. В результате всего вышесказанного можно заключить, что поставленная задача в данной выпускной квалификационной работе выполнена полностью, все требования к данному проекту указанные в задании выполнены.

В итоге проведенной работы был спроектирован прямоточный парогенератор перегретого пара, обогреваемого водой под давлением, со следующими параметрами:

- суммарная тепловая мощность ПГ Q=550,2 МВт
- средняя длина теплообменной трубки в трубном пучке L=15,359 м
- размер теплообменной трубки 14х1,4 мм
- расстояние между трубками S=24 мм
- расход греющей среды $G_{Т.Н.}$=2276,1 кг/с
- расход рабочего тела $D_{П.В.}$=300 кг/с.

Список литературы:

1. Рассохин Н.Г. Парогенераторные установки атомных лектростанций . : М.: Энергоатомиздат, 1987.-384 с.

2. Общие описание энергоблока Ленинградской АЭС-2 атомной электрической станции. Тех. документация/ К.А. Зайцев, И.М. Ивков, 20.05.14 г. С. 1-29.

3. Ривкин С.Л., Александров А.А. Теполфизические свойства воды и водного пара. – М.:Энергия, 1980. - 424 с., ил.

4. Моделирование тепловой изоляции. Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплинам «Общая энергетика», «Вспомогательное оборудование», «ТЭС и АЭС» для студентов ТЭФ и ЭЛТИ. – Томск: Изд-во Томского политехнического.

5. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник/Под общ.ред. А.В. Клименко, В.М. Зорин. – М.: Изд. МЭИ, 2003. – 645 с.

6. Атомные электростанции. Учебное пособие Томский политехнический университет/ Антонова А.М., Воробьев А.В., 2009. – 275с

7. Кириллов П.Л. Справочник по теплогидравлическим расчетам:

(ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы) / П. Л. Кириллов, Ю. С. Юрьев, В. П. Бобков. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 360 с

8. Петроградская Металлургическая Компания [Электронный ресурс] цены на металлы URL: http://petro-metal.ruprom.net/ .

9. БВБ Альянс Челябинск [Электронный ресурс] цены на металлы URL: https://bvbalyanschel.pulscen.ru/catalog/.

10. Кириллов П.Л. Справочник по теплогидравлическим расчетам:

(ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы) / П. Л. Кириллов, Ю. С. Юрьев, В. П. Бобков. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 360 с

11. Экономика ядерной энергетики. / Синев А.С.–М.: Энергоатомиздат, 1987 г С 239;

12. Экономика ядерной энергетики / Батов В.В., Корякин Ю.И.. – М.: Атомиздат, 1969 г С. 209.

13. Белов, Сергей Викторович. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) : учебник для академического бакалавриата / С. В. Белов. - 5-е изд., перераб. и доп.. - Москва: Юрайт ИД Юрайт, 2015. - 703 с. Ссылка на электронный каталог НТБ ТПУ - http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/advanced/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C315981

14. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учебное пособие для вузов / П.П. Кукин и др. - 5-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 2009. - 335 с. http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/advanced/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C164153

15. Беспалов, Валерий Иванович. Надзор и контроль в сфере безопасности. Радиационная защита : учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / В. И. Беспалов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 4-е изд. — Москва: Юрайт, 2016. — 508 с.: ил. — Университеты России. — Библиография в конце лекций. — Предметный указатель: с. 505-507.

http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C338567

16. Давыдов, Борис Ильич. Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений / Б. И. Давыдов, В. С. Тихончук, В. В. Антипов. — Москва: Энергоатомиздат, 1984. — 177 с.: ил.: 21 см.

http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C319317

17. Фаустов С.А. Правила обеспечения работников средствами индивидуальной защиты: Рабочая одежда и средства индивидуальной защиты. - 2000. - №2. - С.26-27.

18. Г. П. Саверский; Н. Л. Неведомский; И. Н. Дорожкин. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. стр.35.

19. В. Г. Версан; Н. Т. Тимофеева; В. Б. Охлянд. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. стр.22-25

20. Установка реакторная В-392М. Техническое задание на разработку технического проекта реакторной установки ВВЭР-1200. 392М-ТЗ-001. ОКБ "ГИДРОПРЕСС", 2006 г.

21. Трубы бесшовные из коррозионностойких сталей с повышенным качеством поверхности. Технические условия. ТУ-14-3Р-197-2001.

