

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

Инженерная школа энергетики

Специальность: **14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг**

НОЦ И.Н.Бутакова

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

Тема работы
<b>ПРОЕКТ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ГАЗООХЛАЖДАЕМОГО ЯДЕРНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕАКТОРА ТИПА AGR</b>

УДК 621.311.25:621.039.534.3.002.5:621.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<b>5031</b>	<b>Степанец Александр Леонидович</b>		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ</b>	<b>Д.В.Гвоздяков</b>	<b>к.т.н., доцент</b>		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Профессор ОСГН ШБИП</b>	<b>И.В.Кашук</b>	<b>к.т.н., доцент</b>		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Профессор ООД УОД</b>	<b>Ю.М.Федорчук</b>	<b>д.т.н., профессор</b>		

По разделу «Автоматизация технологических процессов и производств»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Ст. преподаватель НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ</b>	<b>Ю.К.Атрошенко</b>	<b>к.т.н.</b>		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Ст. преподаватель НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ</b>	<b>М.А.Вагнер</b>	<b>-</b>		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ</b>	<b>Воробьев А.В.</b>	<b>к.т.н., доцент</b>		

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг, специализация подготовки «Проектирование и эксплуатация атомных станций»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>Универсальные компетенции</b>		
Р1	Использовать методологические основы современной картины мира для научного познания и творчества, выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК- 1, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	Анализировать социально-значимые процессы и явления, экономические проблемы и общественные процессы, ответственно участвовать в общественно-политической жизни, применять методы социального взаимодействия на основе принятых моральных и правовых норм	Требования ФГОС (ОК-2, 5, 9), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и публично защищать результаты, владеть методами пропаганды научных достижений	Требования ФГОС (ОК-3 – 5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	Использовать системный подход в профессиональной деятельности, ставить цели и выбирать пути их достижения, обобщать, анализировать, критически осмысливать, систематизировать	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р5	Осознавать необходимость и демонстрировать способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни, непрерывному самосовершенствованию, развитию социальных и профессиональных компетенций, использовать полученные знания для обучения и воспитания новых кадров	Требования ФГОС (ОК-7 ПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р6	К достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности и должного уровня безопасности жизнедеятельности,	Требования ФГОС (ОК-8; ОПК-1, ПК-7, 19), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	в том числе, защиты персонала и населения от последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий	требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р7	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе, многонациональном, принимать ответственность за свои решения, в том числе, нестандартные, управлять коллективом, находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях	Требования ФГОС (ОК-10, 13, 14, ПК-3), Критерий 5 АИОР (пп.2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р8	Использовать информационные технологии для работы с информацией, управления ею и создания новой информации; работать с информацией в глобальных компьютерных сетях, осознавать и соблюдать основные требования информационной безопасности	Требования ФГОС (ОК-12, ПК-2, 6, 13, 26, ПСК-1.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Профессиональные компетенции</b>		
Р9	Понимать значимость своей специальности, стремиться к ответственному отношению к своей трудовой деятельности, демонстрировать особые компетенции, связанные с уникальностью задач, объектов в области проектирования и эксплуатации АС	Требования ФГОС (ПК-4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р10	Использовать глубокие математические, естественнонаучные знания в профессиональной деятельности с применением математического моделирования объектов и процессов в области проектирования и эксплуатации АС	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-9 – 11), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р11	Проводить <i>инновационные</i> научные исследования систем и оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, участвовать во внедрении результатов исследований	Требования ФГОС (ОПК-2, ПК-5, 9, 14, 15, 16), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р12	Анализировать и использовать научно-техническую информацию, формулировать цели проекта, ставить и решать инновационные задачи <i>комплексного</i> инженерного анализа в области проектирования и	Требования ФГОС (ПК-12; 17, 20), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	эксплуатации АС	международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P13	Выбирать, создавать и использовать оборудование атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, средства измерения теплофизических параметров и автоматизированного управления, защиты и контроля технологических процессов	Требования ФГОС (ОПК-3, ПК-18), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P14	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок систем и оборудования АС и ядерных энергетических установок, готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений, выполнять <i>инновационные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов с учетом принципов и средств обеспечения ядерной и радиационной безопасности	Требования ФГОС (ПК-20, 21, 23 – 25, ПСК-1.5, 1.6, 1.8, 1.10), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P15	Разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы в области проектирования АС	Требования ФГОС (ПК-22), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P16	Анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, диагностики, управления и защиты, проводить нейтронно-физические, теплогидравлические и прочностные расчеты оборудования АС и его элементов в стационарных и нестационарных режимах работы	Требования ФГОС (ПК-27, 28, ПСК-1.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P17	Делать оценку ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации ядерных энергетических установок, а также при обращении с ядерным топливом и другими отходами	Требования ФГОС (ПК-29), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P18	Применять основы обеспечения оптимальных режимов работы ядерного реактора, тепломеханического оборудования и энергоблока	Требования ФГОС (ПК- 28, 10, 11, , ПСК-1.14, 1.15), Критерий 5 АИОР (п. 1.2),

Код резул ь- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	АС в целом при пуске, останове, работе на мощности и переходе с одного уровня мощности на другой с соблюдением требований безопасности, выполнять типовые операции по управлению реактором и энергоблоком на функционально-аналитическом тренажере	согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P19	Анализировать технологии монтажа, ремонта и демонтажа оборудования АС применительно к условиям сооружения, эксплуатации и снятия с эксплуатации энергоблоков АС	Требования ФГОС (ПК-13,14), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P20	Осуществлять и анализировать технологическую деятельность как объект управления, организовывать рабочие места, обеспечивать их техническое оснащение, размещать технологическое оборудование, контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживать технологическое оборудование, исследовать причины его неисправностей, принимать меры по их устранению	Требования ФГОС (ПСК-1.9), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P21	Составлять техническую документацию и организовывать экспертизу технической документации, составлять установленную отчетность по утвержденным формам, управлять малыми коллективами исполнителей, планировать работу персонала и фонды оплаты труда	Требования ФГОС (ПСК-1.9), Критерий 5 АИОР (пп. 2.2, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P22	Выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов ядерных энергетических установок, проводить анализ производственных затрат на обеспечение необходимого качества продукции	Требования ФГОС (ПСК-1.11), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P23	Составлять и использовать тепловые схемы и математические модели процессов и аппаратов ядерно-энергетических и тепломеханических установок различных типов АС, готовить исходные данные для расчета тепловых схем	Требования ФГОС (ПСК-1.1, 1.3, 1.7), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P24	Проводить физические эксперименты на этапах физического и энергетического пуска энергоблока с целью определения нейтронно-физических	Требования ФГОС (ПСК-1.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	параметров реакторной установки и АС в целом	требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р25	Применять на практике принципы организации эксплуатации современного оборудования и приборов АС, понимать принципиальные особенности стационарных и переходных режимов реакторных установок и энергоблоков и причины накладываемых ограничений при нормальной эксплуатации, при её нарушениях, при ремонте и перегрузках	Требования ФГОС (ПК-8, ПСК-1.12, 1.13), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

А.В. Воробьев

\_\_\_\_\_

(Подпись)

\_\_\_\_\_

(Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>дипломного проекта</b>
(бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
<b>5031</b>	<b>Степанцу Александру Леонидовичу</b>

Тема работы:

<b>Проект теплообменного аппарата газоохлаждаемого ядерного энергетического реактора типа AGR</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	<b>21.12.2018 № 11020/с</b>

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**10 января 2019 года**

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(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.).</i>	Объект исследования – Парогенератор энергоблока АЭС с реактором AGR. Режим работы – интенсифицированный. Исходные данные для расчета – Основные технические характеристики ПГ AGR. Прототип– ПГ с газоохлаждаемого реактора AGR.
--	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(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).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сформулировать цели и задачи.</li> <li>2. Расчет и построение тепловой диаграммы</li> <li>3. Тепловой расчёт поверхности нагрева</li> <li>4. Конструкторский расчёт</li> <li>5. Сформулировать основные выводы работы</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Общий вид объекта проектирования</li> <li>2. Конструкция ПГ</li> <li>3. Схема регулирования температуры и давления теплоносителя выходящего из ПГ</li> <li>4. Сетевой график работ</li> <li>5. Календарный график работ</li> <li>6. Таблица проделанных работ</li> </ol>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p><b>Финансовый менеджмент</b></p>	<p>Кащук И.В. к.т.н., доцент</p>
<p><b>Социальная ответственность</b></p>	<p>Федорчук Ю.М. д.т.н., профессор</p>
<p><b>Автоматизация технологических процессов</b></p>	<p>Атрошенко Ю.К. к.т.н., Ст. преподаватель НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>10 июня 2018 года</p>
--	--------------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ</p>	<p>Д.В.Гвоздяков</p>	<p>к.т.н., доцент</p>		<p>10.06.18</p>

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5031</p>	<p>Степанец Александр Леонидович</p>		<p>10.06.18</p>



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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5031	Степанец Александр Леонидович

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>НОЦ И.Н.Бутакова</b>
<b>Уровень образования</b>	Специалист	<b>Направление/специальность</b>	14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических и человеческих</i>	Стоимость закупаемого оборудования, расходных материалов и программного обеспечения Зп старшего преподавателя, ассистента и аспиранта
<i>2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30%

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

<i>1. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	Сетевое планирование
<i>2. Составление бюджета затрат инженерного проекта (ИП)</i>	Определение затрат на проведение разработки проекта парогенератора

**Перечень графического материала** (с точным указанием  
обязательных чертежей)

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сетевой график работ</li> <li>2. Календарный график работ</li> <li>3. Таблица проделанных работ</li> </ol>	
--	--

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

--	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ШБИП	Кашук И.В.	к.т.н.		26.09.2018

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5031	Степанец А.Л.		26.09.2018

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5031	Митряева Ксения Вячеславовна

<b>ШКОЛА</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение</b>	<b>НОЦ И.Н.Бутакова</b>
<b>Уровень образования</b>	Специалист	<b>Направление/специальность</b>	14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

**Тема дипломной работы:**

**«ПРОЕКТ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ГАЗООХЛАЖДАЕМОГО ЯДЕРНОГО  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕАКТОРА ТИПА AGR»**

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Лаборатория находится в 4-ом уч. корпусе, оборудована холодной и горячей водой, сливом, вентиляцией, вытяжным шкафом, письменными столами, оргтехникой
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p>К числу вредных факторов на рабочем месте следует отнести класс опасности условий труда, периодическое несоответствие освещенности рабочего места, микроклимат, наличие электромагнитных и радиационных излучений, шум.</p> <p>К числу опасных факторов следует отнести опасность поражения электрическим током и пожарную опасность.</p> <p>Для всех случаев вредных и опасных факторов на рабочем месте указаны допустимые диапазоны существования, в случае превышения этих значений перечислены средства коллективной и индивидуальной защиты; приведены классы электроопасности помещений и категории пожароопасности помещения.</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> </ul>	Наличие простых отходов (бумага, лампы, оргтехника) потребовали разработки методов утилизации перечисленных отходов

<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Рассмотрены 2 ситуации ЧС:</p> <p>1) природная – сильный мороз;</p> <p>2) техногенная – несанкционированное проникновение; предусмотрены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Приведены перечень НТД, используемых в данном разделе, схема эвакуации при пожаре, схема размещения светильников на потолке согласно проведенному расчету.</p>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	Д.т.н.		26.09.2018

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5031	Степанец Александр Леонидович		26.09.2018

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 80 с., 10 рис., 20 табл., 25 источников.

Ключевые слова: парогенератор, газообразный, перегретый пар, прямоточный.

Объектом исследования является ПГ энергоблока АЭС с реактором AGR.

Цель работы – провести расчет ПГ с теплообменными трубками из аустенитной нержавеющей стали, тип 316.

В процессе исследования проводились тепловой и конструкторский расчеты ПГ, расчет водного режима и гидравлический расчет.

В результате исследования выявили более оптимальные геометрические размеры теплообменных трубок.

Степень внедрения: данный проект может быть использован на энергоблоках с реактором AGR.

Область применения: вертикальные газовые ПГ.

Экономическая эффективность: снижение удельных капиталовложений.

В будущем планируется использовать полученные конструкционные характеристики для новых энергоблоков с реактором AGR.

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		7

## Список принятых обозначений и сокращений

АСР – автоматическая система регулирования;

АЭС – атомная электрическая станция;

КПД – коэффициент полезного действия;

КР – капитальный ремонт;

ОД – охладитель дренажа;

ОП – охладитель непрерывной продувки;

ОС – опасные ситуации;

ПП – промежуточный пароперегреватель;

ПВ – питательная вода;

ПВД – подогреватель высокого давления;

ПГ – парогенератор;

ПНД – подогреватель низкого давления;

ППР – планово-предупредительный ремонта;

ПСВ – подогреватель сетевой воды;

ПТУ – паротурбинная установка;

Р – расширитель непрерывной продувки;

РК – регулирующий клапан;

СК – стопорный клапан;

СР – средний ремонт;

ТР – текущий ремонт;

ТЭС – тепловая электрическая станция;

ФСТ – Федеральная служба по тарифам;

ЧС – чрезвычайная ситуация.

