

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

Институт: Энергетический
Специальность: 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг
Кафедра: Атомных и тепловых электростанций

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы				
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА РОСТОВСКОЙ АТОМНОЙ СТАНЦИИ				

УДК 621.311.25:621.039.002.5.004

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5012	Ткаченко Иван Геннадьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор кафедры АТЭС	А.Г. Коротких	д. ф.-м. н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	С.И. Сергейчик	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Ю.А. Амелькович	к.т.н., доцент		

По разделу «Автоматизация технологических процессов и производств»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры автоматизации тепло- энергетических про- цессов	В.С. Андык	к.т.н., доцент		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель ка- федры АТЭС	М.А.Вагнер	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
атомных и тепловых электростанций	А.С. Матвеев	к.т.н., доцент		

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

Код ре-зультата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	Универсальные компетенции	
P1	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>
P2	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>
P3	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>
P4	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>
P5	Осознавать необходимость и демонстрировать способность к самостоятельному обучению в течение	Требования ФГОС (ОК-7 ПК-3), Критерий 5 АИОР (п.

Код ре- зуль- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	<i>всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию, развитию социальных и профессиональных компетенций, использовать полученные знания для обучения и воспитания новых кадров	2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	К достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности и должного уровня безопасности жизнедеятельности, в том числе, защиты персонала и населения от последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий	Требования ФГОС (ОК-8; ОПК-1, ПК-7, 19), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	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>
P8	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>
	Профессиональные компетенции	
P9	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>
P10	Использовать глубокие математические, естественнонаучные знания в профессиональной деятельности с применением математического моделирования объектов и процессов в области проектирования и	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-9 – 11), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованные с требованиями между-

Код ре- зуль- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	эксплуатации АС	народных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	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>
P12	Анализировать и использовать научно-техническую информацию, формулировать цели проекта, ставить и решать инновационные задачи <i>комплексного</i> инженерного анализа в области проектирования и эксплуатации АС	Требования ФГОС (ПК-12; 17, 20), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями 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	Требования ФГОС (ПК-22),

Код ре- зуль- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы в области проектирования АС	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 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	Требования ФГОС (ПК- 28, 10, 11, , ПСК-1.14, 1.15), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P20	Осуществлять и анализировать технологическую деятельность как объект управления, организовывать рабочие места, обеспечивать их техническое	Требования ФГОС (ПСК-1.9), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требо-

Код ре- зуль- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	оснащение, размещать технологическое оборудование, контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживать технологическое оборудование, исследовать причины его неисправностей, принимать меры по их устранению	ваниями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P24	Проводить физические эксперименты на этапах физического и энергетического пуска энергоблока с целью определения нейтронно-физических параметров реакторной установки и АС в целом	Требования ФГОС (ПСК-1.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P25	Применять на практике принципы организации эксплуатации современного оборудования и приборов АС, понимать принципиальные особенности стаци-	Требования ФГОС (ПК-8, ПСК-1.12, 1.13), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласован-

Код ре- зультата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	онарных и переходных режимов реакторных установок и энергоблоков и причины накладываемых ограничений при нормальной эксплуатации, при её нарушениях, при ремонте и перегрузках	ный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Институт: Энергетический
Специальность 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг
Кафедра: Атомных и тепловых электростанций

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой АТЭС ЭНИН
А.С. Матвеев

(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

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

Студенту:

Группа	ФИО
5012	Ткаченко Ивану Геннадьевичу

Тема работы:

Анализ эффективности эксплуатации системы регенерации высокого давления на Ростовской атомной станции	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	11.11.2016 г. №9734

Срок сдачи студентом выполненной работы:	23.01.2017 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <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 проектирования – подогреватель высокого давления регенеративной установки турбины К-1000-60/1500-2. Режим работы – непрерывный. Исходные данные для расчета – параметры рабочего тела, определенные из принципиальной схемы ПТУ. Прототип– подогреватель ПВД-К-3200-11.8-3.2-ПА. Источник тепла – ядерный реактор ВВЭР-1000. Климатические условия – г. Волгоград.
--	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Представить схему включения, описание и принцип работы регенеративной установки, технические характеристики подогревателей высокого давления РоАЭС. 2. Сформулировать цели и задачи проектирования. 3. Провести анализ методов повышения интенсивности теплообмена и сформулировать предложения по повышению эффективности использования регенеративной установки. 4. Провести анализ эффективности использования регенеративной установки на РоАЭС. 5. Провести расчет камерного подогревателя высокого давления. Определить параметры теплоносителей, мощность и площадь поверхности теплообмена, геометрические размеры и технические параметры подогревателя. Представить конструкцию проектируемого ПВД на чертеже. 6. Определить экономические затраты на модернизацию регенеративной установки. 7. Проанализировать рабочие места в турбинном отделении на предмет выявления основных опасностей и вредностей, оценить степень воздействия их на персонал и природную среду. 8. Сформулировать основные выводы работы
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Принципиальная схема РоАЭС, схема включения регенеративной установки, общий вид, продольный и поперечный разрез камерного подогревателя, таблица основных результатов расчета, технических характеристик подогревателя и основные показатели работы.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
1. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Сергейчик С.И., доцент кафедры менеджмента
2. Социальная ответственность	Амелькович Ю.А., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности
3. Автоматизация технологических процессов	Андык В.С., доцент кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	22.06.2016 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры АТЭС	Коротких Александр Геннадьевич	д. ф.-м. н., доцент		22.06.2016

Задание принял к исполнению студентка:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5012	Ткаченко Иван Геннадьевич		22.06.2016

Реферат

Выпускная квалификационная работа 110 с., 9 рис., 22 табл., 34 источников, 1 прил.