22. Горбуров В.И. Гидродинамика двухфазных потоков в специфических условиях эксплуатации АЭС: Учебное пособие по курсу "Гидродинамика двухфазных потоков"/ Под ред. В.М.Зорина – М.: Издательство МЭИ, 1999,120 с.

23. Колбасников А.В. Разработка методов расчета гидродинамики двухфазной среды и теплообмена в поперечно омываемых поверхностях нагрева парогенераторов на основе экспериментальных исследований. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. ОАО ВТИ, Москва 2000г.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Производственное освещение.

Ежегодное повышение тарифов на электроэнергию существенно сказывается на увеличении себестоимости продукции предприятий. По этой причине владельцы фабрик и заводов для экономии электричества стремятся внедрять новые технологии. В числе самых эффективных решений этой проблемы пребывает использование для освещения предприятий светодиодных светильников. Такой переход окупается на протяжении 1-3 лет и обеспечивает экономию в 3 раза больше электрической энергии.

Таблица А.1 - Нормы освещенности производственных помещений

Рязряд зрительной работы	Характеристика	Подразряд	Освещенность (комбинированная система), Лк	Освещенность (общая система), Лк
III	Высокой точности	А	2000	500
III	Высокой точности	Б	1000	300
III	Высокой точности	В	750	300
III	Высокой точности	Г	400	200

Освещение Реакторного цеха

Самое важное освещение является естественное, но в реакторном отделении, чтобы минимизировать выход неочищенного воздуха из зоны контролируемого доступа, окон не делают. Поэтому во всем реакторном отделении используется искусственное освещение.

Искусственное освещение должно обеспечивать в цехе в любую рабочую смену освещенность, позволяющую выполнять технологические операции наладку оборудования без производственных дефектов и травматизма, возникающих по причине недостаточной освещенности. Кроме того, освещенность на каждом участке цеха должна быть такой,

при которой исключается возможность чрезмерного утомления работающего в результате зрительного напряжения.

Искусственное освещение выполняется системой одного общего освещения или системой комбинированного освещения, то есть общего и местного. Применение одного местного освещения не допускается.

Система общего освещения может быть выполнена путем равномерного размещения светильников в помещении или путем локализованного размещения с учетом расположения рабочих зон.

Искусственное освещение разделяется на рабочее и аварийное. Рабочее освещение предназначается для обеспечения нормальной работы цеха в темное время суток, а аварийное включается в тех случаях, когда оно необходимо для выхода людей из цеха или продолжения работы в нем при внезапном отключении рабочего освещения. Светильники аварийного освещения должны быть присоединены к отдельной электросети.

Шум

От уровня шума на производстве напрямую зависит здоровье рабочих и их самочувствие. Повышенные уровни шума на разных октавах могут вызывать различные отклонения в здоровье человека, от частичной потери слуха при длительном воздействии, до расстройства всего биоритма организма, при этом изменяется пульс и частота дыхания, что способствует появлению гипертонической болезни. Превышение акустического давления на высоких частотах может вызывать психические расстройства у людей, что выражается в галлюцинациях, необъяснимом паническом страхе. При воздействии высоких частот свыше 140 дБ вполне возможно повреждение барабанных перепонок, а при воздействии более высоких свыше 160 дБ, летальный исход. Учитывая многообразие и серьезность воздействий шума в

производственной среде на здоровье людей, понятна актуальность данной проблемы.

Меры и средства защиты от шума. Уменьшение шума в самом источнике наиболее радикальное средство борьбы с шумом, создаваемым оборудованием. Опыт показывает, что эффективность мероприятий по снижению шума оборудования уже работает, поэтому необходимо стремиться к максимальному снижению шума в источнике еще на стадии проектирования оборудования Это достигается с помощью следующих мероприятий и средств: совершенствование кинематической их схем и конструкций оборудования, проведение статического и динамического уравновешивания и балансировки, изготовление деталей, и корпусных деталей из неметаллических материалов (пластмасса, текстолита, резины) чередование металлических и неметаллических деталей, повышение точности изготовления деталей и качества сборки узлов и оборудования, уменьшение зазоров в соединениях уменьшения припусков, применение смазки трущихся деталей, и т др.

Таблица А.2 - Категория тяжести трудового процесса

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	Легкая физическая нагрузка, дб	Средняя физическая нагрузка, дб	Тяжелый труд 1 степени, дб	Тяжелый труд 2 степени, дб	Тяжелый труд 3 степени, дб
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней	70	70	65	65	65
Напряженный	60	60	–	–	–

труд 1 степени					
Напряженный труд 2 степени	50	50	–	–	–

Вибрация.