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8

## Оглавление

Введение	10
1 Расчет парогенератора	11
1.1 Исходные данные	11
1.2 Тепловой расчет парогенератора	14
1.2.1 Определение мощности компонентов ПГ и упрощенная t-Q диаграмма	14
1.2.2 Выбор теплообменных трубок и определение их числа	17
1.2.3 Компоновка трубного пучка, шаг между трубками и длина трубки на каждом ярусе змеевика	19
1.2.4 Проходная площадь межтрубного пространства	20
1.2.5 Расход теплоносителя и рабочего тела через модуль	20
1.2.6 Скорость движения газа	20
1.2.7 Зона конвективного теплообмена со стороны теплоносителя	20
1.2.8 Участок I – зона конвективного теплообмена в экономайзере	21
1.2.9 Участок II – зона поверхностного кипения	25
1.2.10 Участок III – развитое кипение	28
1.2.11 Участок IV – закризисная зона	30
1.2.12 Участок V – конвективный теплообмен	32
1.2.13 Общая длина теплообменной трубки и ярусов змеевика для одного модуля ПГ	34
1.3 Гидравлический расчет парогенератора	34
1.4 Конструкторский расчет	36
1.4.1 Определение массы заполненного трубного пучка	36
1.4.2 Определение толщины стенки корпуса	36
1.4.3 Определение массы металла	38
1.5 Расчет водно – химического режима	39
2 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	40
2.1 Сетевое планирование	40

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		9

2.2	Расчет затрат на разработку темы	48
3	Социальная ответственность	52
3.1	Введение	52
3.2	Профессиональна социальная безопасность	52
3.2.1	Освещенность рабочего места	55
3.2.2	Микроклимат	56
3.2.3	Шумовое воздействие и вибрации	58
3.2.4	Электромагнитное излучение	60
3.2.5	Физическое и психическое состояние проектировщика работающего на ПЭВМ	60
3.2.6	Электрическая безопасность	62
3.3	Экологическая безопасность	64
3.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	65
3.4.1	ЧС природного характера	65
3.4.2	ЧС техногенного характера	66
3.5	Пожарная безопасность	66
3.6	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	67
4	Система автоматизированного регулирования параметров теплоносителя на выходе из парогенератора	69
4.1	Описание системы контроля	69
4.2	Выбор технических средств для реализации системы контроля	
4.2.1	Преобразователи давления	69
4.2.2	Средства измерения температуры	71
4.2.3	Микропроцессорный контроллер	72
4.3	Проектирование функциональной схемы	73
	Заключение	74
	Список использованных источников	75
	Приложение А (обязательное)	77
	Приложение Б (рекомендуемое)	80

Графический материал:

ФЮРА.693410.001

ФЮРА.693410.002

ФЮРА.421000.004 С2

ФЮРА.693410.003

ФЮРА.693410.005

ФЮРА.693410.006

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11



## Введение

Прямоточный парогенератор перегретого пара предназначен для работы в составе энергоблока электрической мощностью 1739 МВт. Тепловая схема энергоблока АGR - двухконтурная. Теплоносителем в первом контуре является углекислый газ  $CO_2$ , рабочим телом во втором контуре – вода и пар.

Парогенератор АGR - прямоточный теплообменный аппарат модульного типа.

В тепловой схеме данного энергоблока установлено 12 ПГ, разделенных на 4 квадранта, непрерывно работающих и производящих пар высокого качества. В каждом квадранте имеется по три парогенератора и две газодувки. Располагаются ПГ вокруг активной зоны, между газовым оградителем и корпусом высокого давления.

Данное расположение парогенераторов позволяет выводить из работы один из четырех квадрантов без остановки реактора при возникновении межконтурной течи теплообменной поверхности или другого нарушения условий нормальной эксплуатации. Функции обнаружения межконтурной неплотности, определения дефектного парогенератора и вывода ее из работы выполняет система автоматической защиты парогенератора (САЗ).

Парогенератор состоит из трех модулей: испарителя (И), экономайзера(Э) и пароперегревателя (ПЕ). Каждый модуль, представляющий собой вертикальный теплообменник с змеевиковыми трубками.

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		12

# 1 Расчет парогенератора

Задачи данного раздела:

- рассмотреть компоновку и конструкцию парогенератора AGR;
- определить площадь поверхности теплообмена;
- определить основные геометрические размеры ПГ.

При всем этом, расчет промежуточного пароперегревателя вестись не будет, т.к. это выходит за рамки задания. Ещё, при расчете мощности парогенератора было принято пренебрежение сопротивлением при движении газа и рабочего тела через парогенератор и промежуточный пароперегреватель.

Согласно уравнению теплопередачи [3], тепловая мощность любого теплообменного аппарата:

$$Q = k \cdot F \cdot \overline{\Delta t}, \text{ Вт,}$$

где  $k, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$  – коэффициент теплопередачи;

$F, \text{ м}^2$  – площадь поверхности теплообмена;

$\overline{\Delta t}, ^\circ\text{C}$  – среднелогарифмический температурный напор (оставляем постоянным, иначе изменятся параметры тепловой схемы).

Исходя из всего этого, нужно будет сперва рассчитать коэффициенты теплопередачи и температурные напоры. Затем, зная последнее, тепловую мощность и плотности тепловых потоков, будет найдена длина трубок и количество ярусов змеевика.

## 1.1 Исходные данные

Все исходные данные взяты из [1] и [2]. Описание парогенераторов начинается с описания компоновки активной зоны реактора.

Активная зона и парогенераторы находятся в герметичном бетонном кожухе. При этом они разделены газоградителем, предназначенным для направления теплоносителя (углекислого газа) в верхушку парогенератора (рисунок 1.1.1, рисунок 1.1.2, рисунок 1.1.3).

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		13

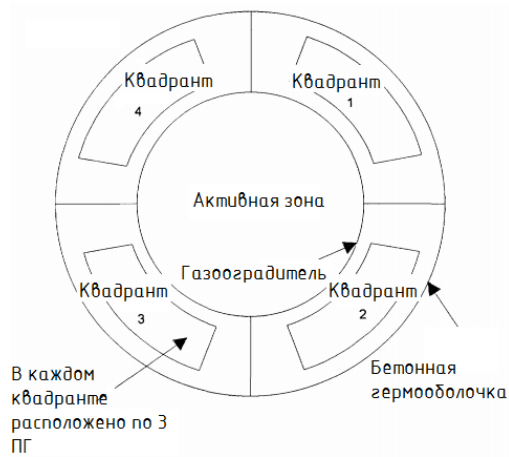


Рисунок 1.1.1 – Схематичное изображение компоновки АЗ реактора

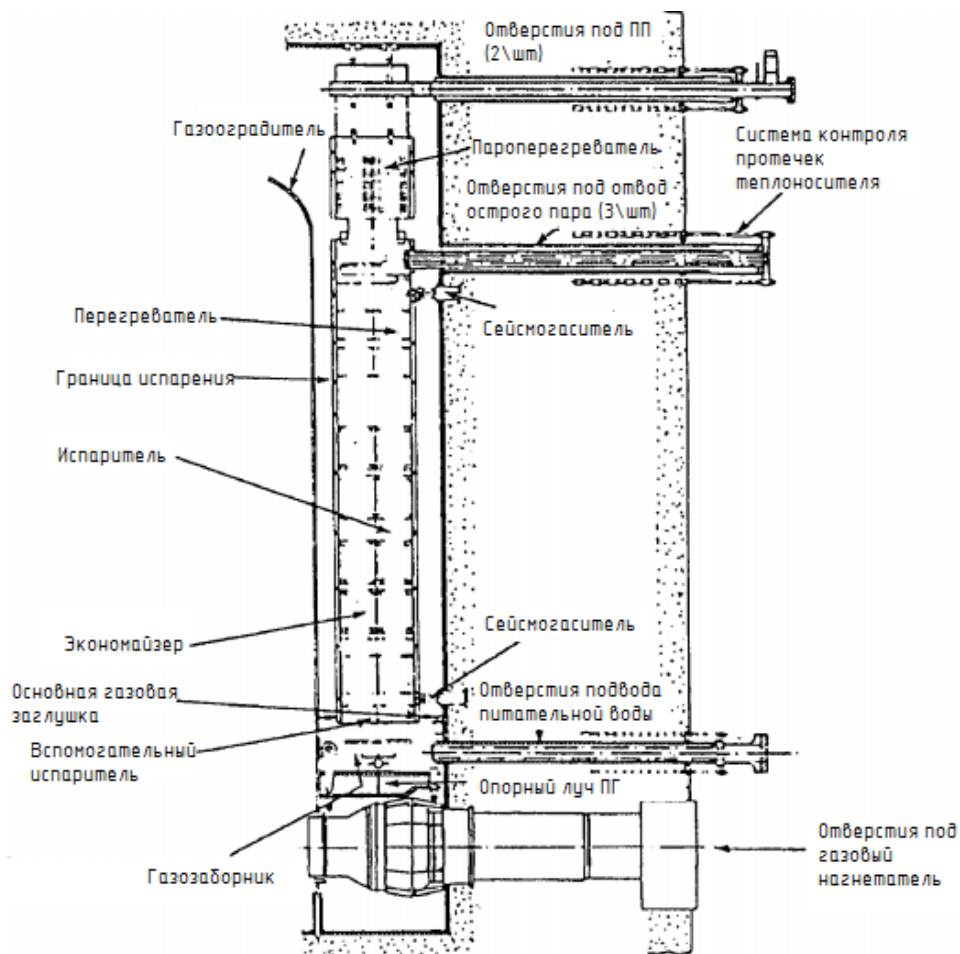


Рисунок 1.1.2 – Компоновочная схема парогенератора

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.693410.001 ПЗ

Лист

14

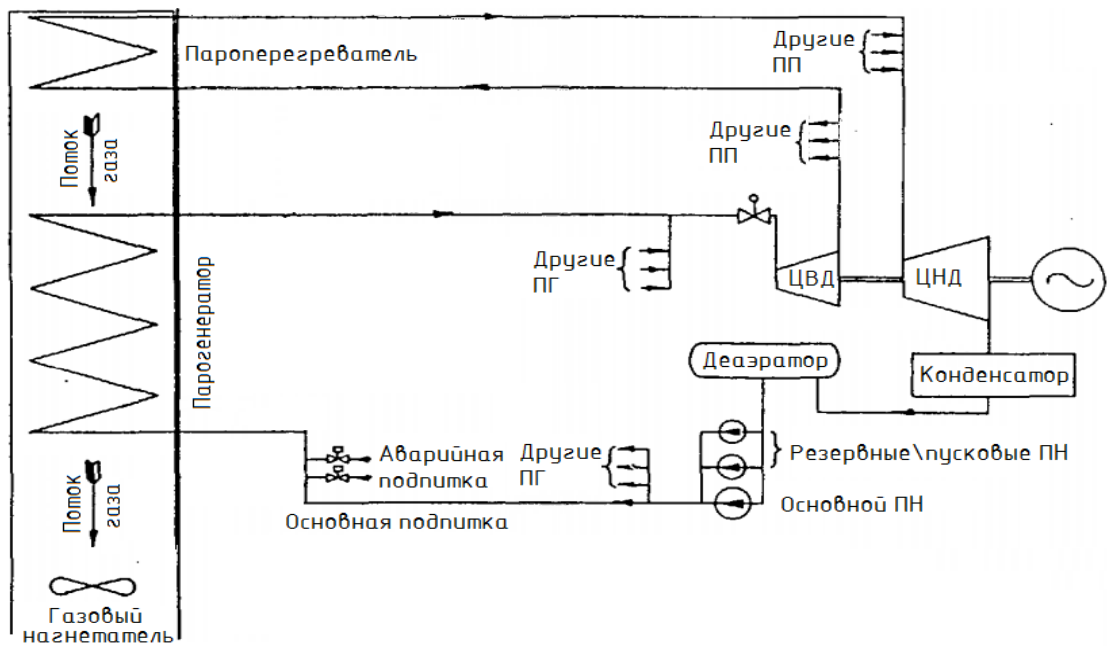


Рисунок 1.1.3 – Тепловая схема турбоустановки к реакторной установке AGR

Теплообменная поверхность представляет собой набор змеевиков, растянутых сверху-вниз и поддерживаемых внутренними дистанционирующими решетками.

Реакторная установка AGR предназначена для работы как в обычном, так и в интенсифицированном режиме. Расчет будет вестись для интенсифицированного режима (таблица 1.1.1).

Таблица 1.1.1 – Параметры теплоносителя и рабочего тела при интенсивном режиме работы ПГ (мощность 110 %)

Тепловая мощность реактора	Количество ПГ	Расход газа через реактор	Давление газа (абсолютное)
1739 МВт	12	4660 кг\с	42,5 бар

Продолжение таблицы 1.1.1

Температура газа

	На входе в	На выходе из	Общий расход
На входе в ПП	ПГ	ПГ	пара на турбину
625 °С	582 °С	296 °С	563 кг\с

## 1.2 Тепловой расчет парогенератора

Задача теплового расчета – определить площадь поверхности теплообмена и длину трубок.

Согласно [3], парогенератор данного типа принято делить на следующие зоны по водяной стороне: зона конвекции однофазной жидкости (зона I), зона поверхностного кипения (зона II), зона развитого кипения (зона III), закризисная зона (зона IV), зона перегретого пара (зона V). Коэффициент теплоотдачи от одной зоны к другой довольно резко меняется, поэтому для обеспечения достаточной точности расчета необходимо рассчитывать коэффициенты теплоотдачи для каждой зоны. Эти расчеты будут проведены сразу после построения t-Q диаграммы.

### 1.2.1 Определение мощности компонентов ПГ и упрощенная t-Q диаграмма

А) Мощность промежуточных пароперегревателей – определена при построении t-Q диаграммы, т.к. он встроен в корпус парогенератора и напрямую влияет на охлаждение теплоносителя (рисунок 1.1.3):

$$Q_{III} = 218 \text{ МВт.}$$

Эта мощность была определена как пересечение процесса охлаждения теплоносителя с температурой теплоносителя на входе в ПГ, заданная в таблице 1.1.1.