Ключевые слова: эффективность, подогреватель высокого давления, камерный подогреватель, теплообмен.

Объектом исследования является система регенерации высокого давления энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000.

Цель работы – проанализировать эффективность работы системы регенерации высокого давления Ростовской АЭС.

В процессе расчетов проведен тепло-гидравлический и конструкторский расчеты подогревателя высокого давления.

В результате расчета определены оптимальные геометрические размеры поверхности теплообмена подогревателя.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: теплоноситель - влажный пар с давлением 2.785 МПа и степенью сухости 0.919, рабочее тело - питательная вода с давлением 8.922 МПа, температурой на входе 200.4°С на выходе 225°С.

Степень внедрения: данный проект может быть использован на АЭС с энергоблоком ВВЭР.

Область применения: система регенерации высокого давления.

Экономическая эффективность/значимость работы на данном этапа не представляется возможность оценить экономическую эффективность

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

					ФЮРА.311362.001 ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

АЭС – атомная электрическая станция

ОД – охладитель дренажа

ОК- охладитель конденсата

ОП- охладитель пара

ПВД-З – подогреватель высокого давления змеевикового типа

ПВД-К – подогреватель высокого давления камерного типа

ПВД-С – подогреватель высокого давления коллекторно-спирального
типа

ПВД-Ш – подогреватель высокого давления коллекторно-ширмового
типа

ПГ- парогенератор

СП – собственно подогрев

Q - тепловой поток, Вт

h - энтальпия, кДж/кг

α - коэффициент теплоотдачи, кВт/м²·К

					ФЮРА. 311362.001 ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	18
1. Система регенерации высокого давления.....	21
1.1. Цели и задачи работы.....	25
1.2. Анализ эффективности эксплуатации ПВД.....	25
2. Расчет подогревателей высокого давления камерного типа.....	35
2.1. Тепловой расчет.....	36
2.2. Расчёт геометрических размеров.....	44
2.3. Вибрационный расчет.....	55
2.4. Гидравлический расчет.....	59
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	62
3.1. Сравнительная оценка теплоэкономических показателей подогревателей ПВД-К с трубами 08Х14МФ и 08Х20Н32М3Б....	62
3.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	62
3.3. Расчёт капитальных вложений (инвестиций) подогревателя ПВД-К с трубами 08Х20Н32М3Б.....	63
3.4. Расчёт капитальных вложений (инвестиций) подогревателя ПВД-К с трубами 08Х14МФ.....	66
3.5. Расчёт годовых эксплуатационных расходов подогревателя ПВД-К с трубами 08Х20Н32М3Б.....	69
3.6. Расчёт годовых эксплуатационных расходов подогревателя ПВД-К с трубами 08Х14МФ.....	73
3.7. Экономическая оценка инвестиций на основе сравнения капиталовложений.....	77
4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	79
4.1. Производственная безопасность.....	81
4.2. Экологическая безопасность.....	94
4.3. Защита в чрезвычайной ситуации.....	95

4.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	98
5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	100
5.1. Обоснование создания автоматической системы регулирования..	100
5.2. Разработка структуры автоматической системы регулирования...	102
5.3. Уровень конденсата.....	102
5.4. Проектирование функциональной схемы АСР.....	104
5.5. Выбор технических средств АСР.....	107
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	108
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	110
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	111

ГРАФИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ:

ФЮРА 311115.002 ТЗ – Тепловая схема турбоустановки К-1000-60/1500-2.

ФЮРА 311115.002 ТЗ – Система регенерации высокого давления

ФЮРА 421000.004 С2 – Функциональная схема системы регулирования уровня в парогенераторе.

ФЮРА 311362.005 ОВ – Подогреватель высокого давления. Чертеж общего вида

					ФЮРА. 311362.001 ПЗ	17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВВЕДЕНИЕ

Ростовская АЭС относится к серии унифицированных проектов АЭС с ВВЭР-1000, удовлетворяющих требованиям поточного строительства. Вся мощность АЭС предназначалась для покрытия потребности объединенной энергосистемы Северного Кавказа. Ростовская АЭС является одним из крупнейших предприятий энергетики на Юге России. Это самая южная из российских АЭС. Станция обеспечивает 40 % производства электроэнергии в Ростовской области. От Ростовской АЭС электроэнергия по пяти ЛЭП-500 поступает в Волгоградскую и Ростовскую области, Краснодарский и Ставропольский края, Крым, по двум ЛЭП-220 – в г. Волгодонск.

Основным видом деятельности Ростовской атомной станции является производство электрической энергии при соблюдении нормативных требований безопасности, надёжности, водоохранного законодательства, норм и правил водопользования.

Площадка Ростовской АЭС расположена на южном берегу Цимлянского водохранилища восточнее г. Волгодонска (13,5 км до перспективной границы города), на землях СПК «Новожуковский» Дубовского района Ростовской области. Город Волгодонск с жилыми микрорайонами связан с АЭС автодорогой с твердым покрытием, примыкающей к сети городских дорог, и железной дорогой, примыкающей к станции «Стройбаза» промышленного железнодорожного узла города.