Основные параметры вибрации: частота (Гц), амплитуда колебания (м), период колебания (с), виброскорость (м/с), виброускорение (м/с^2).

В зависимости от характера контакта работника с вибрирующим оборудованием различают локальную и общую вибрацию. Локальная вибрация передается в основном через конечности рук и ног.
Общая — через опорно-вигательный аппарат. Существует еще и смешанная вибрация, которая воздействует и на конечности, и на весь корпус человека. Локальная вибрация имеет место в основном при работе с вибрирующим ручным инструментом или настольным борудованием.
На АЭС, в частности в производственных помещениях, таких как турбинное отделение и реакторное, преобладает общая вибрация.
Происходит вибрация полов, стен и оснований у оборудования .

Воздействие вибрации на организм человека. Тело человека рассматривается как сочетание масс с упругими элементами, имеющими собственные частоты, которые для плечевого пояса, бедер и головы относительно опорной поверхности (положение "стоя") составляют 4~6 Гц, головы относительно плеч (положение "сидя") — 25-30 Гц. Для большинства внутренних органов собственные частоты лежат в диапазоне 6—9 Гц. Общая вибрация с частотой менее 0,7 Гц, определяемая как качка, хотя и неприятна, но не приводит к вибрационной болезни. Следствием такой вибрации является морская болезнь, вызванная нарушением нормальной деятельности вестибулярного аппарата по причине резонансных явлений.

При увеличении интенсивности колебаний и длительности их воздействия возникают изменения, приводящие в ряде случаев к развитию профессиональной патологии — вибрационной болезни. Санитарные нормы одночисловых показателей вибрационной нагрузки на оператора для длительности смены 8 часов

Таблица А.3 - Нормативные, корректированные по частоте и эквивалентные корректированные значения:

Вид вибрации	Категория вибрации	Нормативные, корректированные по частоте и эквивалентные корректированные значения			
		Виброускорения		Виброскорости	
		м/c^2	дБ	м·10^2/с	дБ
Локальная	–	2	126	2	112
Общая	3(в)	0,014	83	0,028	75

Метеоусловия.

В понятие метеорологических условий производственных помещений или микроклимата входят температура, влажность, скорость движения воздуха, тепловые излучения. Эти физические характеристики воздуха оказывают значительное влияние на протекание жизненных процессов в организме человека. Отрицательное влияние неблагоприятного микроклимата на организм проявляется в снижении производительности труда и изменении состояния здоровья.

Благоприятные (комфортные) метеоусловия в РЦ являются важным фактором в обеспечении высокой производительности труда и профилактике заболеваний. При несоблюдении гигиенических норм микроклимата не только снижается работоспособность человека, но и возрастает опасность возникновения травм и ряда заболеваний, в том

числе профессиональных.

Рабочей зоной считается пространство высотой до 2-х метров над уровнем пола или площадки, на котором находится место постоянного или временного пребывания работающего. Постоянным рабочим местом считается место, на котором работающий находится более 50% своего рабочего времени или более 2-х часов непрерывно. При выполнении работы в различных пунктах рабочей зоны постоянным рабочим местом считается вся рабочая зона.

Температура воздуха в цехе оказывает большое влияние на самочувствие человека и производительность труда. Исследованиями установлено, что при температуре 18 ^{0}С человек может работать с полной отдачей. Во время работы в «горячем» микроклимате производительность труда быстро падает и при температуре 30 ^{0}С снижается на 20-30%. Это касается как физической, так и умственной работы.

В организме человека непрерывно происходят окислительные процессы, связанные с образованием тепла, которое непрерывно отдается в окружающую среду. Совокупность процессов, обуславливающих теплообмен между организмом и внешней средой, в результате которого температура тела поддерживается примерно на одинаковом уровне, называется терморегуляцией. Теплоотдача организма во внешнюю среду зависит от температуры окружающей среды, от тяжести выполняемой работы, физического состояния и т.д.

Установлено, что при температуре окружающей среды +20^{0}С теплоотдача от тела человека путем конвекции составляет 31%, радиации 43%, испарения- 21%, остальное тепло идет на нагревание принимаемой пищи и выдыхаемого воздуха.

При высокой температуре воздуха и облучении кровеносные сосуды поверхности тела расширяются, при этом происходит перемещение крови к периферии – теплоотдача с поверхности тела увеличивается. Теплоотдача с поверхности тела при внешней температуре до $+30^0$С происходит путем конвекции, а при большей температуре – за счет испарения. При понижении температуры кровеносные сосуды сжимаются, кровообращение замедляется и уменьшается теплоотдача.