Б) Мощность пароперегревателей

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		16

$$Q_{III} = D \cdot (h_{OII} - h'') = 563 \cdot (3390 - 2501) = 501 \text{ МВт},$$

где  $D = 563 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$  – общий расход пара на турбину (таблица 1.1.1);

$$h'' = f(p_{II}) = f(182 \text{ бар}) = 2501 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ – энтальпия насыщения пара [4];}$$

$$h_{OII} = f(p_{II}; t_{OII}) = f(182 \text{ бар}; 541^{\circ}\text{C}) = 3390 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ – энтальпия острого пара [4].}$$

В) Мощность испарителей ПГ

$$Q_{II} = D \cdot (h'' - h') = 563 \cdot (2501 - 1741) = 428 \text{ МВт},$$

где  $D = 563 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$  – общий расход пара на турбину (таблица 1.1.1);

$$h' = f(p_{II}) = f(182 \text{ бар}) = 1741 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ – энтальпия насыщения питательной воды [4];}$$

$$h'' = f(p_{II}) = f(182 \text{ бар}) = 2501 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ – энтальпия насыщения пара [4].}$$

Г) Мощность экономайзеров ПГ

$$Q_{Э} = D \cdot (h' - h_{II}) = 563 \cdot (1741 - 690) = 592 \text{ МВт},$$

где  $D = 563 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$  – общий расход пара на турбину (таблица 1.1.1);

$$h' = f(p_{II}) = f(182 \text{ бар}) = 1741 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ – энтальпия насыщения питательной воды [4];}$$

$$h_{II} = f(p_{II}; t_{II}) = f(182 \text{ бар}; 161^{\circ}\text{C}) = 690 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ – энтальпия питательной воды [4].}$$

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		17

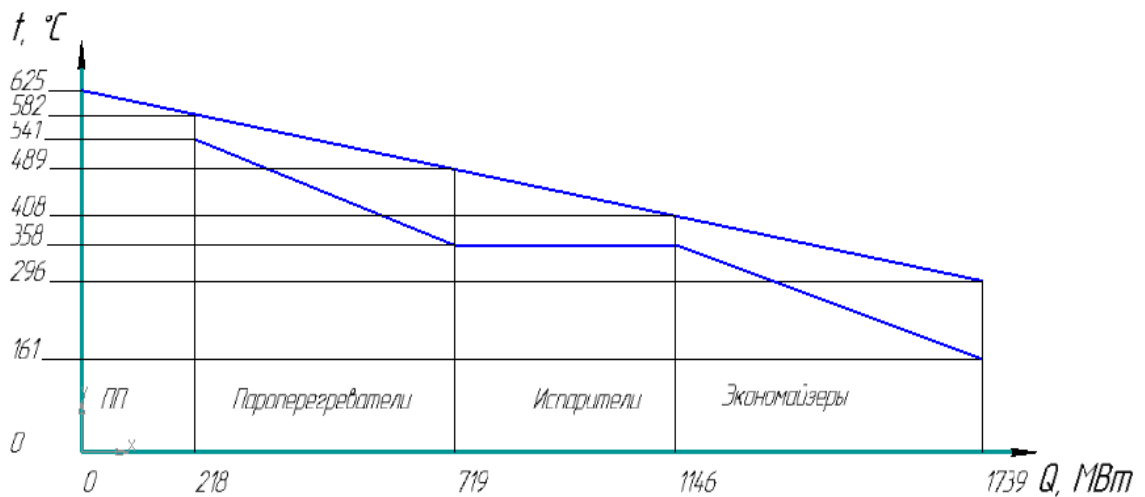


Рисунок 1.2.1.1 – Упрощенная t-Q диаграмма процесса теплообмена в ПГ

Д) Проверка теплового баланса

$$Q = Q_{III} + Q_{Э} + Q_{И} + Q_{П} = G \cdot C_{CO_2} \cdot (t_1' - t_1''),$$

$$1739 = 218 + 588 + 432 + 501 = 4660 \cdot \frac{(1,204 + 1,046) \cdot 10^{-3}}{2} \cdot (625 - 296),$$

$$1739 = 1739 \approx 1725,$$

где  $G = 4660 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$  – расход газа через реактор (таблица 1.1.1);

$t_1' = 625 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $t_1'' = 296 \text{ } ^\circ\text{C}$  – температура теплоносителя на входе-выходе в корпус парогенератора (таблица 1.1.1).

$C_{CO_2} = 1,125 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  – теплоемкость теплоносителя, найденная по его средней температуре (табл. 1.2.1.1).

Таблица 1.2.1.1 Теплофизические свойства теплоносителя.

Средняя температура  
CO<sub>2</sub>

$$t_{CO_2}^{ср} = \frac{t_{CO_2}^{вх. П} + t_{CO_2}^{вых. Э}}{2} = \frac{625 + 296}{2} = 461 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Теплоемкость CO<sub>2</sub>

$$C_{CO_2} = f(t_{CO_2}^{ср}; p_{CO_2}) = f(461 \text{ } ^\circ\text{C}; 42,5 \text{ бар}) = 1,125 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Плотность CO<sub>2</sub>

$$\rho_{CO_2} = f(t_{CO_2}^{ср}; p_{CO_2}) = f(461 \text{ } ^\circ\text{C}; 42,5 \text{ бар}) = 30 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Продолжение таблицы 1.2.1.1

Коэффициент

температуропроводность  $a_{CO_2} = f(t_{CO_2}^{сред}; p_{CO_2}) = f(461^0 C; 42,5 \text{ бар}) = 1,37 \cdot 10^{-6} \frac{M^2}{c}$

и CO<sub>2</sub>

Коэффициент

теплопроводности CO<sub>2</sub>  $\lambda_{CO_2} = f(t_{CO_2}^{сред}; p_{CO_2}) = f(461^0 C; 42,5 \text{ бар}) = 4,8 \cdot 10^{-2} \frac{Вт}{м \cdot К}$

Кинематическая

вязкость CO<sub>2</sub>  $\nu_{CO_2} = f(t_{CO_2}^{сред}; p_{CO_2}) = f(461^0 C; 42,5 \text{ бар}) = 0,9 \cdot 10^{-6} \frac{M^2}{c}$

Число Прандтля для CO<sub>2</sub>

$Pr_{CO_2} = f(t_{CO_2}^{сред}; p_{CO_2}) = f(461^0 C; 42,5 \text{ бар}) = 0,720$

Расхождение теплового баланса:

$$\Delta = \frac{Q - Q_{ТН}}{Q} = \frac{1739 - 1725}{1739} = 0,8\% .$$

Максимальное расхождение – 1,5 %. Следовательно, тепловой баланс сошелся удовлетворительно.

### 1.2.2 Выбор теплообменных трубок и определение их числа

В рисунке 1.2.2.1 будет рассмотрена конструкция парогенератора.

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		19



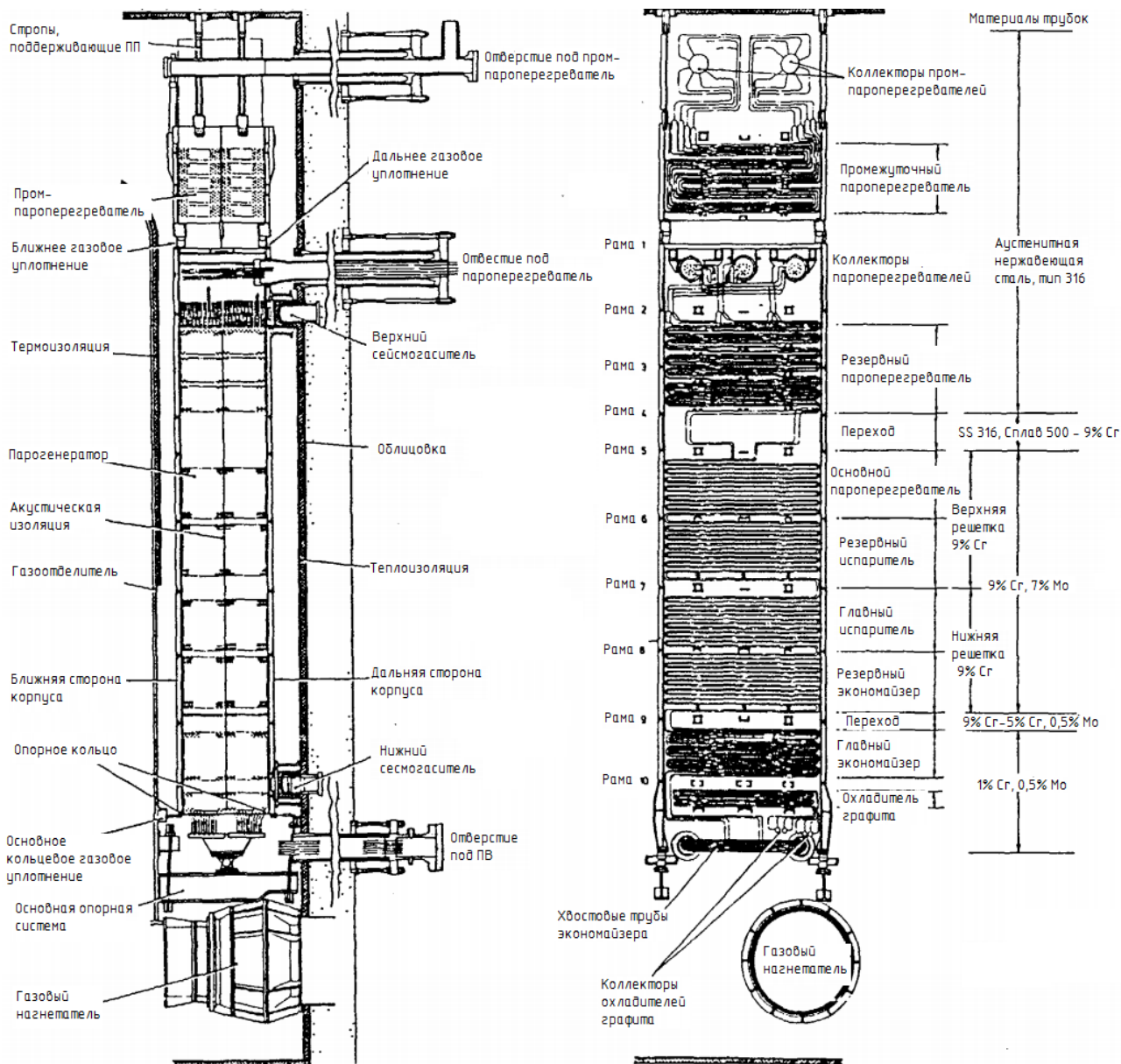


Рисунок 1.2.2.1 – Общий вид и поперечный разрез парогенератора РУ АGR с пояснением его конструкции

Будут выбраны трубки с внешним диаметром 18 мм.

Материалы трубок (рисунок 1.2.2.1):

- аустенитная нержавеющая сталь, тип 316:

$$\left( [\sigma]_T = 205 \text{ МПа}, \lambda_{\text{Сталь } 301} = 16 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right).$$

Остальные стали похожи на эту же сталь своими свойствами.

Толщина стенки трубки:

$$\delta = C_1 + \delta_* = 0,8 \cdot 10^{-4} + 8 \cdot 10^{-4} = 0,00088 \text{ м},$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

где  $\delta_* = d \cdot \frac{P_{ПВ}}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_T + P_{ПВ}} = 0,018 \cdot \frac{182 \cdot 10^5}{2 \cdot 1 \cdot 205 \cdot 10^6 + 182 \cdot 10^5} = 0,0008 \text{ м}$  – толщина

стенки по условию предела упругости материала;

$C_1 = 0,11 \cdot \delta_* = 0,11 \cdot 0,0008 = 0,00008 \text{ м}$  – прибавка на коррозию трубки.

Согласно ряду предпочтительных чисел (ГОСТ 8032-84) примем толщину стенки трубки:

$\delta = 0,001 \text{ м}$ .

Внутренний диаметр трубки:

$d_{\text{внутр}} = d - 2 \cdot \delta = 0,018 - 2 \cdot 0,001 = 0,016 \text{ м}$ .

Число трубок в одном модуле ПГ:

$$N = \frac{D}{n \cdot \pi \frac{d_{\text{внутр}}^2}{4} \cdot \rho_{ПВ} \cdot w} = \frac{563}{12 \cdot \pi \frac{0,016^2}{4} \cdot 917 \cdot 2,5} = 102 \text{ шт.},$$

где  $w = [0,5..4,5] \frac{\text{м}}{\text{с}} = 2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  – скорость воды (задана, согласно [3]);

$\rho_{ПВ} = f(p_{ПВ}; t_{ПВ}) = f(182 \text{ бар}; 161 \text{ } ^\circ\text{C}) = 917 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  – рисунок 1.2.1.1 и [4];

$D = 563 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ,  $n = 12$  – расход воды и число модулей парогенератора (таблица 1.1.1).

### 1.2.3 Компоновка трубного пучка, шаг между трубками и длина трубки на каждом ярусе змеевика

Из рисунка 1.2.2.1 видно, что компоновка трубного пучка – змеевики с коридорным расположением трубок.

$S_p = x_p \cdot d = 1,5 \cdot 0,018 = 0,027 \text{ м}$  – шаг решетки трубок,

где  $x_p = 1,5$  – множитель шага [3].

$l_{\text{ярус}} = 2,5 \text{ м}$  – длина каждого яруса змеевиков, вытянутых сверху-вниз [1].

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		21

#### 1.2.4 Проходная площадь межтрубного пространства

$$F_{M.П} = [l_{ярус} \cdot (S_p - d)] \cdot (N + 1) = [2,5 \cdot (0,027 - 0,018)] \cdot (102 + 1) = 2,318 \text{ м}^2.$$

#### 1.2.5 Расход теплоносителя и рабочего тела через модуль

$$G_{\text{мод}} = \frac{G}{n} = \frac{4660}{12} = 388 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$D_{\text{мод}} = \frac{D}{n} = \frac{563}{12} = 47 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

#### 1.2.6 Скорость движения газа (считаем её постоянной по длине ПГ)

$$w_{CO_2} = \frac{G_{\text{мод}}}{F_{M.П} \cdot \rho_{CO_2}} = \frac{388}{2,318 \cdot 30} = 5,6 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

#### 1.2.7 Зона конвективного теплообмена со стороны теплоносителя

Здесь поток углекислого газа обтекает пучок труб, расположенных по коридорной компоновке.