Районный центр Дубовское расположен на расстоянии 36 км юго-восточнее промплощадки АЭС. Ближайшие крупные населенные пункты находятся на расстоянии: Цимлянск – 21 км, Зимовники – 51 км, Котельниково – 57 км.

Полномасштабное строительство Ростовской атомной станции началось в октябре 1979 г. В 1990 г. строительство АЭС было приостановлено, станция переведена в режим консервации. Готовность энергоблока № 1 составила 95 %, № 2 – 30 %, сооружена фундаментная

					ФЮРА. 311362.001 ПЗ	18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

плита энергоблока № 3, вырыт котлован для энергоблока № 4. В 2000 г. Госатомнадзор России выдал лицензию на продолжение сооружения энергоблока № 1 Ростовской АЭС с реактором ВВЭР-1000, а в 2001 г. – лицензию на эксплуатацию энергоблока. 30 марта 2001 г. осуществлено включение турбогенератора энергоблока № 1 в Единую энергетическую систему России. Работы по достройке энергоблока № 2 с реактором ВВЭР-1000 возобновились в 2002 г. Широкомасштабные работы были развернуты в 2006 г. В 2010 г. энергоблок № 2 был введен в эксплуатацию.

В рамках выполнения отраслевой Программы увеличения выработки электроэнергии на действующих энергоблоках АЭС на 2011–2015 гг. энергоблок № 1 находится на этапе опытно-промышленной эксплуатации на уровне мощности 104 % от проектной.

Физпуск энергоблока №3 состоялся в ноябре 2014 г, энергопуск – в декабре 2014 г. Ведется строительство энергоблока №4.

Таблица 1 - Действующие энергоблоки Ростовской АЭС

Номер энергоблока	Тип реактора	Установленная мощность, МВт	Дата пуска
1	ВВЭР-1000	1000	30.03.2001
2	ВВЭР-1000	1000	16.03.2010
3	ВВЭР-1000	1070	27.12.2014

Безопасность АЭС обеспечивается за счет реализации следующих принципов:

- глубоко эшелонированной системы защитных барьеров, предотвращающих выход радионуклидов в окружающую среду: прочные тугоплавкие топливные таблетки, герметичные оболочки ТВЭЛов, герметичное оборудование и трубопроводы первого контура, система локализации аварии (защитная гермооболочка со спринклерной системой), локализующая внутри себя радиоактивность, выделяющуюся в случае разрушения первых трех ба-

рьеров;

- трехканальное резервирование систем безопасности, когда каждый из каналов одной системы способен обеспечить выполнение функций, возложенных на систему в целом;

- функциональная независимость систем безопасности, основанная на том, что каждый канал по давлению, электропитанию, отводу тепла, контролю, связан с независимыми от других каналов системами;

- территориальная независимость, основанная на том, что оборудование, трубопроводы, кабели электропитания и управления, а также другие элементы систем безопасности нигде не пересекаются, размещены в разных помещениях, удаленных друг от друга на максимально возможное расстояние;

- максимальное использование пассивных систем безопасности, функционирование которых связано только с вызвавшим их работу событием и не требует участия каких-либо активных устройств (энергоисточников, узлов управления и т. п.)

					ФЮРА. 311362.001 ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

1. Система регенерации высокого давления

Система предназначена для регенеративного подогрева питательной воды и включает в себя две группы ПВД (рисунок 1). В каждой группе имеется два последовательно включенных по питательной воде подогревателя ПВД-6,7.

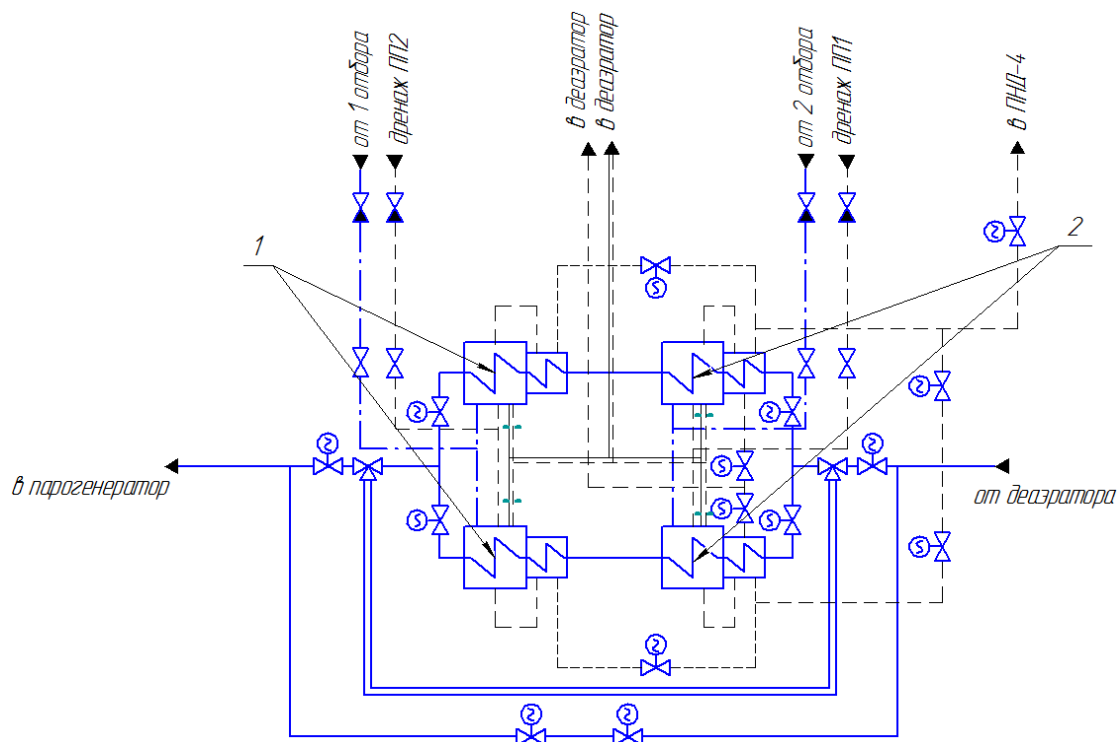


Рисунок 1- Схема включения системы регенерации высокого давления. 1-ПВД-7, 2- ПВД-6