При температуре реакторного помещения $+26^0$С и выше при работе средней тяжести, роль в теплоотдаче организма играет испарение пота. Именно испарение пота, потому что пот, лишь стекающий с тела, не приносит организму облегчения, не отнимает него тепло.

При понижении относительной влажности воздуха до 20% у человека возникает неприятное ощущение сухости слизистых оболочек верхних дыхательных путей.

Тепловые излучения от нагретых поверхностей играет немаловажную роль в создании неблагоприятных микроклиматических условий в производственных помещениях. Наибольшую опасность возникновения лучистого тепла представляет расплавленный или нагретый до высоких температур металл. Передача тепла может происходить путем конвекции, теплопроводности и излучения.

Действие лучистого тепла не ограничивается изменениями, происходящими на облучаемом участке кожи - на облучение реагирует весь организм. В организме возникают биохимические изменения, наступают нарушения в сердечно-сосудистой и нервной системах. При длительном воздействии инфракрасных лучей возникает катаракта глаз.

Лучистая энергия, как и непосредственный контакт с расплавленным металлом (или нагретым), может вызвать тепловые ожоги, которые по степени поражения подразделяются на три вида: первой, второй и третей степени.

Техносферная безопасность

Этот раздел описывает способы повышения безопасности на рабочем месте, в отличие от техногенных, мы можем воздействовать на техносферные факторы, тем самым уменьшая риск возникновения опасности вреда здоровью.

Электробезопасность

Электробезопасность - система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества. Помещения по электробезопасности подразделяются на 3 группы:

1. Помещение без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18—20°, с влажностью 40—50%.
2. Помещение с повышенной опасностью (где имеется один из следующих признаков: повышенная температура, влажность 70—80%, токопроводящие полы, металлическая пыль, наличие заземления, большого количества оборудования). К этой группе относится реакторный цех и его оборудование.
3. Помещения особо опасные, в которых имеется наличие двух признаков из второй группы или имеются в помещении едкие или ядовитые взрывоопасные вещества.

Рабочее место оператора РЦ представляет собой помещение без

повышенной опасности. Компьютер оператора поставлен на токонепроводящий материал, все провода питания компьютера изолированы проведены таким образом, чтобы избежать любого контакта с оператором. Также в работе оператора РЦ предусмотрены средства индивидуальной защиты для обеспечения электоробезопасности вне рабочего места.

Средства коллективной защиты от поражения электрическим током:

1. Защитное заземление.
2. Защитное отключение.

К средствам индивидуальной защиты, применяемым в электроустановках, относятся: средства защиты головы (каски); глаз и лица (очки, щитки); органов дыхания (респираторы); рук (рукавицы, перчатки).

При выборе конкретных видов СИЗ необходимо помнить, что СИЗ относятся к видам продукции, подлежащей обязательной сертификации.

Пожарная безопасность.

Понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором исключается возможность пожара. В случае возникновения пожара в первую очередь необходимо предотвратить воздействие его на людей и обеспечить защиту материальных ценностей, находящихся в зоне горения или вблизи от нее.

Пожарная безопасность объектов народного хозяйства регламентируется межотраслевыми и отраслевыми правилами пожарной безопасности, утверждаемыми министерствами и ведомствами, а также инструкциями по обеспечению пожарной безопасности на отдельных объектах.

Пожароопасными факторами являются открытый огонь, искры, повышенная температура воздуха и предметов, ядовитые продукты горения, дым, пониженная концентрация кислорода, обрушение и повреждение зданий, сооружений, установок, а также взрыв.

К числу организационных мероприятий по обеспечению пожарной

безопасности относятся обучение рабочих и служащих правилам пожарной безопасности, разработка и внедрение норм и правил пожарной безопасности, инструкций о порядке работы с пожароопасными веществами и материалами, организация пожарной охраны объекта.

Категории помещений по пожарной и взрывопожарной опасности определяются исходя из вида находящихся в помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, а также исходя из объемно-планировочных решений помещений и характеристик проводимых в них технологических процессов.

Определение категорий помещений следует осуществлять путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям от наиболее опасной (А) к наименее опасной (Д).

К категории А относятся помещения, в которых находятся (обращаются) горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 ºС в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа.