Коэффициент теплоотдачи и число Нуссельта для этих условий находятся так:

$$\alpha_{CO_2} = \frac{Nu_{0\ CO_2} \cdot \lambda_{CO_2}}{d_3^{\text{квадр}}} = \frac{490,8 \cdot 0,048}{0,017} = 1412 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}},$$

$$Nu_{CO_2} = C \cdot Nu_{0\ CO_2} = 2,2 \cdot 225,4 = 490,8,$$

$$\text{где } Nu_{0\ CO_2} = C_0 \cdot Re_{CO_2}^{d_3\ m} \cdot Pr_{CO_2}^n = 0,25 \cdot (1,036 \cdot 10^5)^{0,6} \cdot 0,720^{0,38} = 225,4 \quad -$$

число Нуссельта для одиночной трубы при поперечном её обтекании;

$$d_3^{\text{квадр}} = d \left( \frac{4 \cdot S_p^2}{\pi} - 1 \right) = 0,018 \left( \frac{4 \cdot 0,027^2}{\pi} - 1 \right) = 0,017 \text{ м} \quad - \quad \text{эквивалентный}$$

диаметр квадратной решетки трубок;

$$C = 1,1 \cdot (1,27 \cdot S_p^2 - 1)^{0,1} = 1,1 \cdot (1,27 \cdot 0,027^2 - 1)^{0,1} = 2,178 \quad - \quad \text{константа.}$$

Теплофизические свойства  $CO_2$  взяты из таблицы 1.2.1.1.

Использованные величины:

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		22

- число Рейнольдса для CO<sub>2</sub>:

$$Re_{CO_2}^{d_3} = \frac{w_{CO_2} \cdot d_3^{квадр}}{\nu_{CO_2}} = \frac{5,6 \cdot 0,017}{9 \cdot 10^{-7}} = 1,036 \cdot 10^5;$$

- константы, определяемые из таблицы, приведенной в [3]:

$$C_0 = 0,25; \quad m = 0,6; \quad n = 0,38.$$

### 1.2.8 Участок I – зона конвективного теплообмена в экономайзере

Вход в участок I:

Коэффициент теплоотдачи и число Нуссельта для входа в участок I:

$$\alpha_I^{ex} = \frac{Nu_I^{ex} \cdot \lambda_{ПВ}}{d_{внутр}} = \frac{435,5 \cdot 0,694}{0,016} = 18890 \frac{Вт}{м^2 К},$$

$$Nu_I^{ex} = \frac{\frac{\xi}{8} \cdot Re_I^{ex} \cdot Pr_{ПВ}}{C + 4,5 \sqrt{\xi} \cdot \left( Pr_{ПВ}^{2/3} - 1 \right)} = \frac{0,015}{8} \cdot 2,187 \cdot 10^5 \cdot 1,071}{1,004 + 4,5 \sqrt{0,015} \cdot \left( 1,071^{2/3} - 1 \right)} = 435,5,$$

где  $Re_I^{ex} = \frac{w_I^{ex} \cdot d}{\nu_{не}} = \frac{2,5 \cdot 0,016}{1,829 \cdot 10^{-7}} = 2,187 \cdot 10^5$  - число Рейнольдса;

$$\xi = \left( 1,82 \cdot \lg(Re_I^{ex}) - 1,64 \right)^{-2} = \left( 1,82 \cdot \lg(2,187 \cdot 10^5) - 1,64 \right)^{-2} = 0,015$$

константа;

$$C = 1 + \frac{900}{Re_I^{ex}} = 1 + \frac{900}{2,187 \cdot 10^5} = 1,004 - \text{константа.}$$

При всем этом, скорость потока:

$$w_I^{ex} = w_{ПВ} = 2,5 \frac{м}{сек}.$$

Все теплофизические данные о питательной воде взяты из таблицы 1.2.8.1.

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		23

Таблица 1.2.8.1 – Теплофизические свойства рабочего тела [4].

Температура, $^{\circ}C$	Энтальпия, $\frac{кДж}{кг}$	Плотность, $\frac{кг}{м^3}$	Кинематическая вязкость, $\frac{м^2}{сек}$
$t_{III} = 541$	$h_{OII} = 3390$	$\rho_{OII} = 55$	$\nu_{OII} = 5,684 \cdot 10^{-7}$
$t_s = 358$	$h'' = 2501$	$\rho'' = 136$	$\nu'' = 1,851 \cdot 10^{-7}$
	$h' = 1741$	$\rho' = 539$	$\nu' = 1.144 \cdot 10^{-7}$
$t_{нс} = 161$	$h_{нс} = 690$	$\rho_{нс} = 914$	$\nu_{нс} = 1.829 \cdot 10^{-7}$

Коэффициент

теплопроводности,

$$\frac{Вт}{м \cdot К}$$

$$\lambda_{OII} = 0,090$$

$$\lambda'' = 0,165$$

$$\lambda' = 0,417$$

$$\lambda_{нс} = 0.694$$

Число Прандтля

$$Pr_{III} = 1,023$$

$$Pr'' = 3,702$$

$$Pr' = 1,978$$

$$Pr_{нс} = 1,071$$

Коэффициент

поверхностного

натяжения,

$$\frac{Н}{м}$$

Не требуется

Не требуется

$$\sigma' = 1.029 \cdot 10^{-2}$$

Не требуется

Коэффициент теплопередачи для участка I:

$$k_I^{ex} = \left( \frac{1}{\alpha_{CO2}} + \frac{\delta}{\lambda_{сталь}} + R_{отл} + \frac{1}{\alpha_I^{ex}} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{1412} + \frac{1 \cdot 10^{-3}}{16} + 1.2 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{18890} \right)^{-1} =$$

$$= 1095 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Выход с участка I:

Коэффициент теплоотдачи и число Нуссельта для выхода с участка I:

$$\alpha_I^{вых} = \frac{Nu_I^{вых} \cdot \lambda'}{d_{внутр}} = \frac{1443 \cdot 0,417}{0,016} = 37600 \frac{Вт}{м^2 К},$$

$$Nu_I^{6yx} = \frac{\frac{\xi}{8} \cdot Re_I^{6yx} \cdot Pr'}{C + 4,5\sqrt{\xi} \cdot (Pr'^{2/3} - 1)} = \frac{0,013 \cdot 5,936 \cdot 10^5 \cdot 1,978}{1,002 + 4,5\sqrt{0,013} \cdot (1,978^{2/3} - 1)} = 1443,$$

где  $Re_I^{6yx} = \frac{w_I^{6yx} \cdot d_{внутр}}{\nu'} = \frac{4,2 \cdot 0,016}{1,144 \cdot 10^{-7}} = 5,936 \cdot 10^5$  - число Рейнольдса;

$$\xi = (1,82 \cdot \lg(Re_I^{6yx}) - 1,64)^{-2} = (1,82 \cdot \lg(5,936 \cdot 10^5) - 1,64)^{-2} = 0,013$$

константа;

$$C = 1 + \frac{900}{Re_1^{6yx}} = 1 + \frac{900}{5,936 \cdot 10^5} = 1,002 - \text{константа.}$$

При всем этом, скорость потока:

$$w_I^{6yx} = \frac{D_{мод}}{\frac{\pi d_{внутр}^2}{4} \cdot N \cdot \rho'} = \frac{46,9}{\frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} \cdot 102 \cdot 539} = 4,2 \frac{м}{сек}.$$

Все теплофизические данные о питательной воде взяты из таблицы 1.2.8.1.

Коэффициент теплопередачи для участка I:

$$k_I^{6yx} = \left( \frac{1}{\alpha_{CO2}} + \frac{\delta}{\lambda_{сталь}} + R_{отл} + \frac{1}{\alpha_I^{6yx}} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{1412} + \frac{1 \cdot 10^{-3}}{16} + 1,2 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{37600} \right)^{-1} =$$

$$= 1090 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Усредненный по участку I коэффициент теплопередачи:

$$k_I = \frac{k_I^{6x} + k_I^{6yx}}{2} = \frac{1214 + 1090}{2} = 1152 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Определим границу I участка; для того чтобы это сделать нужно решить уравнение, приведенное ниже:

$$b_1 + b_2 \cdot \left[ \frac{Q_I}{Q_3} \right] = b_3 + b_4 \cdot \left( b_5 + b_6 \cdot \left[ \frac{Q_I}{Q_3} \right] \right)^{0.3}$$

где  $b_I = \frac{k_I}{\alpha_I} \cdot (t''_1 - t_{нс}) = 5,505$ ;

$$b_2 = (t_s - t_{не}) - \frac{k_I}{\alpha_I} \cdot [(t_s - t_{не}) - (t_1^{Э-II} - t''_1)] = 193,534;$$

$$b_3 = t_s - t_{не} = 197;$$

$$b_4 = \frac{k_I^{0,3}}{A} = \frac{2599^{0,3}}{7.295} = 0,436;$$

$$A = 0.7 \cdot \frac{10.45}{3.3 - 0.0113 \cdot (t_s - 100)} = 7.295;$$

$$b_5 = t''_1 - t_{не} = 135;$$

$$b_6 = (t_s - t_{не}) - (t_1^{Э-II} - t''_1) = 85.$$

Решаем в программе MathCAD, получаем:

$$\frac{Q_I}{Q_Э} = 0,801$$

Отсюда следует, что

$$Q_I = Q_Э \cdot 0,801 = 474 \text{ МВт};$$

$$Q_{II} = Q_Э \cdot (1 - 0,801) = 118 \text{ МВт}.$$

- среднелогарифмический температурный напор

$$\Delta t_I = \frac{(t''_1 - t_{не}) - (t_1^{I-II} - t_2^{I-II})}{\ln\left(\frac{t''_1 - t_{не}}{t_1^{I-II} - t_2^{I-II}}\right)} = \frac{(296 - 161) - (386 - 319)}{\ln\left(\frac{296 - 161}{386 - 319}\right)} = 97 \text{ }^\circ\text{C}$$

где  $t_1^{I-II} = 340.8 \text{ }^\circ\text{C}$  – температура теплоносителя на границе I-II участков (см. t-Q диаграмму на рисунок 1.2.8.1);

$t_2^{I-II} = 258.2 \text{ }^\circ\text{C}$  - температура рабочего тела на границе I-II участков.

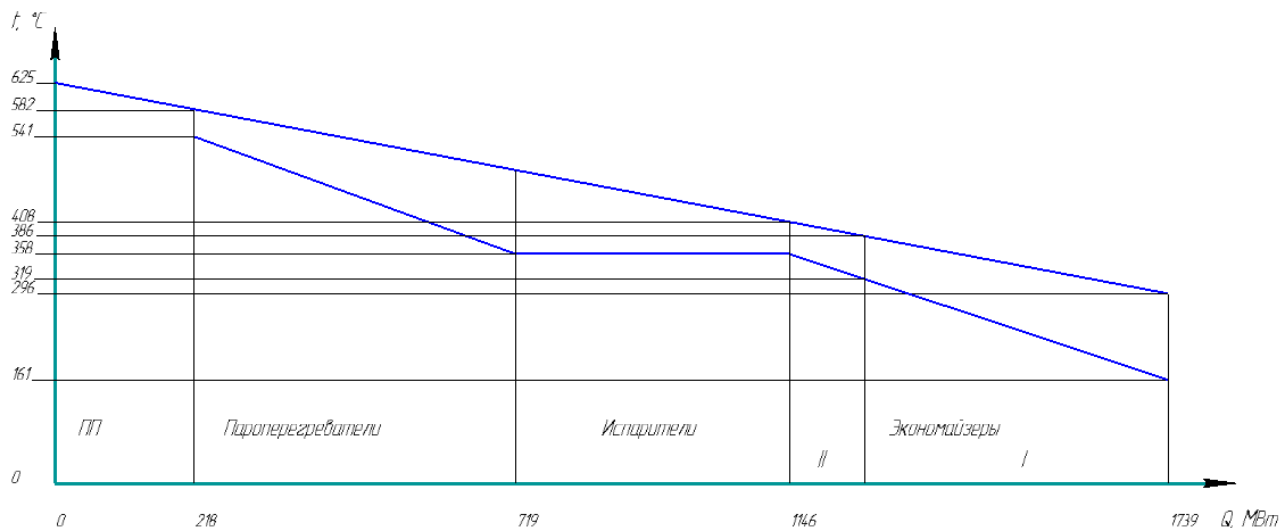


Рисунок 1.2.8.1 – Дополненная t-Q диаграмма

Усредненный по участку I тепловой поток:

$$q_I = k_I \cdot \Delta t_I = 1152 \cdot 97 = 0,112 \frac{MWt}{m^2}.$$

Длина трубки I участка:

$$l_I = \frac{Q_I / q_I}{\pi \cdot d_{внутр} \cdot N \cdot n} = \frac{474 / 0,112}{\pi \cdot 0,016 \cdot 102 \cdot 12} = 68,9 \text{ м}.$$

Количество ярусов змеевика:

$$n_I^{ярус} = \frac{l_I}{l_{ярус}} = \frac{68,9}{2,5} = 27,5 \approx 28 \text{ шт}.$$

### 1.2.9 Участок II – зона поверхностного кипения

Рассчитываем коэффициенты теплопередачи для трубки на входе в участок

II:

Начало итерационного процесса №1:

Исходные данные:

$$\alpha_{CO_2} = 1412 \frac{Вт}{m^2 \cdot K}; \quad \lambda_{сталь} = 16 \frac{Вт}{m \cdot K}; \quad t_1^{I-II} = 386 \text{ } ^\circ C;$$



$$R_{отл} = 12 \frac{м^2 \cdot К}{кВт};$$

$$\delta = 1 \text{ мм};$$

$$t_2^{I-II} = 319 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$A = 19,02.$$

Начальное приближение:

$$q_{II}^{ex} = 7 \cdot 10^4 \frac{Вт}{м^2}.$$

Алгоритм итераций:

$$\alpha_{II}^{ex} = A \cdot q_{II}^{ex 0.7};$$

$$k_{II}^{ex} = \left( \frac{1}{\alpha_{CO2}} + \frac{\delta_{внеш}}{\lambda_{внеш}} + R_{отл} + \frac{1}{\alpha_{II}^{ex}} \right)^{-1};$$

$$q_{II.p}^{ex} = k_{II}^{ex} \cdot (t_1^{э-и} - t_s);$$

$$\Delta_{II}^{ex} = 100 \cdot \frac{q_{II.p}^{ex} - q_{II}^{ex}}{q_{II.p}^{ex}}.$$

Если  $\Delta_{II}^{ex}$  положительная и больше 0.5 % то увеличиваем начальное приближение, в противном случае, если отрицательная и меньше -0.5 % то уменьшаем начальное приближение.