Источником пароснабжения для ПВД-7 служит первый отбор турбины, для ПВД-6 второй отбор. Принят безнасосный слив конденсата греющего пара (КГП) из ПВД-7 каскадно в ПВД-6, а из ПВД-6 в Д-7. В схеме ПВД предусмотрено использование тепла конденсата второй ступени СПП, который вводится в ПВД-7, и первой ступени, который вводится в ПВД-6.

ПВД оснащены быстродействующей защитой от повышения уровня конденсата в корпусах при разрыве трубной системы. Защита включает в себя быстродействующий впускной клапан (ВАК) с сервоприводом на входе в каждую группу и обратный клапан на выходе. Импульс на закрытие впускно-

го клапана подается на сервопривод от двух вентилей с высокооборотным электроприводом на трубопроводе основного конденсата за КЭН второй ступени.

Для исключения влияния защит ПВД на режим ТПН и узла питания парогенераторов на байпасах установлены дроссельные шайбы с расчетным гидравлическим сопротивлением, соответствующим сопротивлению группы ПВД.

Трубная система ПВД защищена от термоопрессовки при пропуске паровой арматуры на отборах пара и отключенной по питательной воде группе. Защита включает два обратных клапана и ремонтный вентиль на трубопроводе байпаса задвижки на выходе питательной воды из группы. Защита отключается закрытием ремонтного вентиля только при открытых дренажах трубной системы ПВД при выводе их в ремонт.

Основные характеристики оборудования системы регенерации высокого давления приведены в таблицах 2,3.

					ФЮРА. 311362.001 ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Таблица 2 – Характеристики ПВД-6 [1]

Характеристики оборудования	
Тип ПВД-К-3200-11,8-3,2-1А	
Поверхность нагрева, м ²	3200
Номинальный расход воды, м ³ /ч	3266
Расчетное давление воды, кгс/см ²	90,2
Рабочее давление пара, кгс/см ²	17,8
Температура пара, °С	206,5
Объем парового пространства, м ³	25
Объем водяного пространства, м ³	17,5
Допустимая скорость изменения температуры питательной воды, °С/ч	55
Давление гидроиспытания, кгс/см ²	
- водяного пространства	133
- парового пространства	28
Гидравлическое сопротивление при номинальном расходе воды, кгс/см ²	2,0
Максимально допустимая температура стенки корпуса, °С	216

Таблица 3 - Характеристики ПВД-7

Характеристики оборудования	
Тип ПВД-К-3200-11,8-3,2-1А	
Поверхность нагрева, м ²	3000
Номинальный расход воды, м ³ /ч	3266
Расчетное давление воды, кгс/см ²	90,2
Рабочее давление пара, кгс/см ²	28
Температура пара, °С	231
Объем парового пространства, м ³	25
Объем водяного пространства, м ³	17,5
Допустимая скорость изменения температуры питательной воды, °С/ч	55
Давление гидроиспытания, кгс/см ² :	
- водяного пространства	133
- парового пространства	40
Гидравлическое сопротивление при номинальном расходе воды, кгс/см ²	2,0
Максимально допустимая температура стенки корпуса, °С	245

1.1. Цели и задачи работы

Цель работы – проанализировать эффективность эксплуатации системы регенерации высокого давления на Ростовской атомной станции.

Задачи:

- Провести анализ методов повышения интенсивности теплообмена и сформулировать предложения по повышению эффективности использования регенеративной установки;
- Провести анализ эффективности использования регенеративной установки на РоАЭС;
- Провести расчет камерного подогревателя высокого давления. Определить параметры теплоносителей, мощность и площадь поверхности теплообмена, геометрические размеры и параметры подогревателя. Представить конструкцию проектируемого подогревателя на чертеже;
- Определить экономические затраты на модернизацию регенеративной установки;
- Проанализировать рабочие места в турбинном отделении на предмет выявления основных опасностей и вредностей, оценить степень воздействия их на персонал и природную среду;
- Сформулировать основные выводы работы.

1.2. Анализ эффективности эксплуатации ПВД

Всё разнообразие ПВД, эксплуатирующийся в мире на тепловых и атомных электростанциях, сводится к трём типам. В России и странах СНГ на АЭС и ТЭС в основном используются подогреватели коллекторно-спирального типа (ПВД-С), в других странах камерного (ПВД-К) и коллекторно-змеевикового (ПВД-З) типа [2].

Проектируемые ОАО «Силовые машины» современные ПТУ, предназначены для применения в составе энергоблоков АЭС с ВВЭР мощностью

1000-1200 МВт, комплектуются подогревателями высокого давления камерного типа вертикального исполнения, поскольку эти ПВД обладают оптимальным сочетанием тепловых и гидравлических характеристик, массогабаритных показателей, высокой надёжностью [3]. Как правило, система регенерации высокого давления проектируется в две нитки, что определяется прежде всего технологией изготовления ПВД определённого типа, расходом и давлением питательной воды, режимами работы энергоблока, технико-экономическими показателями работы системы регенерации при отключении одной или двух ниток ПВД.