К категориям В1 - В4 относятся помещения, в которых находятся (обращаются) горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к

категории А или Б.К данной категории относятся реакторные цеха ввиду того, что имеются масла в оборудование, которое может протечь и привести к пожару.

К категории Г относятся помещения, в которых находятся (обращаются) негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.

К категории Д относятся помещения, в которых находятся (обращаются) негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

К средствам тушения относятся огнетушащие вещества и составы. В качестве средств тушения используют воду, пены (воздушно-механические различной кратности и химические), представляющие собой коллоидные системы, состоящие из пузырьков воздуха или диоксида углерода; инертные газовые разбавители (диоксид углерода, азот, аргон, водяной пар, дымовые газы); гомо- геновые ингибиторы, низкокипящие гологеноуглероды-хлодоны; гетерогенные ингибиторы — огнетушашие порошки; комбинированные составы.

Рабочее место оператора РЦ относится к категории Д. На рабочем месте оператора, в целях обеспечения пожарной безопасности, должно находится:

- огнетушитель;
- кислородный болон;
- защитная маска.
- защитная маска.

Также рабочее место снабжено указателями выхода, подключенными

к аварийному электропитанию.

Региональная безопасность

В этом разделе рассмотрены способы повышения безопасности региона в котором расположен опасный объект.

Санитарно-защитная зона

Санитарно-защитная зона — территория вокруг источника ионизирующего излучения, на которой уровень облучения людей в условиях нормальной эксплуатации данного источника может превысить установленный предел дозы облучения для населения. В санитарно-защитной зоне запрещается постоянное и временное проживание людей, вводится режим ограничения хозяйственной деятельности и проводится радиационный контроль.

«Автоматизированная система контроля радиационной обстановки (АСКРО) в режиме реального времени ведет измерение мощности дозы гамма-излучения в 25 точках санитарно-защитной зоны АЭС и зоны наблюдения, осуществляет передачу данных в кризисный центр концерна Росэнергоатом и АСКРО Тверской области».

«Для надежного обнаружения появления радиоактивных веществ в окружающей среде на возможном пути их распространения создано пять контрольно-измерительных барьеров. Это 1) контроль воздушного выброса через главную вентиляционную трубу; 2) контроль на территории станции;3) контроль водных сбросов; 4) контроль в санитарно-защитной зоне (в радиусе 3-х км от АЭС); 5) контроль в 30-километровой зоне наблюдения».

Защита воздушного бассейна

Система мероприятий, направленных на снижение загрязненности вредными примесями окружающего атмосферного воздуха и вентиляционного воздуха производственных, общественных и жилых

помещений. Совокупность физических процессов, определяющих выбор и оптимизацию технических решений по очистке воздуха и обеспечению заданных микроклиматических условий в помещениях, определяют воздушный, тепловой, влажностный, пылевой и газовый режимы здания. Эти режимы составляют сложную биотехническую, многомерную и взаимосвязанную систему, объединяющую процессы воздействия на здание окружающей среды, образования и выделения в воздушную среду помещений вредных веществ, а также процессы и системы очистки воздуха, вентиляционные системы и системы кондиционирования воздуха. Режимы здания обусловливают распределение температуры, влагосодержания, концентрацию вредных веществ в воздухе помещений и концентрации загрязнений в выбросах. Пылегазовое состояние помещения определяется совокупностью процессов, связанных с перемещением перерабатываемых материалов, воздуха, пыли, газов и паров, а также пылевоздушных газо- (паро-) воздушных и пылегазо- (паро-) воздушных потоков в помещении и вентиляционных системах и устройствах для очистки воздуха в здании и вне его.

Задачи, которые необходимо решить для определения пылегазового состояния помещения, можно разбить на три группы: внутреннюю, граничную и внешнюю. Внутренняя включает процессы, связанные с образованием вредных веществ в оборудовании и выделением их из оборудования и укрытий, со вторичным образованием и распределением примесей в воздухе помещения. Решение отдельных задач этой группы сводится к осуществлению мероприятий по сокращению образования и выделения вредных веществ в воздух помещений, локализации выделений и устройству местной вентиляции технологического оборудования; вакуумной пылеуборке; очистке воздушной среды помещения и устройству его общеобменной вентиляции; созданию в помещении допустимых уровней запыленности и загазованности воздуха и нормируемых значений его

температуры, влажности и подвижности.

Граничная (краевая) задача пылегазового режима здания определяется процессами движения пылегазо- (паро-) воздушных потоков в трубопроводах систем очистки и очистки приточного вентиляционного и вытяжного воздуха от вредных веществ.