Конец итерационного процесса.

Результат:

$$k_{II}^{ex} = 1097 \frac{Вт}{м^2 К};$$

$$q_{II}^{ex} = 73500 \frac{Вт}{м^2};$$

$$\Delta = 0,011 \text{ } \%.$$

Рассчитываем коэффициенты теплопередачи для трубки на выходе из участка II:

Начало итерационного процесса №2:

Исходные данные:

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		28

$$\lambda = 16 \frac{Вт}{м \cdot К}$$

$$R_{отл} = 12 \frac{м^2 \cdot К}{кВт}$$

$$t_1^{э-п} = 408 \text{ } ^\circ С$$

$$\delta = 1 \text{ мм}$$

$$A = 19,02$$

$$t_s = 358 \text{ } ^\circ С$$

Начальное приближение:

$$q_{п}^{бых} = 6 \cdot 10^4 \frac{Вт}{м^2}$$

Алгоритм итераций:

$$\alpha_{п}^{бых} = A \cdot q_{п}^{бых \ 0.7}$$

$$k_{п}^{бых} = \left( \frac{1}{\alpha_{CO2}} + \frac{\delta}{\lambda} + R_{отл} + \frac{1}{\alpha_{п}^{бых}} \right)^{-1}$$

$$q_{п.p}^{бых} = k_{п}^{бых} \cdot (t_1^{э-п} - t_s)$$

$$\Delta_{п}^{бых} = 100 \cdot \frac{q_{п.p}^{бых} - q_{п}^{бых}}{q_{п.p}^{бых}}$$

Если  $\Delta_{п}^{бых}$  положительная и больше 0.5 % то увеличиваем начальное приближение, в противном случае, если отрицательная и меньше -0.5 % то уменьшаем начальное приближение.

Конец итерационного процесса.

Результат:

$$k_{п}^{бых} = 1091 \frac{Вт}{м^2 К};$$

$$q_{п}^{бых} = 54560 \frac{Вт}{м^2};$$

$$\Delta = 0,113\%;$$

- средний коэффициент теплопередачи:

$$k_{п} = \frac{k_{п}^{ex} + k_{п}^{бых}}{2} = \frac{1097 + 1091}{2} = 1094 \frac{Вт}{м^2 К};$$

- среднелогарифмический температурный напор:

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		29

$$\Delta t_{II} = \frac{(t_1^{I-II} - t_2^{I-II}) - (t_1^{\text{Э-II}} - t_s)}{\ln\left(\frac{t_1^{I-II} - t_2^{I-II}}{t_1^{\text{Э-II}} - t_s}\right)} = \frac{(386 - 319) - (408 - 358)}{\ln\left(\frac{386 - 319}{408 - 358}\right)} = 58 \text{ } ^\circ\text{C};$$

- средняя плотность теплового потока:

$$q_{II} = k_{II} \cdot \Delta t_{II} = 1094 \cdot 58 = 63550 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2};$$

- длина трубки:

$$l_{II} = \frac{Q_{II} / q_{II}}{\pi \cdot d_{\text{внутр}} \cdot N \cdot n} = \frac{118 \cdot 10^6 / 63550}{\pi \cdot 0,016 \cdot 102 \cdot 12} = 30,2 \text{ м};$$

- количество ярусов змеевика:

$$n_{II}^{\text{ярус}} = \frac{l_{II}}{l_{\text{ярус}}} = \frac{30,2}{2,5} = 12,1 \approx 12 \text{ шт.}$$

### 1.2.10 Участок III – развитое кипение.

Рассчитываем коэффициент теплопередачи для трубки и считаем его постоянным по длине первой.

Начало итерационного процесса №3:

- массовая скорость:

$$\rho w = \frac{D_{\text{мод}}}{F} = \frac{D_{\text{мод}}}{N \cdot \frac{\pi d_{\text{внутр}}^2}{4}} = \frac{46,9}{102 \cdot \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4}} = 2288 \frac{\text{кг}}{\text{сек} \cdot \text{м}^2};$$

- граничное паросодержание:

$$x_{\text{гр}} = 1 - 0,86 \cdot \exp\left[\frac{-19}{\rho w \cdot \sqrt{\frac{d_{\text{внутр}}}{\rho' \cdot \sigma'}}}\right] = 1 - 0,86 \cdot \exp\left[\frac{-19}{2288 \cdot \sqrt{\frac{0,016}{539 \cdot 0,01}}}\right] = 0,263;$$

- среднелогарифмический температурный напор:

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		30

$$\Delta t_{III} = \frac{(t_1^{III-IV} - t_s) - (t_1^{\text{э-и}} - t_s)}{\ln \left[ \frac{(t_1^{\text{и-III}} - t_s)}{(t_1^{\text{э-и}} - t_s)} \right]} = \frac{(425 - 358) - (408 - 358)}{\ln \left[ \frac{(425 - 358)}{(408 - 358)} \right]} = 58 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $t_1^{III-IV} = 425 \text{ } ^\circ\text{C}$  – определена по граничному паросодержанию и полной t-Q диаграмме, рисунок 1.2.10.1.

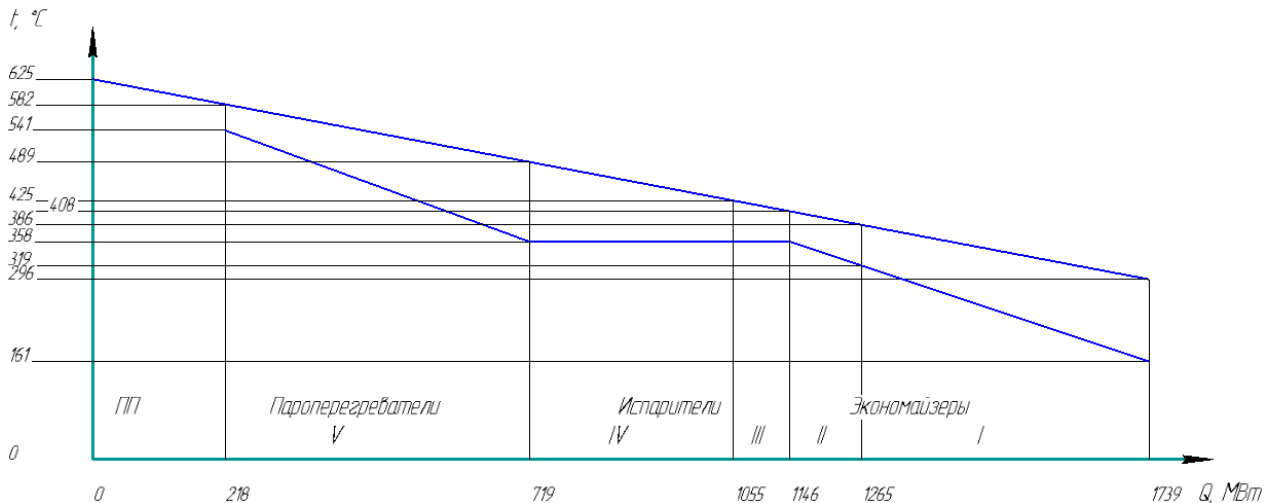


Рисунок 1.2.10.1 – Полная t-Q диаграмма

- скорость циркуляции:

$$w_0 = \frac{D_{\text{мод}}}{\rho' \cdot N \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{внутр}}^2}{4}} = \frac{46,9}{539 \cdot 102 \cdot \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4}} = 4,2 \frac{\text{м}}{\text{сек}};$$

- приведенная скорость смеси:

$$w_{\text{см}} = w_0 \cdot \left[ 1 + x_{\text{сп}} \cdot \left( \frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \right] = 4,2 \cdot \left[ 1 + 0,263 \cdot \left( \frac{539}{136} - 1 \right) \right] = 7,6 \frac{\text{м}}{\text{сек}}.$$

Начальное приближение:

$$q_{III} = 3 \cdot 10^5$$

Алгоритм итераций:

- кипение в большом объеме, Вт/(м<sup>2</sup>·К):

$$\alpha_{III}^{\text{кип.БО}} = 4,34 \cdot q_{III}^{\text{внеш}}{}^{0,7} \cdot \left[ p_2^{0,14} + 1,35 \cdot 10^{-2} \cdot p_2^2 \right]$$

- зона развитого кипения в круглых трубах, Вт/(м<sup>2</sup>·К):

$$\alpha_{III} = \sqrt{\alpha_I^2 + (0.7 \cdot \alpha_{III}^{кин.БО})^2}$$

- коэффициент теплопередачи для внешней трубки, Вт/(м<sup>2</sup>·К) (представлен предельный случай, когда «накипело» достаточно для того, чтобы необходимо было чистить ПГ):

$$k_{III} = \left( \frac{1}{\alpha_{CO2}} + \frac{\delta}{\lambda_{сталь}} + \frac{\delta_{омл}}{\lambda_{омл}} + \frac{1}{\alpha_{III}} \right)^{-1}$$

- тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>:

$$q_{III.p} = k_{III} \cdot \Delta t_{III}$$

- погрешность, %

$$\Delta_{III} = 100 \cdot \frac{q_{III.p} - q_{III}}{q_{III.p}}$$

Если  $\Delta_{III}$  положительная и больше 0.5 % то увеличиваем начальное приближение, в противном случае, если отрицательная и меньше -0.5 % то уменьшаем начальное приближение.

Конец итерационного процесса.

Результат:

- плотность теплового потока для участка III:

$$q_{III} = 58600 \frac{Вт}{м^2}.$$

Мощность III участка:

$$Q_{III} = Q_{II} \cdot x_{cp} = 428 \cdot 10^6 \cdot 0,263 = 113 \text{ МВт}.$$

Длина трубки:

$$l_{III} = \frac{Q_{III} / q_{III}}{\pi \cdot d_{внутр} \cdot N \cdot n} = \frac{113 \cdot 10^6 / 58600}{\pi \cdot 0,016 \cdot 102 \cdot 12} = 31,2 \text{ м}.$$

Количество ярусов змеевика:

$$n_{ярус} = \frac{l_{III}}{l_{ярус}} = \frac{31,2}{2,5} = 12,4 \approx 12.$$

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		32

### 1.2.11 Участок IV – закризисная зона

Рассчитываем коэффициент теплопередачи:

Исходные данные:

$$p_{IV} = 182 \text{ бар}; \quad \rho_w = 2288 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{сек}};$$

- среднелогарифмический температурный напор

$$\Delta t_{IV} = \frac{(t_1^{IV-V} - t_s) - (t_1^{III-IV} - t_s)}{\ln\left(\frac{t_1^{IV-V} - t_s}{t_1^{III-IV} - t_s}\right)} = \frac{(489 - 398) - (425 - 398)}{\ln\left(\frac{489 - 398}{425 - 398}\right)} = 95 \text{ }^\circ\text{C},$$

где  $t_1^{IV-V} = 489^\circ\text{C}$  – найдена по рисунок 1.2.10.1.

Начало итерационного процесса

Начальное приближение:

$$q_{IV} = 0.6 \cdot \Delta t_{IV} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_{CO_2}} + \frac{\delta}{\lambda_{сталь}} + \frac{\delta_{омл}}{\lambda_{омл}} \right)^{-1} = 0.6 \cdot 142.0 \cdot \left( \frac{1}{1412} + \frac{1}{16} + \frac{0.1}{0.5} \right)^{-1} =$$

$$= 59 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Алгоритм итераций:

- выбираем  $\alpha_{IV}^{внеш}$  по номограмме на рисунок 1.2.11.1 [6]

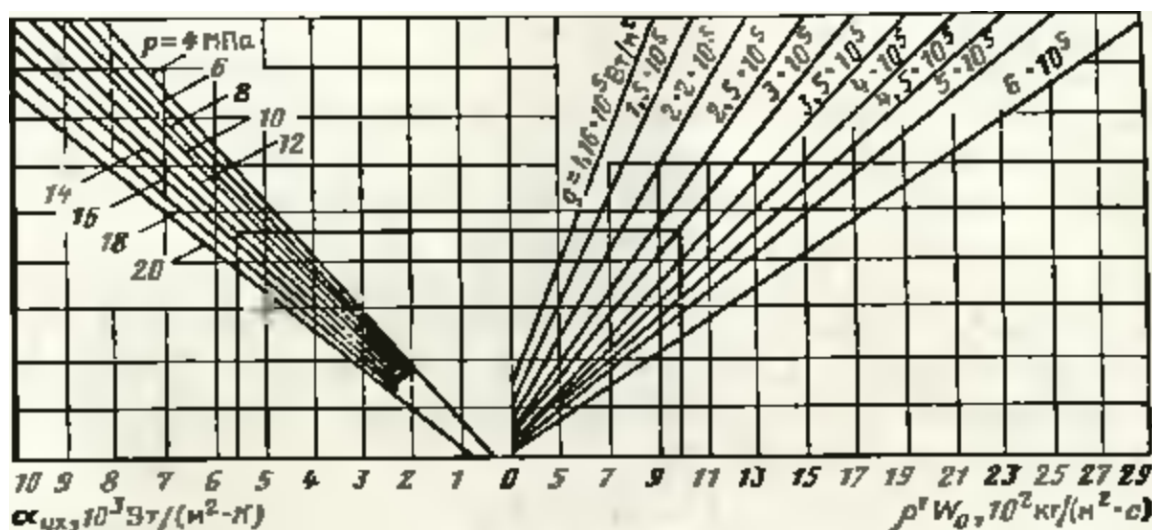


Рисунок 1.2.11.1 – Номограмма для нахождения коэффициента теплоотдачи на участке ухудшенного теплообмена