1.2.1. Коллекторно-спиральные ПВД

Подогреватели коллекторно-спирального типа представляют собой вертикальный аппарат с теплообменной поверхностью, набранной из свитых в плоские спирали гладких труб, присоединённых сваркой к четырём или шести вертикальным раздающим и собирающим коллекторам. Корпус состоит из верхней съёмной и нижней несъёмной частей, скреплённых шпилькам. Плотность фланцевого соединения корпуса обеспечивается приваркой к фланцам мембран, которые затем свариваются между собой по наружной кромке. Закрепление теплообменных труб в коллекторах осуществляется сваркой [2].

Данная конструкции позволяет довольно легко разместить в аппаратах охладитель конденсата (ОК) и охладитель пара (ОП), но для функционирования ОП необходимо обеспечить подвод пара сверху, что усложняет компоновку паропровода [3].

Анализ длительной эксплуатации подогревателей позволил выявить положительные и отрицательные стороны аппаратов.

Основным узлом, оказывающим первостепенное влияние на надёжность подогревателей, является соединение теплообменных труб с коллекторами. Надёжность соединения труб с коллекторами в ПВД-С конструктивно не обеспечена вследствие некачественного сварного шва (корень шва выпол-

нен с непроваром) и невозможности однозначно объективно оценить качество швов приварки труб к коллекторам [2].

При эксплуатации входные участки теплообменных труб, изготавливаемые из углеродистой стали 20 часто повреждаются из-за коррозионно-эрозионных процессов. Данную проблему удалось решить НПО ЦКТИ совместно с Среднеуральской ГРЭС установкой термосопротивлений на входных участках спиралей [4]. Однако данное решение не нашло широкого применения.

Коллекторно-спиральные ПВД также характеризуются:

- низкими коэффициентами теплопередачи;
- отсутствием организации противоточного движения сред;
- невозможностью обеспечить необходимые недогревы питательной воды.

Достоинствами ПВД-С являются их высокая маневренность и дешевизна. Но из-за низкой надежности и значительных затрат на ремонты в процессе эксплуатации, а также потерь в связи с недовыработкой электроэнергии они проигрывают подогревателям других типов, которые лишены этих недостатков.

Подогреватели коллекторно-спирального типа морально устарели. Установка их на новых блоках АЭС не планируется [2].

1.2.2. Камерные ПВД

На АЭС за рубежом применяются в основном вертикальные подогреватели камерного типа с нижней горизонтальной трубной доской и U-образным вертикальным трубным пучком. В России в настоящее время имеются разработки аналогичных подогревателей. В межтрубном пространстве подогревателей организованы последовательно участки конденсации пара и охлаждения конденсата. Греющий пар подаётся в корпус, распределяется по всей высоте трубного пучка и далее конденсируется на вертикальных трубках, отдавая тепло питательной воде, движущейся внутри труб. Конденсат

сливается на поперечные перегородки, далее на уровень конденсата, с которого через перепускные каналы поступает в охладитель конденсата, расположенный на холодной стороне трубной доски, и охлажденный выходит из подогревателя. Над горячей стороне трубной доски на высоте 500 мм поддерживается уровень конденсата, который слабо участвует в теплообмене из-за температурного напора между средами 2..3 °С [2].

При рассмотрении подогревателей камерного типа следует отметить следующее. За рубежом на АЭС прослеживается унификация ПВД-К с парогенераторами (ПГ). И те и другие выполнены с горизонтальной нижней трубной доской и U-образным трубным пучком [2].

Горизонтальные и вертикальные однопоточные камерные ПВД имеют идентичные конструкции и близкие габаритные размеры. Известно, что при горизонтальном расположении труб теплообмен улучшается на 5-8%, это позволяет уменьшить площадь поверхности теплообмена и соответственно габаритные размеры аппарата или при тех же габаритных размерах снизить недогревы, что повышает экономичность ПВД [3].

Надежность ПВД-К выше, чем ПВД-С. Это достигается благодаря, применению теплообменных труб из нержавеющей стали, хорошо противостоящей коррозионно-эрозионному воздействию, и закреплению труб в трубных досках развальцовкой и сваркой торцов труб с трубной доской. Также ПВД-К имеет низкое гидравлическое сопротивление $\approx 0,1 \text{ МПа}$.

Наряду с достоинствами ПВД-К имеются некоторые недостатки:

- низкие коэффициенты теплопередачи;
- низкая манёвренность;
- отсутствие организации противоточного движения сред;
- невозможность в принципе организовать эффективную зону охлаждения конденсата. Теплообменная поверхность высотой около 500 мм, рас-

положенная над горячей стороной трубной доски, практически исключена из теплообмена;

- большая разность между длинными и короткими трубами, которая вызывает гидравлическую и тепловую неравномерности;
- отсутствие доступа в межтрубное пространство во время ремонтов;
- высокая металлоёмкость;
- невозможность встроить охладитель конденсата в ПВД-К с верхней трубной доской и нижним вертикальным U-образным пучком;
- необходимость устройства специальной предпусковой схемы для предварительного разогрева подогревателя до температуры выше критической температуры хрупкости материала трубной доски (120°C) перед пуском питательных насосов и при проведении гидравлических испытаний;
- коррозионные повреждения труб в местах их закрепления в горизонтальной трубной доске, которые возникают из-за невозможности полного удаления шлама с трубной доски;
- средний срок службы 30 лет.