Основным направлением обеспечения необходимой чистоты воздуха в помещениях и защиты атмосферного воздуха от загрязнений является Граничная (краевая) задача пылегазового режима здания определяется процессами движения пылегазо- (паро-) воздушных потоков в трубопроводах систем очистки и очистки приточного вентиляционного и вытяжного воздуха от вредных веществ.

Основным направлением обеспечения необходимой чистоты воздуха в помещениях и защиты атмосферного воздуха от загрязнений является разработка безотходных и малоотходных технологичных производств. Однако на практике наиболее распространены мероприятия по совершенствованию технологии производства и по борьбе с образованием и выделениями пыли. К ним относятся: замена сухих технологических процессов мокрыми, влажными; переход на новые более совершенные технологии производства; использование более мощного технологического оборудования; компактное расположение технологического оборудования; уменьшение числа и высоты перегрузок измельченных и порошкообразных материалов; механизация и автоматизация технологических процессов и операций; использование гидро- и пневмотранспорта; удаление мелких фракций из материалов; герметизация и уплотнение стыков в оборудовании и на коммуникациях; подготовка измельченных и порошкообразных материалов к переработке.

Защита гидросферы.

Показатели качества воды

Состав природных вод оценивается физическими, химическими и санитарно-бактериологическими показателями.

Физические показатели:

- температура;
- цветность – показатель, обусловленный наличием в воде гуминовых кислот, присутствием соединений железа;
- запахи и привкусы – органолептические показатели качества воды. Запахи вызывают летучие пахнущие вещества. Мутность обусловлена присутствием нерастворенных и коллоидных веществ неорганического (глина, песок) и органического (ил, нефтепродукты, микроорганизмы) происхождения.

Основные источники загрязнения гидросферы

Загрязнение вод проявляется в изменении физических и органолептических свойств, увеличении содержания сульфатов, хлоридов, нитратов, токсичных тяжелых металлов, сокращении растворенного в воде кислорода, появлении радиоактивных элементов, болезнетворных бактерий и других загрязнителей. Подсчитано, что ежегодно в мире сбрасывается более 420 км^3 сточных вод.

Основными источниками загрязнения гидросферы являются:

- промышленные сточные воды;
- хозяйственно-бытовые сточные воды;
- дренажные воды с орошаемых земель;
- сельскохозяйственные поля и крупные животноводческие комплексы;
- водный транспорт.

Экозащитные мероприятия

Для защиты поверхностных вод от загрязнения предусматриваются следующие экозащитные мероприятия.

Развитие безотходных и безводных технологий, внедрение систем оборотного водоснабжения – создание замкнутого цикла использования производственных и бытовых сточных вод, когда сточные воды все время находятся в обороте, и попадание их в поверхностные водоемы исключено.

Очистка теплоносителя реактора.

Процесс очистки водного теплоносителя на этапы:

− первый — приготовление химически обессоленной воды высокой чистоты для первичного заполнения контуров и для последующей их подпитки;

− второй — постоянная очистка теплоносителя, циркулирующего в контуре, а также вод бассейнов выдержки и перегрузки от различных примесей.

Первый этап очистки проводят на так называемых установках химводоочистки (ХВО), а второй — на установках спецводоочистки (СВО) или конденсатоочистки (КО). В ХВО (смотри рисунок 8.1) предусматриваются очистка исходной воды от механических примесей в механических фильтрах, удаление свободной кислоты в декарбонизаторах, а также ионная очистка в анионитовых и катионитовых фильтрах. В механическом фильтре, который заполняется, например, дробленым антрацитом, отделяются грубодисперсные загрязнения. Далее вода очищается в несколько приемов на ионообменных фильтрах.

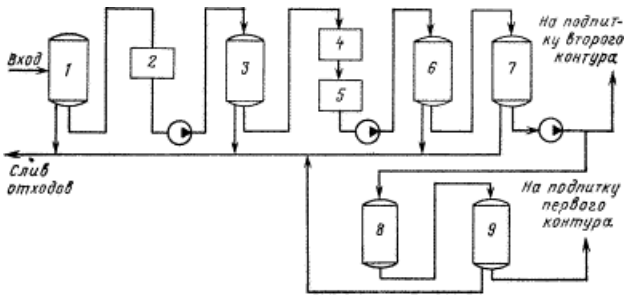

Рисунок А.1 - Принципиальная схема водоочистки

Защита литосферы.