- рассчитываем коэффициент теплопередачи

$$k_{IV}^{внеш} = \left( \frac{1}{\alpha_{ЖМТ}} + \frac{\delta}{\lambda_{сталь}} + \frac{\delta_{отл}}{\lambda_{отл}} + \frac{1}{\alpha_{IV}} \right)^{-1};$$

- рассчитываем тепловой поток

$$q_{IV.p} = k_{IV} \cdot \Delta t_{IV};$$

- находим погрешность (не должна составлять более 15 %)

$$\Delta_{IV} = 100 \cdot \frac{q_{IV.p}^{внеш} + q_{IV}^{внеш}}{q_{IV.p}^{внеш}}.$$

Результат:

$$q_{IV} = 61220 \frac{Вт}{м^2 К},$$

$$k_{IV} = 641 \frac{Вт}{м^2 К}.$$

Мощность участка IV:

$$Q_{IV} = Q_{II} (1 - x_{зр}) = 428 \cdot (1 - 0,263) = 315 \text{ МВт}.$$

Длина трубки:

$$l_{IV} = \frac{Q_{IV} / q_{IV}}{\pi \cdot d_{внутр} \cdot N \cdot n} = \frac{315 \cdot 10^6 / 61220}{\pi \cdot 0,016 \cdot 102 \cdot 12} = 83,7 \text{ м}.$$

Количество ярусов змеевика:

$$n_{IV.ярус} = \frac{l_{IV}}{l_{ярус}} = \frac{83,7}{2,5} = 33,4 \approx 33.$$

### 1.2.12 Участок V – конвективный теплообмен

Вход на участок V

- скорость сухого насыщенного пара на входе в участок

$$w_{вх}^{ПП} = \frac{D_{мод}}{\frac{\pi \cdot d_{внутр}^2}{4} N \cdot \rho''} = \frac{46,9}{\frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} 102 \cdot 136} = 16,8 \frac{м}{сек};$$

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		34

- число Рейнольдса для входа на V участок:

$$Re_{ex}^V = \frac{w_{ex}^{ПП} \cdot d_{внутр}}{\nu} = \frac{16,8 \cdot 0,016}{1,851 \cdot 10^{-7}} = 1,454 \cdot 10^6, \text{ допустимо } [4 \cdot 10^3; 5 \cdot 10^6];$$

- коэффициент теплоотдачи для круглых труб:

$$\alpha_V^{ex} = 0,021 \cdot \frac{\lambda''}{d_{ex}} \cdot Re_{ex}^{V 0,8} \cdot Pr''^{0,8} =$$

$$= 0,021 \cdot \frac{0,165}{0,016} \cdot (1,454 \cdot 10^6)^{0,8} \cdot (3,702)^{0,8} = 52530 \frac{Вт}{м^2 \cdot К};$$

- коэффициент теплопередачи на входе в V участок

$$k_V^{ex} = \left( \frac{1}{\alpha_{CO2}} + \frac{\delta}{\lambda_{сталь}} + R_{отл} + \frac{1}{\alpha_V^{ex}} \right)^{-1} =$$

$$= \left( \frac{1}{1412} + \frac{0,001}{16} + 1,2 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{52530} \right)^{-1} = 1099 \frac{Вт}{м^2 \cdot К};$$

### Выход с участка V

- скорость перегретого пара (ПП) на выходе с участка

$$w_{вых}^{ОП} = \frac{D_{мод}}{\frac{\pi \cdot d_{внутр}^2}{4} N \cdot \rho_{ОП}} = \frac{46,9}{\frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} 102 \cdot 55} = 41,6 \frac{м}{сек};$$

- число Рейнольдса для выхода из V участка:

$$Re_{вых}^V = \frac{w_{вых}^{ОП} \cdot d_{внутр}}{\nu_{ОП}} = \frac{41,6 \cdot 0,016}{1,063 \cdot 10^{-7}} = 1,171 \cdot 10^6, \text{ допустимо } [4 \cdot 10^3; 5 \cdot 10^6];$$

- коэффициент теплоотдачи для круглых труб:

$$\alpha_V^{вых} = 0,021 \cdot \frac{\lambda_{ОП}}{d_{внутр}} \cdot Re_{вых}^{V 0,8} \cdot Pr_{ОП}^{0,8} =$$

$$= 0,021 \cdot \frac{0,090}{0,016} \cdot (1,171 \cdot 10^6)^{0,8} \cdot (1,023)^{0,8} = 86110 \frac{Вт}{м^2 \cdot К};$$

- коэффициент теплопередачи на выходе из V участка

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		35



$$k_V^{66ix} = \left( \frac{1}{\alpha_{CO2}} + \frac{\delta}{\lambda_{сталь}} + R_{отл} + \frac{1}{\alpha_V^{66ix}} \right)^{-1} =$$

$$= \left( \frac{1}{1412} + \frac{0,001}{16} + 1,2 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{8611} \right)^{-1} = 993 \frac{Вт}{м^2 \cdot К};$$

- находим коэффициент теплопередачи для V участка:

$$k_V = \frac{k_V^{66} + k_V^{66ix}}{2} = \frac{1099 + 993}{2} = 1046 \frac{Вт}{м^2 К};$$

- среднелогарифмический температурный напор между IV и V участками:

$$\Delta t_V = \frac{(t_1^{IV-V} - t_s) - (t_1' - t_{отл})}{\ln \left( \frac{t_1^{IV-V} - t_s}{t_1' - t_{отл}} \right)} = \frac{(489 - 303) - (582 - 541)}{\ln \left( \frac{489 - 303}{582 - 541} \right)} = 106 \text{ } ^\circ\text{C};$$

- средний тепловой поток:

$$q_V = k_V \cdot \Delta t_V = 1046 \cdot 106 = 0,111 \frac{МВт}{м^2};$$

- мощность V участка:

$$Q_V = Q_{II} = 501 \text{ МВт};$$

- длина трубок:

$$l_V = \frac{Q_V / q_V}{\pi \cdot d_{внутр} \cdot N \cdot n} = \frac{501 / 0,111}{\pi \cdot 0,016 \cdot 102 \cdot 12} = 73,5 \text{ м};$$

### 1.2.13 Общая длина теплообменной трубки и ярусов змеевика для одного модуля ПГ

$$l = l_I + l_{II} + l_{III} + l_{IV} + l_V = 68,8 + 30,2 + 31,2 + 83,7 + 73,5 = 287,5 \text{ м};$$

$$n_{ярус} = n_{ярус}^I + n_{ярус}^{II} + n_{ярус}^{III} + n_{ярус}^{IV} + n_{ярус}^V = 28 + 12 + 12 + 33 + 29 = 114 \text{ шт.}$$

### 1.3 Гидравлический расчет парогенератора

Гидравлическое сопротивление парогенератора составляется из следующих компонентов:

- сопротивление трения:

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		36

С учетом начального гидродинамического участка

$$\Delta P_m = \frac{(\xi \cdot l / d_z + k) \cdot \rho \cdot \bar{n}^2}{2}$$

$$\Delta P_m = \frac{(9,2 \cdot 10^{-5} \cdot 68,9 / 0,016 + 1,16) \cdot 484,5 \cdot 22,1^2}{2} = 0,14 \text{ МПа},$$

где  $\mu_i = 62 \cdot 2 \div (\text{Re} I_{\text{ex}} + \text{Re} I_{\text{вых}}) = 62 \cdot 2 \div ((2,2 + 11,7) \cdot 10^5) = 9,2 \cdot 10^{-5}$  —

коэффициент трения;

$l = 287,5$  м — длина трубки ПГ;

$d = 0,016$  м — внутренний диаметр трубки;

$k = 1,16$  — коэффициент, учитывающий профиль скоростей на входе в трубку;

$Rho = (rho' + rho_{\text{ОП}}) \div 2 = (914 + 55) \div 2 = 484,5 \text{ кг} / \text{м}^3$  — средняя

плотность воды в парогенераторе;

$w = (w I_{\text{ex}} + w I_{\text{ex}}) \div 2 = (2,5 + 41,6) \div 2 = 22,1 \text{ м} / \text{сек}$  — средняя скорость

потока в парогенераторе.

- местные сопротивления:

$$\Delta P_m = \frac{\xi_m \cdot \rho \cdot \bar{n}^2}{2} = \frac{38,5 \cdot 484,5 \cdot 22,1^2}{2} = 0,461 \text{ МПа},$$

где  $Dzeta = 2 \cdot Dzeta_{\text{выст}} + Dzeta_{180} \cdot (n \text{ I ярус} + n \text{ II ярус} + n \text{ III ярус} + n \text{ IV ярус} + n \text{ V ярус}) = 2 \cdot 1 + 0,32 \cdot (28 + 12 + 12 + 33 + 29) = 38,5$ ;

$Dzeta_{\text{выст}} = 1$  — коэффициент для входа/выхода в трубку с выступающими кромками;

$Dzeta_{180} = 0,32$  — коэффициент для поворота потока на 180 градусов;

$n$  ярус — количество ярусов змеевика для каждого участка теплообмена.

- сопротивление ускорения:

$$\Delta P_{\text{уск}} = (\rho \cdot w)^2 \cdot [(1 \div \rho_k - 1 \div \rho_n)] =$$

$$= ((484,5 \cdot 22,1)^2) \cdot (1/55 - 1/914) = 0,192 \text{ МПа}.$$

- нивелирный напор:

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		37

$$\Delta P_{\text{нив}} = (\rho_1 - \rho_2) \cdot g \cdot h =$$

$$= (914 - 55) \cdot 9,8 \cdot h = ,$$

где  $h = (n \text{ I ярус} + n \text{ II ярус} + n \text{ III ярус} + n \text{ IV ярус} + n \text{ V ярус}) \cdot S_p =$   
 $(28+12+12+33+29) \cdot 0,027 = 0,03 \text{ МПа};$

$S_p$  – шаг решетки трубок, м.

Итого, общее сопротивление:

$$\Delta P = \Delta P_t + \Delta P_m + \Delta P_{\text{уск}} + \Delta P_{\text{нив}} =$$

$$= 0,14 + 0,461 + 0,192 + 0,03 = 6,70 \text{ МПа.}$$

Такое относительно большое сопротивление обусловлено тем, что трубки имеют змеевиковый вид.

## 1.4 Конструкторский расчет

Согласно [1] и [2] корпус парогенератора выполняет несущую функцию, поэтому конструкторский расчет будет сведен к определению толщины стенки корпуса из условия избежания превышения предела текучести металлом корпуса под действием массы трубного пучка плюс запас на решетки и прочие конструкционные элементы.

### 1.4.1 Определение массы заполненного трубного пучка

$m = V_{\text{сталь}} \cdot \rho_{\text{сталь}} + V_{\text{вода}} \cdot \rho_{\text{I вх}} = 1,56 \cdot 7890 + 5,89 \cdot 914 = 18 \text{ т,}$   
где  $V_{\text{сталь}} = ((\pi \cdot (d^2 - d_{\text{внутр}}^2)) / 4) \cdot l \cdot N_{\text{труб}} = ((3,14 \cdot (0,018^2 - 0,016^2)) / 4) \cdot 287,5 \cdot 102 = 1,56 \text{ м}^3;$

$V_{\text{вода}} = ((\pi \cdot d_{\text{внутр}}^2) / 4) \cdot l \cdot N_{\text{труб}} = ((3,14 \cdot 0,016^2) / 4) \cdot 287,5 \cdot 102 =$   
 $= 5,89 \text{ м}^3.$

$\rho_{\text{сталь}}$  – плотность стали типа 316;

$\rho_{\text{I вх}}$  — плотность питательной воды.

### 1.4.2 Определение толщины стенки корпуса

Толщина стенки корпуса будет определена так: сначала будет задана толщина стенки, согласно стандартному набору чисел, потом будет определена

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		38

площадь несущего сечения и давление, приходящееся на него. Если давление будет превышать предел текучести с учетом коэффициента запаса, то площадь сечения будет мала. Затем толщина стенки будет прибавлена до соблюдения условия, что расчетное давление будет меньше предела текучести.

Пусть

$\delta = 0,1$  мм – толщина стенки корпуса.

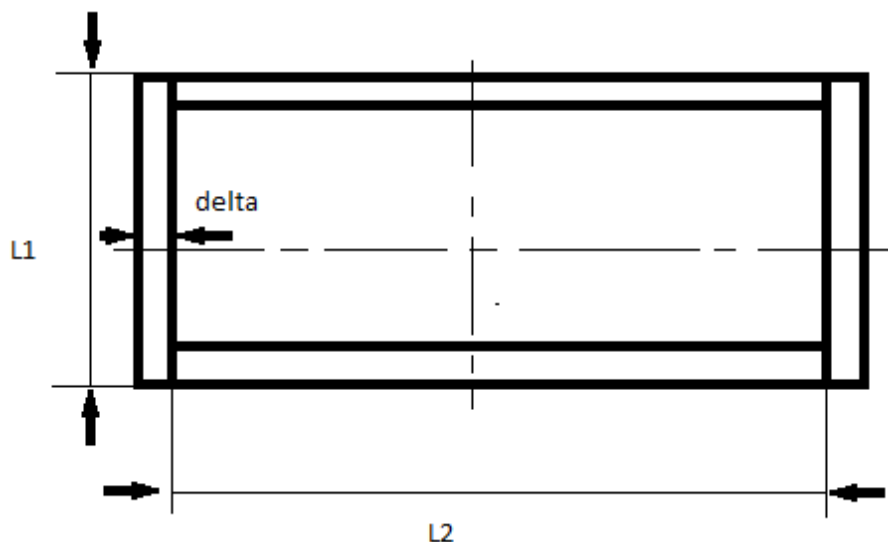


Рисунок 1.4.2.1 – Модель корпуса ПГ

Тогда, согласно рисунку 1.4.2.1 получается:

$$F = 2 \cdot L1 \cdot \delta + 2 \cdot L2 \cdot \delta =$$

$$= 2 \cdot 2,502 \cdot 0,001 + 2 \cdot 2,781 \cdot 0,001 = 0,008 \text{ м}^2,$$

где  $L1 = 2 \cdot \delta + 1 \text{ ярус} = 2 \cdot 0,001 + 2,500 = 2,502$  м;

$$L2 = Sp \cdot (N \text{ труб} + 1) = 0,027 \cdot (102 + 1) = 2,781 \text{ м.}$$

Напряжение сжатия:

$$\sigma = m/F = 18000/0,008 = 2,3 \text{ МПа, когда допустимое напряжение.}$$

$$[\sigma]_{\Gamma} = 205 \text{ МПа.}$$

Дальше уменьшать толщину листового металла нет смысла.