1.2.3. Коллекторно-ширмовые ПВД

В ОАО ВНИИАМ первые работы по созданию подогревателей высокого давления были начаты в 1988 г. При разработке ПВД был заимствован референтный опыт, накопленный при создании отечественных парогенераторов [5].

В настоящее время специалистами ОАО ВНИИАМ разработаны и предложены для установки на вновь строящихся блоках АЭС с ВВЭР-1000 и ВВЭР-12000 подогреватели коллекторно-ширмового типа (ПВД-Ш) в двухниточном исполнении [2].

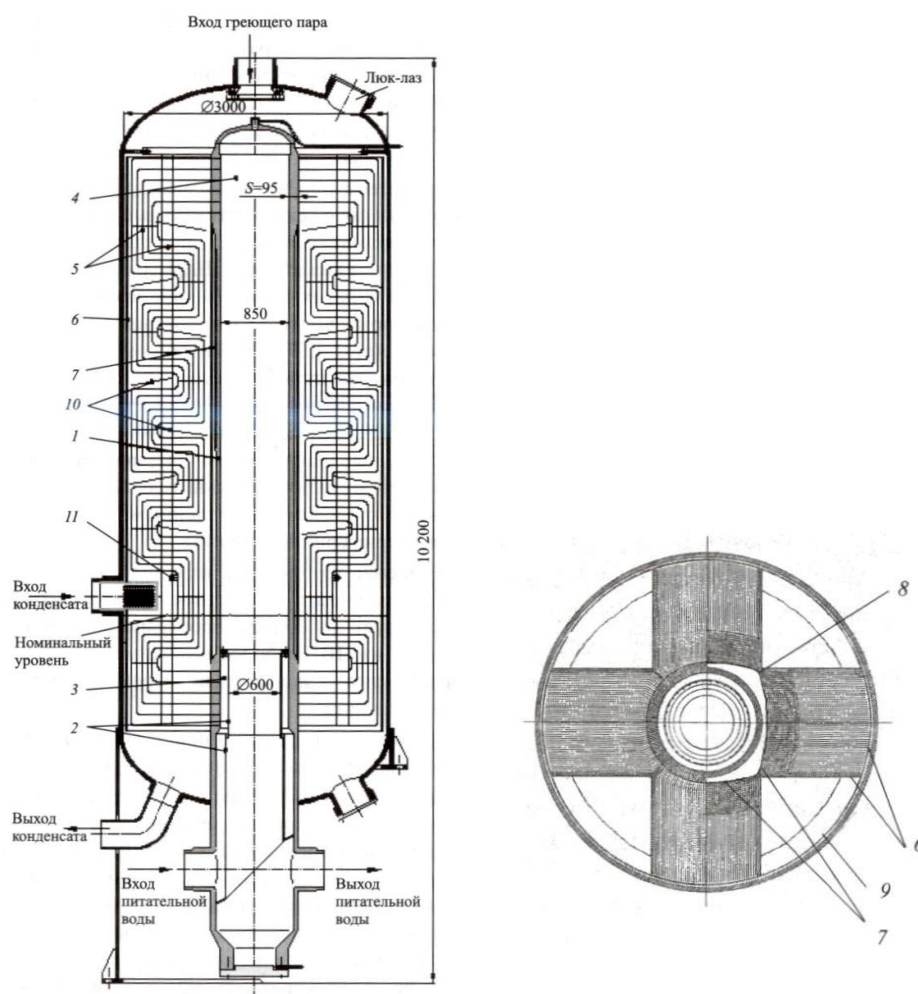


Рисунок 2 - Подогреватель коллекторно-ширмового типа в двухнечном исполнении и поперечный разрез трубного пучка, выполненного в виде «ромашки» [2]

Подогреватель ПВД-Ш (рисунок 2) представляет собой вертикальный аппарат с центральным коллектором 1, закреплённым в нижнем днище. Внутри коллектора расположена цилиндрическая обечайка 2 с кольцевой перегородкой, делящая его на раздающую 3 и собирающую 4 камеры [5].

В кольцевом пространстве между корпусом и коллектором расположены вертикальные трубчатые ширмы 5 из нержавеющей стали, подключенные концами труб к камерам коллектора. Ширмы установлены с образованием четырёх пучков в виде «ромашки», в каждом из которых ширмы расположены в параллельных плоскостях (рисунок 2). Пучки обрамлены периферийным 6 и центральным 7 (со стороны коллектора) кожухами. Для выравнива-

ния расхода между пучками предусмотрены вертикальные уравнивающие каналы 9, образованные коробами, закрепленными в вертикальных участках периферийного кожуха [5].

Построение трубного пучка в виде «ромашки» позволяет организовать скоростное движение греющего пара, образует свободное пространство для подвода конденсата из ПВД с более высокими параметрами и улучшает условия для ревизии и ремонта внутрикорпусных устройств.

На нижнем и верхнем днищах корпуса и нижнем торце коллектора расположены люки-лазы.

В межтрубном пространстве ПВД-III организовано последовательно два участка – конденсации греющего пара и охлаждении конденсата.