Основные источники радиоактивных отходов (РАО) высокого уровня активности — атомная энергетика (отработанное ядерное топливо) и военные программы (плутоний ядерных боеголовок, отработанное топливо транспортных реакторов атомных подводных лодок, жидкие отходы радиохимических комбинатов и др.).

Количество РАО, накопленных при производстве ядерного оружия, на порядок (то есть не менее чем в 10 раз) выше отходов ядерной энергетики. Если даже военные программы сократятся, то отходы «мирной» энергетики намного вырастут, поскольку ядерная энергия — один из двух важнейших в обозримом будущем источников энергии, наряду с сожжением углеводородных топлив, производящих опасный для теплового равновесия Земли «парниковый эффект». Предполагается, что к 2000 году в мире будет накоплено около 200 тысяч тонн РАО, из них около 2 тысяч тонн плутония

Понятно, что ни одно техническое решение, ни один искусственный материал не может «работать» в течение тысячелетий. Очевидный вывод: изолировать отходы должна сама природная среда. Рассматривались варианты: захоронить РАО в глубоких океанических впадинах, в донных осадках океанов, в полярных шапках; отправлять их в космос; закладывать их в глубокие слои земной коры. В настоящее время общепринято, что оптимальный путь — захоронение отходов в глубоких

геологических формациях.

Форма отходов.

РАО в твердой форме менее склонны к проникновению в окружающую среду (миграции), чем жидкие РАО. Поэтому предполагается, что жидкие РАО будут вначале переводиться в твердую форму (остекловываться, превращаться в керамику и т.п.). Тем не менее, в России все еще практикуется закачка жидких высокоактивных РАО в глубокие подземные горизонты (Красноярск, Томск, Димитровград).

В настоящее время принята так называемая «многобарьерная» или «глубоко эшелонированная» концепция захоронения. Отходы сперва сдерживаются матрицей (стекло, керамика, топливные таблетки), затем многоцелевым контейнером (используемым для транспортировки и для захоронения), затем сорбирующей (поглощающей) отсыпкой вокруг контейнеров и, наконец, геологической средой.

Последние радиоактивные элементы, которые могут вызвать проблемы со здоровьем в случае выброса или взрыва, это уран-238 и плутоний-239 (небольшое количество плутония всегда образуется при расщеплении урана). Это тяжелые химические элементы, в результате чего они не обладают летучестью и не переносятся на больше расстояния. После аварии в Чернобыле они остались на самой АЭС или рядом с ней. В понедельник вечером представители Терсо заявили, что обнаружили плутоний-239 в пяти образцах почвы со станции «Фукусима». Речь идет о канцерогенном веществе, которое обладает такой же химической токсичностью, что и мышьяк. При вдыхании оно может привести к возникновению рака легких.

Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность работы в электроустановках, являются:

а) оформление работы нарядом-допуском (далее нарядом), распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;

б) допуск к работе;

в) надзор во время работы;

г) оформление перерыва в работе, переводов на другое рабочее место, окончания работы.

Наряд - это задание на производство работы, оформленное на специальном бланке установленной формы и определяющее содержание, место работы, время ее начала и окончания, условия безопасного проведения, состав бригады и лиц, ответственных за безопасность выполнения работы, и пр.

По наряду могут производиться работы в электроустановках, выполняемые:

а) со снятием напряжения;

б) без снятия напряжения на токоведущих частях и вблизи них.

Перед допуском к работе ответственный руководитель и производитель работ совместно с допускающим проверяют выполнение технических мероприятий по подготовке рабочего места.

После проверки подготовки рабочих мест и инструктажа бригады ответственный руководитель работ должен расписаться в предназначенной для этого строке на оборотной стороне наряда (только при первичном допуске).

В случае, когда ответственный руководитель не назначается,

подготовку рабочего места проверяет производитель работ, который расписывается в наряде.

Изменять предусмотренные нарядом меры по подготовке рабочих мест запрещается.

При перерыве в работе на протяжении рабочего дня (на обед, по условиям производства работ) бригада выводится из РУ. Наряд остается на руках у производителя работ (наблюдающего). Плакаты, ограждения и заземления остаются на месте. Ни один из членов бригады не имеет права войти после перерыва в РУ в отсутствие производителя работ или наблюдающего.

Допуск бригады после такого перерыва оперативным персоналом не производится. Производитель работ (наблюдающий) сам указывает бригаде место работы.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях

За последние 16 лет на российских АЭС не зафиксировано ни одного серьезного нарушения безопасности, классифицируемого выше первого уровня.