### 1.4.3 Определение массы металла

$$m \text{ сталь} = (V \text{ сталь} + V \text{ лист}) \cdot \rho \text{ сталь} = (1,56 + 0,033) \cdot 7890 \sim 13 \text{ т,}$$

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		39

где  $V_{\text{лист}} = F \cdot (Sp \cdot n_{\text{ярус}} + 1 \text{ м}) = 0,008 \cdot (0,027 \cdot 114 + 1) = 0,033 \text{ м}^3$  –  
объем листового металла.

### 1.5. Расчет водно-химического режима

В предварительно напряженном бетонном сосуде высокого давления содержится ядро реактора и парогенераторы. Чтобы свести к минимуму количество проникновений в сосуд (и, следовательно, уменьшить количество возможных мест утечек), парогенераторы имеют сквозную конструкцию, где всё кипячение и перегрев осуществляются внутри труб котла. Это требует использования ультрачистой воды для минимизации образования солей в испарителе и последующих проблем с коррозией.

Ультрачистая вода - это глубоко обессоленная сверхчистая вода, не содержащая ионов примесей. В зависимости от назначения ультрачистая вода имеет удельное сопротивление 10МОм•см и более. Для получения ультрачистой воды ООО «БМТ» предлагает линейку мембранных деионизаторов производительностью 5, 10, 25, 35, 50 и 100 л/ч методами обратного осмоса, ионного обмена и электродеионизации. Для получения ультрачистой воды используются химические или физические методы, например, ионный обмен, мембранное разделение, микрофльтрация, электродеионизация.

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		40

## 2 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 2.1 Сетевое планирование

Для оптимального распределения рабочих ресурсов и уменьшения затрат проведём сетевое планирование.

Планирование работ сетевым методом включает в себя: составление перечня работ; определение участников каждой отдельной работы; установление продолжительности работ; построение сетевого графика.

Составим перечень работ, которые необходимо произвести для достижения цели в поставленной задаче:

- 0 – получение задания;
- 1 – составление списка литературы;
- 2 – копирование литературы;
- 3 – перевод иностранной литературы;
- 4 – распределение литературы по темам;
- 5 – обзор литературы по различным методам расчёта;
- 6 – обзор литературы по различным параметрам теплоносителей;
- 7 – обзор литературы по решениям уравнений;
- 8 – обзор литературы по гидродинамическим процессам;
- 9 – обзор экспериментальных данных;
- 10 – обзор литературы по охране труда;
- 11 – знакомство с методом наименьших квадратов;
- 12 – определение тепловой мощности элементов, частей и всего ПГ;
- 13 – определение расхода теплоносителя;
- 14 – расчет температур теплоносителя по участкам ПГ;
- 15 – построение принципиальной тепловой схемы ПГ;
- 16 – построение тепловой диаграммы;
- 17 – определение числа модулей испарителя и числа труб;
- 18 – разбивка испарителя на участки;

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		41

19 – расчет коэффициента теплопередачи на экономайзерном участке испарителя;

20 – решение уравнения;

21 – расчёт паросодержания;

22 – расчёт экономайзерного участка;

23 – расчёт первого испарительного участка;

24 – расчёт участка испарителя с ухудшенной теплоотдачей;

25 – расчёт длины труб испарителя;

26 – расчёт поверхности пароперегревателя;

27 – анализ результатов теплового расчёта;

28 – конструкторский расчёт;

29 – расчёт водного режима;

30 – расчёт тепловой изоляции;

31 – выполнение гидравлического расчёта

32 – оформление результатов гидравлического расчёта;

33 – работа над технико-экономической частью;

34 – работа над разделом «Охрана труда»;

35 – работа над заключительной частью;

36 – оформление расчетно-пояснительной записки;

37 – распечатка расчетно-пояснительной записки и демонстрационных листов;

38 – проверка расчетно-пояснительной записки и исправление ошибок;

39 – сдача расчетно-пояснительной записки;

Для определения ожидаемой продолжительности работы используем вероятностный метод, так как обычно не имеется нормативных данных о выполнении работ по научно-исследовательским темам. Всю работу мы делим на этапы, состоящие из отдельных работ. Каждая, из перечисленных выше работ имеет свою продолжительность. Экспериментальным способом устанавливаем минимальную и максимальную продолжительность работ.

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		42

Каждую работу обозначим символом для построения сетевого графика.

Над выполнением работы трудятся: СП - старший преподаватель; АСС - ассистент; АСП - аспирант.

Составим таблицу данных, необходимых для построения сетевого графика (см. таблицу 2.1.1).

Таблица 2.1.1 – Данные сетевого графика

ШИФР РАБОТ	НАИМЕНОВАНИЕ РАБОТ	ИСПОЛЬ	$t_{OЖ}$	$t_{MIN}$	$t_{НВ}$	$t_{МАХ}$
0-1	Составление списка литературы	СП	6	5	6	7
1-2	Копирование литературы	АСП	2	1	2	3
1-3 2-3	Перевод иностранной литературы	СП АСП	2	1	2	3
1-4	Распределение литературы по темам	СП	6	5	6	7
2-5 3-5 4-5	Обзор литературы по различным методам расчёта	АСП	4	3	4	5
2-6 4-6	Обзор литературы по различным параметрам теплоносителей	АСП	4	3	4	5
4-7	Обзор литературы по решениям уравнений	АСП	4	3	4	5
4-8 2-8	Обзор литературы по гидродинамическим процессам	АСП	4	3	4	5
4-9	Обзор экспериментальных данных	СП	4	3	4	5
4-10	Обзор литературы по охране труда	АСП	4	3	4	5



Продолжение таблицы 2.1.1

ШИФР РАБОТ	НАИМЕНОВАНИЕ РАБОТ	ИСПОЛЬ	$t_{OЖ}$	$t_{MIN}$	$t_{НВ}$	$t_{МАХ}$
6-11	Знакомство с методом наименьших квадратов	АСП	4	3	4	5
11-12	Определение тепловой мощности элементов, частей и всего ПГ	СП АСП	7	5	7	9
12-13	Определение расхода теплоносителя	СП АСП	4	3	4	5
13-14	Расчет температур теплоносителя по участкам ПГ	АСП	7	5	7	9
6-15 14-15	Построение принципиальной тепловой схемы ПГ	СП АСП	4	3	4	5
15-16	Построение тепловой диаграммы	АСП	7	4	7	10
19-17	Определение числа модулей испарителя и числа труб	СП АСП	4	3	4	5
16-18 17-18 20-18	Разбивка испарителя на участки	АСП	7	4	7	10
7-19	Расчет коэффициента теплопередачи на экономайзерном участке испарителя	АСС	7	4	7	10
19-20	Решение уравнения	АСП АСС	3	2	3	4
20-21	Расчёт паросодержания	АСС АСП	4	3	4	5
18-22 21-22	Расчёт экономайзерного участка	АСП	7	4	7	10

Продолжение таблицы 2.1.1

ШИФР РАБОТ	НАИМЕНОВАНИЕ РАБОТ	ИСПОЛНЕНИЕ	$t_{OЖ}$	$t_{MIN}$	$t_{НВ}$	$t_{МАХ}$
16-23 18-23 22-23 27-23	Расчёт первого испарительного участка	АСП	4	3	4	5
25-24	Расчёт участка испарителя с ухудшенной теплоотдачей	СП АСС АСП	6	5	6	7
6-25	Расчёт длины труб испарителя	АСП	7	5	7	9
24-26	Расчёт поверхности пароперегревателя	СП АСП	4	3	4	5
23-28	Конструкторский расчёт	СП АСП	4	3	4	5
9-29 24-29 28-29	Расчёт водного режима	СП АСП	6	5	6	7
2-30 8-30	Расчёт тепловой изоляции	АСП	6	5	6	7
2-31 8-31	Выполнение гидравлического расчёта	АСП	6	5	6	7
2-32	Оформление результатов гидравлического расчёта	АСП	7	5	7	9
0-33	Работа над технико-экономической частью	АСП	7	5	7	9
10-34	Работа над разделом «Охрана труда»	АСП	4	3	4	5
29-35	Работа над заключительной частью	АСП	2	1	2	3

Продолжение таблицы 2.1.1

ШИФР РАБОТ	НАИМЕНОВАНИЕ РАБОТ	ИСПОЛЬ	t <sub>ОЖ</sub>	t <sub>MIN</sub>	t <sub>НВ</sub>	t <sub>МАХ</sub>
33-36 34-36 35-36	Оформление расчетно-пояснительной записки	АСП	9	7	9	11
36-37	Распечатка расчетно-пояснительной записки и демонстрационных листов	АСП	10	8	10	12
37-38	Проверка расчетно-пояснительной записки и исправление ошибок	АСП	5	3	5	7
38-39	Сдача расчетно-пояснительной записки руководителю	АСП	1	1	1	1
0-27 26-29 5-36 30-36 31-36 32-36	Фиктивные работы	-	0	0	0	0

Расчет параметров сетевого графика проводим секторным методом. Секторный метод заключается в определении времени раннего и позднего совершения события и их резервы при известных затратах времени на каждую запланированную работу.

В секторном методе:  $ij$  – номер события;  $R_i, R_j$  – резерв этого события;  $t_i^{PH}, t_j^{PH}$  – раннее время свершения этого события;  $t_i^{ПО}, t_j^{ПО}$  – позднее время свершения этого события.

$$T_j^{PH} = \max(T_i^{PH} + t_{ij})$$

где  $T_j^{PH}$  – время раннего начала последующего события;

$T_i^{PH}$  - время раннего начала предыдущего события;

$t_{ij}$  – длительности пути между этими событиями.

Поздний срок свершения последнего события равен длине критического пути. Поздний срок свершения любого события равен разности между длиной критического пути и максимальным путем, следующим за данным событием:

$$T_i^{ПО} = \min(T_j^{ПО} - T_{ij})$$

где  $T_i^{ПО}$  - время позднего окончания предшествующего события;

$T_j^{ПО}$  - время позднего окончания последующего события.

Резерв события равен разности между временем позднего свершения и временем раннего начала события:

$$R_i = T_i^{ПО} - T_i^{РО}$$

Критический путь – это наибольший по продолжительности полный путь, на котором резервы событий равны нулю. На критическом пути коэффициент напряженности равен единице.

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		47

Таблица 2.1.2 – Результаты расчета сетевого графика

ШИФР РАБОТЫ	$t_{ij}$	$t_{ij}^{PH}$	$t_{ij}^{PO}$	$t_{ij}^{ПН}$	$t_{ij}^{ПО}$	$R_{ij}$
0-1	6	0	6	0	6	0
1-2	2	6	8	8	10	2
1-3	2	6	8	10	12	4
2-3	2	8	10	10	12	2
1-4	6	6	12	6	12	0
2-5	4	8	12	12	16	4
3-5	4	10	14	12	16	2
4-5	4	12	16	12	16	0
2-6	4	8	12	12	16	4
4-6	4	12	16	12	16	0
4-7	4	12	16	34	38	22
4-8	4	12	16	12	16	0
2-8	4	8	12	12	16	4
4-9	4	12	16	67	71	55
4-10	4	12	16	71	75	59
6-11	4	16	20	16	20	0
11-12	7	20	27	20	27	0
12-13	4	27	31	27	31	0
13-14	7	31	38	31	38	0
6-15	4	16	20	38	42	22
14-15	4	38	42	38	42	0
15-16	7	42	49	42	49	0
19-17	4	23	27	45	49	22
16-18	7	49	56	49	56	0
17-18	7	27	34	49	56	22
20-18	7	26	33	49	56	23
7-19	7	16	23	38	45	22
19-20	3	23	26	46	49	23
20-21	4	26	30	52	56	26
18-22	7	56	63	56	63	0
21-22	7	30	37	56	63	26
16-23	4	49	53	63	67	14
18-23	4	56	60	63	67	7
22-23	4	63	67	63	67	0
27-23	4	0	4	63	67	63
6-25	7	16	23	16	23	0
25-24	6	23	29	23	29	0
24-26	4	29	33	29	33	0
23-28	4	67	71	67	71	0
28-29	6	71	77	71	77	0
9-29	6	16	22	71	77	55
24-29	6	29	35	71	77	42
2-30	6	8	14	16	22	8
8-30	6	16	22	16	22	0
2-31	6	8	14	16	22	8
8-31	6	16	22	16	22	0
2-32	7	8	15	8	15	0
0-33	7	0	7	72	79	72
10-34	4	16	20	75	79	59
29-35	2	77	79	77	79	0
35-36	9	79	88	79	88	0
33-36	9	7	16	79	88	72
34-36	9	20	29	79	88	59
36-37	10	88	98	88	98	0
37-38	5	98	103	98	103	0
38-39	1	103	104	103	104	0

## 2.2 Расчет затрат на разработку темы

Суммарные затраты на разработку темы или договорная цена на выполнение работы будет рассчитываться по формуле:

$$З\Sigma = \text{ФЗП} + \text{Нот} + \text{Зо} + \text{Зрм} + \text{Зпо} + \text{А} + \text{Усс} + \text{К}, \text{ руб}$$

где ФЗП – заработная плата участников разработки темы.