Греющий пар поступает через патрубок на верхнем днище корпуса, равномерно распределяется в поперечном сечении трубного пучка. Конденсируясь на трубах, пар со скоростью 2,5...3 м/с опускается сверху вниз. При такой скорости реализуется скоростной эффект при конденсации пара, который значительно повышает коэффициент теплоотдачи. Конденсат поступает в желоба 10, сливается из них на коллектор и корпус и попадает на уровень конденсата. Перемещаясь далее вниз, конденсат охлаждается и выходит из подогревателя. Неконденсирующиеся газы отводятся из подогревателя через горизонтальный коллектор 11, расположенный над уровнем конденсата [5].

Питательная вода попадает в раздающую камеру коллектора, распределяется по трубкам и при движении противотоком нагревается вначале вследствие охлаждения конденсата, а затем благодаря конденсации греющего пара. Нагретая питательная вода поступает в собирающую камеру коллектора, опускается вниз и выходит из подогревателя.

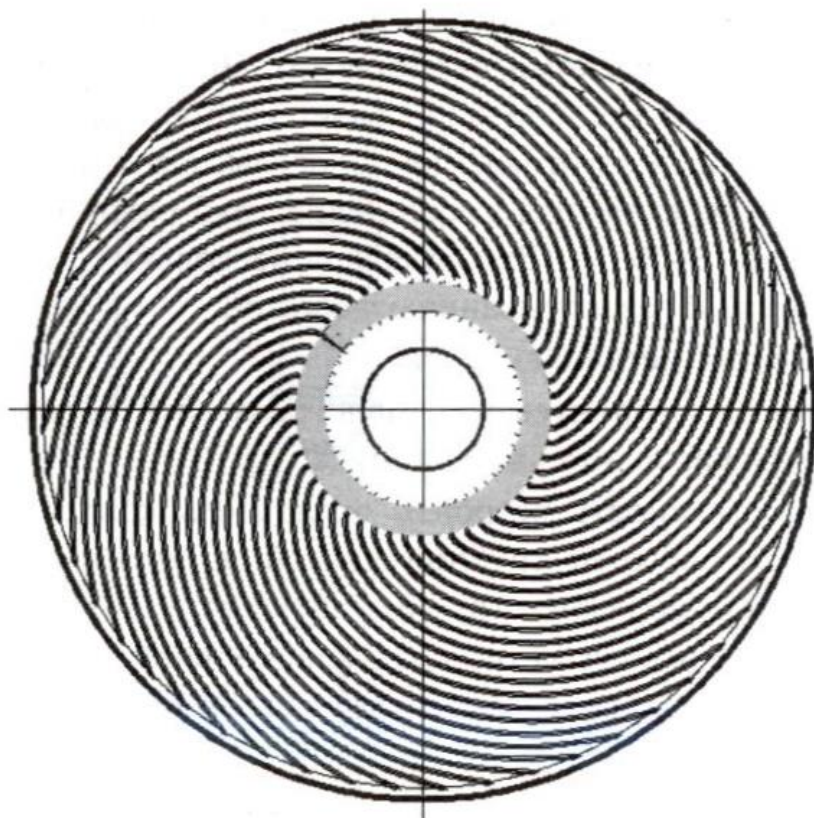


Рисунок 3 - Поперечный срез трубного пучка, выполненного в виде эвольвентных ширм [2]

По аналогичной конструктивной схеме в ОАО ВНИИАМ разработан также односторонний ПВД-Ш для АЭС с ВВЭР-1000 на параметры серийных тихоходных и быстроходных турбоустановок К-1000-60/1500 и К-1000-60/3000. Отличие от вышеописанного ПВД-Ш состоит в том, что трубный пучок выполнен в виде эвольвентных ширм (рисунок 3).

Специалисты ВНИИАМ и НПО ЦНИИТмаш совместно разработали и опробовали технологию изготовления натуральных W-образных плоских и эвольвентных ширм и сборки их с коллектором для различного теплообменного оборудования [2].

Наряду с тем что закрепление труб в трубной доске (коллекторе) развальцовкой и обваркой торцов одинаково надёжно, в ПВД-Ш, так же как и ПВД-К, не требуют проведения капитально ремонта за весь срок службы,

разработанные ПВД-Ш имеют дополнительные преимущества, в том числе (сравнение приведено для ПВД в двухниточном исполнении) [2]:

- отсутствуют условия для подшламовой коррозии и, соответственно, повреждения труб в местах закрепления в коллекторе, так как на вертикальном коллекторе нет отложения шлама;
- меньше остаточные технологические при заделки труб в камерах коллектора и термические напряжения в переходных режимах работы из-за меньшей толщины коллектора, изготовленной из стали 10ГН2МФА, по сравнению с трубной доской (95 и 450 мм);
- количество мест заделки труб в коллекторе меньше на 25%;
- организовано противоточное движение рабочих сред;
- создан эффективный участок охлаждения конденсата;
- более высокие коэффициенты теплоотдачи при конденсации греющего пара благодаря компоновке трубного пучка, организации скоростного движения пара и отвода от теплообменной поверхности конденсата желобами, равномерно расположенными по высоте трубного пучка;
- более высокие коэффициенты теплоотдачи к питательной воде вследствие обеспечения более высоких скоростей;
- более высокая ремонтпригодность, которая обеспечивается возможностью доступа в трубное и межтрубное пространства;
- высокая манёвренность, допускающая более высокие скорости прогрева и охлаждения металла;
- не требуется создание специальной предпусковой схемы для предварительного разогрева подогревателя перед пуском питательных насосов и при гидроиспытании.