Высокая степень безопасности АЭС России обеспечена множеством факторов. Основные из них – это принцип самозащищенности реакторной установки, наличие нескольких барьеров безопасности и многократное дублирование каналов безопасности. Необходимо отметить также применение активных (то есть требующих вмешательства человека и наличия источника энергоснабжения) и пассивных (не требующих вмешательства оператора и источника энергии) систем безопасности.

Обеспечение безопасности эксплуатации реакторов

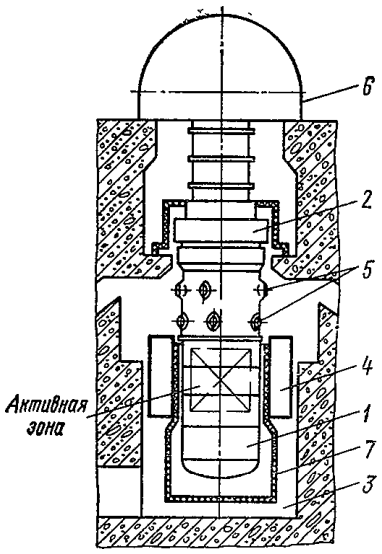

Рисунок А.2 - Принципиальная схема реакторной установки

1-корпус; 2- верхний блок; 3- шахта; 4- кольцевой бак биологической защиты; 5- патрубки циркуляционных трубопроводов; 6- защитный колпак; 7- теплоизоляция корпуса

В реакторах ВВЭР применена композиция активной зоны, которая обеспечивает «самозащищенность» реактора или его «саморегулирование». Если поток нейтронов увеличивается, растет температура в реакторе и повышается паросодержание. Но реакторные установки сконструированы таким образом, что само повышение паросодержания в активной зоне приведет к ускоренному поглощению нейтронов и прекращению цепной реакции. Этот эффект специалисты называют отрицательным «коэффициентом» реактивности, как температурным, так и паровым. Таким образом, сама физика ректора обеспечивает самозащищенность на основе естественных обратных связей («отрицательная реактивность»).

Чтобы быстро и эффективно остановить цепную реакцию, нужно «поглотить» выделяемые нейтроны. Для этого используется поглотитель (как правило, карбид бора). Стержни с поглотителем вводятся в активную зону, нейтронный поток поглощается, реакция замедляется и

прекращается. Для того, чтобы стержни попали в активную зону при любых условиях, на российских АЭС их подвешивают над реактором и удерживают электромагнитами. Такая схема гарантирует опускание стержней даже при обесточивании энергоблока: электромагниты отключатся и стержни войдут в активную зону просто под действием силы тяжести (без каких-либо дополнительных команд персонала). В этом отличие отечественных проектов от американского, использованного в Японии на АЭС «Фукусима- 1» (он предполагал введение стержней снизу).

Обеспечение устойчивости к землетрясениям

Стечение природных катаклизмов на территории расположения АЭС в России, которые могут повлечь за собой аварию, сопоставимую с аварией на станции «Фукусима-1», невозможно. В настоящее время все российские АЭС находятся в зонах низкой сейсмоопасности. В европейской части нашей страны, на Великорусской плите, которая считается устойчивым массивом, землетрясения либо не происходят вовсе, либо происходят, но с небольшой интенсивностью (не более 5-6 баллов по шкале Рихтера).

Выбор безопасной площадки предполагает, в частности, определение прогнозируемого уровня сейсмического воздействия, который вычисляется отдельно для каждой площадки и каждого блока. Например, в ходе дополнительных исследований в районе 8-10 балльной сейсмичности могут быть выделены пригодные площадки в пределах 7-балльной зоны сейсмичности и однородных массивов гранитоидов, вдали от эпицентров мелкофокусных землетрясений.

Защита от аварий, террористических атак.

С точки зрения защиты от террористов, все действующие АЭС надежно охраняются Внутренними войсками МВД России, которые имеют необходимое вооружение, технику и оснащение. Система охраны построена таким образом, что любой террорист (нарушитель) будет задержан на линии охраны. Пронос (провоз) на территорию АЭС запрещенных предметов (оружие, боеприпасы и пр.) невозможен, на всех КПП установлены приборы обнаружения и видеонаблюдения. Таким образом, совершение противоправных действий, которые повлекут тяжкие последствия для жизни и здоровья граждан, маловероятно.