Нот – отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Зо – затраты, связанные с закупкой необходимого оборудования.

Зрм – затраты, связанные с закупкой расходных материалов.

Зпо – затраты, связанные с закупкой программного обеспечения.

А – арендная плата за помещение.

Усс - услуги сотовой связи.

К – командировки.

Рассмотрим каждую составляющую суммарных затрат в отдельности:

а) Затраты, связанные с закупкой необходимого оборудования.

Таблица 2.2.3 – Стоимость закупаемого оборудования

№	НАИМЕНОВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО	ЦЕНА	СТОИМОСТЬ
1	Персональный компьютер	3	19900 руб	59700 руб
2	Монитор LCD LG Flatron 710N	3	5600 руб	16800 руб
3	Принтер Canon Ip 1500	3	9500 руб	28500 руб

Итого: Зо = 105000 руб.

б) Затраты, связанные с закупкой расходных материалов.

Таблица 2.2.4 – Стоимость закупаемых расходных материалов

№	НАИМЕНОВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО	ЦЕНА	СТОИМОСТЬ
1	Бумага для принтера А4 (500 листов, 80 г/м, белизна 96 %)	2	150 руб	300 руб
2	Ручка шариковая	3	20 руб	60 руб
3	Карандаш чертежный	3	15 руб	45 руб

Итого: Зрм = 405 руб

в) Затраты, связанные с закупкой программного обеспечения.

Таблица 2.2.5 – Стоимость закупаемого программного обеспечения

№	НАИМЕНОВАНИЕ	СТОИМОСТЬ
1	Windows 7 Professional Rus	5370 руб
2	Office 2016	4847 руб
3	MathCad 15	2527 руб

Итого: Зпо = 12744 руб.

г) Фонд заработной платы (ФЗП).

Он включает в себя: основной ФЗП, дополнительный ФЗП, отчисления во внебюджетные фонды.

Число рабочих дней переводим в календарные дни по формуле:

$$t_k^{\circ} = \frac{t_p^{\circ}}{0,66}$$

Таблица 2.2.6 – Результаты перевода

Должность	$t_p^{\circ}$	$t_k^{\circ}$	Значения к. д. в месяцах
СП	57	86,4	2,8
АСС	20	30,3	0,98

Продолжение таблицы 2.2.6

Должность	$t_p^o$	$t_k^o$	Значения к. д. в месяцах
АСП	170	257,6	8,3

Таблица 2.2.7 – Заработная плата

	Оклад, руб	Продолжительность работы, к.д. (месяц)	Заработная плата, руб
СП	20000	2,8	56000
АСС	14000	0,98	13720
АСП	10000	8,3	83000

$\Phi ЗП_{осн} = (56000 + 13720 + 83000) \cdot 1,3 = 198536$  руб;

$\Phi ЗП_{доп} = 12 \% \Phi ЗП_{осн} = 23824$  руб.

Начисления на выплаты по оплате труда:

$Нот = 30 \% (\Phi ЗП_{осн} + \Phi ЗП_{доп}) = 30 \% (198536 + 23824) = 66708$  руб.

Таким образом, расходы на выполнение НИР:

$3\Sigma = 222360 + 66708 + 105000 + 405 + 12744 + 5000 + 1500 + 101000 =$   
 $= 514717$  руб.

Таблица 2.2.8 – Расходов на выполнение проекта

Наименование статей расходов	Статьи расходов по кодам ЭКР	Всего, руб.
Фонд заработной платы основной	211	198536
Фонд заработной платы дополнительной		23824
Фонд заработной платы общий		222360
Начисления на выплаты по оплате труда, 30 %	213	66708



Продолжение таблицы 2.2.8

Наименование статей расходов		Статьи расходов по кодам ЭКР	Всего, руб.
Командировки:	расходы по оплате суточных	212	21000
	транспортные расходы по служебным командировкам	222	30000
	компенсация стоимости жилья	226	50000
Оплата услуг связи		221	1500
Арендная плата за пользование имуществом		224	5000
Прочие услуги: - в том числе оплата НИР сторонних организаций (не более 50 % общего объема договора);		226	-
Увеличение стоимости основных средств		310	105000
Увеличение стоимости материальных запасов		340	10931
Итого прямые расходы:		514717	
Накладные расходы, 16 %		82355	
Цена проекта		597072	

## 4.1 Описание системы контроля параметров ТН на выходе из парогенератора

Структурная схема контроля параметров ТН показана на рисунке 4.1.1.

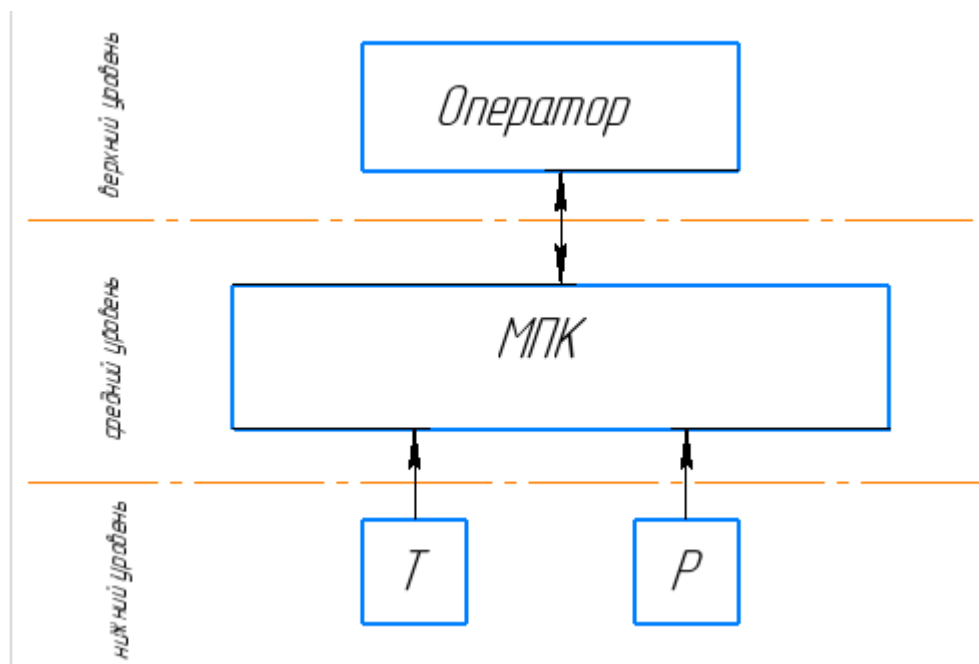


Рисунок 4.1.1 – Структурная схема системы контроля параметров ТН на выходе из ПГ (МПК – микропроцессорный контроллер, Т – датчик измерения температуры, Р – датчик измерения разности давлений)

Сигналы от термоэлектрического преобразователя и преобразователей давления теплоносителя поступают к МПК. Оператор с использованием SCADA-системы выполняет контроль заданных параметров.

## 4.2 Выбор технических средств для реализации системы контроля

### 4.2.1 Преобразователи давления

Преобразователи давления на основе тензорезистивного сенсора используются для измерения избыточного, гидростатического давления, а также разности давлений. Диапазон измеряемых давлений составляет 0...6 МПа, предел допускаемой приведенной погрешности составляет  $\pm 0,04; 0,075; 0,2; 0,25$  %.

Для измерения давления могут быть использованы датчики типа Метран или Сапфир.

Преобразователи Метран-43 для преобразования давления сред: жидкостей, газа (в т.ч. газообразного кислорода и кислородосодержащих газовых смесей при давлении не выше 1,6 МПа) и пара.

Таблица 4.2.1.1 – Основные технические параметры и характеристики преобразователей разности давлений Метран-43

Тип преобразователя	Модель	Ряд верхних пределов измерений по ГОСТ 22520, кПа		Предельно допустимое рабочее избыточное давление, МПа
		АП	МП, МП1	
Преобразователи разности давлений (ДД)				
Метран-43Ф-ДД Метран-43Ф-Ех-ДД Метран-43Ф-Вн-ДД	3494	1; 1,6; 2,5; 4	0,4; 0,63; 1; 1,6; 2,5; 4	4
	3494-01	6,3; 10; 16; 25	2,5; 4; 6,3; 10; 16; 25	6; 10
	3494-02	16; 25; 40; 63; 100	4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100	6; 10; 16
	3494-03	100; 160; 250; 400; 630	25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630	16; 25
Преобразователи гидростатического давления (уровня) – ДГ				
Метран-43-ДГ	3535	10; 16; 25; 40	4; 6; 10; 16; 25; 40	-
Метран-43-Ех-ДГ	3535-01			0,25
Метран-43-ДГ Метран-43-Ех-ДГ Метран-43-Вн-ДГ	3536	60; 100; 160; 250	25; 40; 60; 100; 160; 250	0,25
Метран-43-ДГ Метран-43-Ех-ДГ	3545 3545-01			-
Метран-43-ДГ Метран-43-Ех-ДГ Метран-43-Вн-ДГ	3546	40; 60; 100; 160; 250	25; 40; 60; 100; 160; 250	0,4
Метран-43Ф-ДГ Метран-43Ф-Ех-ДГ Метран-43Ф-Вн-ДГ	3595 3595-01			10; 16; 25; 40
				10

Измерительные преобразователи Сапфир-22 для преобразования измеряемых параметров: избыточного давления и разрежения, разности давлений – в унифицированный токовый выходной сигнал 0...5 мА, 4...20мА.

Датчики разности давлений могут использоваться в устройствах для преобразования значений уровня жидкости, расхода жидкости или газа. Заводом выпускаются две разновидности преобразователей Сапфир-22:

микропроцессорные (Сапфир-22МП) и аналоговые (Сапфир-22МТ) – с различными пределами допускаемой основной приведенной погрешности.

Таблица 4.2.1.2 – Основные технические параметры и характеристики преобразователей разности давлений Сапфир-22

Тип	Модель	Верхний предел измерения		Рабочее давление, МПа	ПДОП ±γд, %	Исполнение
		кПа	МПа			
Сапфир-22МТ-ДД	2410	0,4; 0,63; 1; 1,6		4	0,25;	01; 02
	2420	2,5; 4; 6		4; 10	0,5	
		6,3; 10		4; 10	0,5	01; 02; 09
Сапфир-22МТ-Ех-ДД	2430	6,3; 10		16; 25	0,5	01; 02
		16; 25; 40		16; 25	0,25; 0,5	
	2434	6,3; 10		40	0,5	01; 02
		16; 25; 40			0,25; 0,5	
Сапфир-22МП-ДД	2440	40		16; 25	0,5	
		6,3; 100; 160; 250			0,25; 0,5	
Сапфир-22МП-Ех-ДД	2444	40		40	0,5	
		6,3; 100; 160; 250			0,25; 0,5	
	2450			16; 25	0,25; 0,5	
	2460			25	0,25; 0,5	

Для измерения давления выбран преобразователь давления Сапфир-22МТ-ДД-2420.

#### 4.2.2 Средства измерения температуры

Максимальная температура на выходе из теплообменника 530<sup>0</sup>С. При увеличении температуры произойдет недостаточный отвод тепла от реакторной установки. Это приведет к увеличению температуры в центре топливного сердечника и как следствие увеличению температуры оболочек твэлов. Что в конечном итоге приведет к появлению дефектов в оболочках твэлов, а затем может произойти повреждение оболочек и топлива.

Температуру ТН на выходе из ПГ можно измерить термоэлектрическими преобразователями. Выбираем, ТХК Метран-202\*-01, так как данный измерительный преобразователь имеет подходящий диапазон измерений - 40...+600<sup>0</sup>С, унифицированный выходной сигнал и относительно невысокую стоимость.

### 4.2.3 Микропроцессорный контроллер

Раздел посвящен выбору контроллера для разрабатываемой системы.

Контроллер Descont-182 (относится к классу моноблочных контроллеров) составляет основу аппаратной части ПТК Деконт. В состав комплекса также входят модули ввода/вывода, отладочный пульт оператора, программное обеспечение. Комплекс Деконт обладает повышенной надежностью работы в условиях электромагнитных помех и работает в широком диапазоне температур: 40...70<sup>0</sup>С.

Таблица 4.2.3.1 – Технические характеристики модулей ввода/вывода контроллера Descont-182

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		56

Тип модуля	Характеристика модуля	Входной сигнал	Выходной сигнал
DOUT-R07	8 каналов релейного выхода	–	коммутируемое напряжение: ~250 В, 5 А
DIN64-T05	64 канала дискретного ввода	24 В постоянного тока	–
AIN16-120	16 каналов ввода/вывода (каждый канал в одном из трех вариантов)	вариант 1: аналоговый ввод 0...20, 4...20 мА; вариант 2: дискретный ввод 24 В постоянного тока	вариант 3: дискретный вывод постоянного тока 24 В, 20 мА
AIN8-120	8 каналов аналогового ввода	унифицированный сигнал: 0...5, 4...20 мА, 0...10 В	–
AIN8-U60	8 каналов подключения ТЭП	ТЭДС 0...60 мВ для ТЭП с НСХ ТХА, ТХК по ГОСТ Р50431	–
R3IN6-50	6 каналов для подключения ТПС (трехпроводная схема)	НСХ 50М и 50П (сопротивление 38...105 Ом)	–
R3IN6-100		НСХ 100М и 100П (сопротивление 76...210 Ом)	–
AOUT1-05	1 канал аналогового вывода	–	0...5 мА
AOUT1-20	1 канал аналогового вывода	–	0...20 мА
AOUT4-U10	4 канала аналогового вывода	–	0...10 В

### 4.3 Проектирование функциональной схемы

Температура измеряется с помощью термоэлектрического преобразователя 1а. Сигнал по давлению теплоносителя вырабатывается преобразователем избыточного давления 2а, выходной токовый сигнал поступает на модуль аналогового ввода контроллера. Связь с оператором осуществляется через функцию «Информационную сеть».

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		58