					ФЮРА. 311362.001 ПЗ	33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.2.4. Перспективные материалы для подогревателей высокого давления.

ПВД-К с материалом труб из стали аустенитной 08X18H10T имеют проектный срок эксплуатации 30 лет, что меньше времени эксплуатации блока. Причина заключается в коррозионных повреждениях труб в местах их закрепления в горизонтальной трубной доске, которые возникают из-за невозможности полного удаления шлама с трубной доски. Также проблема кроется в коррозионном растрескивании труб из аустенитной стали 08X18H10T [2].

Возможное решение данной проблемы это использование высоконикелевых сплавов отечественных аналогов сплава 800.

Сплав 800 позволяет добиться более высокой коррозионной стойкости трубчатки подогревателя к питтингообразованию и коррозионному растрескиванию труб. Зарубежный опыт показывает срок службы трубной системы из высоконикелевого сплава 40-60 лет, что позволяет исключить замену ПВД за весь срок эксплуатации блока. Вместе с тем данный сплав заметно дороже, чем нержавеющая сталь. Сплав имеет более низкую теплопроводность в сравнении с нержавеющей сталью, что компенсируется более высокими механическими свойствами для уменьшения толщины стенки. Тем самым можно обеспечить меньшие массогабаритные характеристики подогревателя по сравнению с 08X18H10T [6].

Ближайший аналог сплава 800 является сплав 08X20H32M3Б (ЧС-33), который имеет положительный опыт эксплуатации в отечественной энергетике [6].

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

3.1. Сравнительная оценка теплоэкономических показателей подогревателей ПВД-К с трубами 08X14МФ и 08X20H32МЗБ

Целью данного раздела является определение конкурентоспособности и рентабельности подогревателей высокого давления ПВД-К с трубками 08X14МФ и 08X20H32МЗБ. Проведение сравнительного анализа экономических показателей исходного и заменяемого подогревателей согласно [20].

3.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки с имеющимися аналогами и определить направления для ее будущего совершенствования. Целесообразнее проводить данный анализ с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 11.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (3.2.1)$$

где K – конкурентоспособность инженерного решения или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		$B_{к1}$	$B_{к2}$	$K_{к1}$	$K_{к2}$
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1.Номинальный расход питательной воды	0.2	5	5	1	1
2. Удобство эксплуатации	0.1	5	5	0.5	0.5
3. Надежность	0.1	4	5	0.4	0.5
4. Уровень шума	0.01	3	3	0.03	0.03
5. Безопасность	0.1	5	5	0.5	0.5
6. Ремонтопригодность	0.05	4	5	0.25	0.25
7. Простота конструкции	0.05	5	5	0.25	0.25
8. Автоматизация процессов	0.05	5	5	0.25	0.25
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности					
10. Себестоимость ПВД	0.1	5	4	0.5	0.4
11. Срок эксплуатации	0.04	4	5	0.16	0.2
12. Обслуживание	0.1	5	5	0.5	0.5
Итого	1			4.34	4.38
$B_{к1}$ – баллы ПВД-К с трубками 08Х14МФ					
$B_{к2}$ – баллы ПВД-К с трубками 08Х20Н32МЗБ					

3.3. Расчёт капитальных вложений (инвестиций) подогревателя ПВД-К с трубками 08X20H32МЗБ.

Расчёт полной себестоимости подогревателя:

$$C_{пол} = D \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 \cdot k_8 \cdot 2000 \cdot k_{пер} \quad (3.3.1)$$

$$C_{пол} = 3106 \cdot 0.47 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.15 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2000 \cdot 55 = 184667230 \text{ руб.},$$

где $D = 3106 \text{ м}^3 / \text{ч}$ – номинальный расход питательной воды проектируемого ПВД;

k_i – коэффициенты, учитывающие технические характеристики подогревателя при определении его себестоимости:

$k_1 = 0.47$ – номинальный расход питательной воды проектируемого ПВД;

$k_2 = 1$ – параметры пара;

$k_3 = 1$ – параметры п.в;

$k_4 = 1.15$ – способ поставки;

$k_5 = 1$ – вид топлива;

$k_6 = 1$ – компоновка ПВД;

$k_7 = 1$ – число корпусов;

$k_8 = 1$ – тип ПВД;

$k_{пер} = 55$ – коэффициент пересчета на современные цены.

Удельная себестоимость ПВД выбранного за основу расчета (руб./т/ч).

Капитальные вложения:

$$K = C_{пол} + C_{пол} \cdot \frac{P_n}{100} + K_{тр} + K_{ном} + K_{стр}, \quad (3.3.2)$$

где $C_{пол}$ – полная себестоимость ПВД;

P_n – средняя рентабельность по подогревателестроению, составляет 20 % от полной себестоимости подогревателя;

$K_{тр}$ – транспортно-заготовительные расходы, составляют 2% от полной себестоимости подогревателя;

$K_{ном}$ – сопутствующие затраты у потребителя;

$K_{стр}$ – затраты на строительную часть у потребителя.

Транспортно-заготовительные расходы:

$$K_{тр} = 0.2 \cdot C_{пол} = 0.2 \cdot 184667230 = 36933446 \text{ руб.} \quad (3.3.3)$$

Расчет сопутствующих затрат у потребителя:

$$K_{ном} = K_m + K_{из} = 14773378 + 20313395 = 35086774 \text{ руб.} \quad (3.3.4)$$

где $K_m = 0.08 \cdot C_{пол} = 0.08 \cdot 184667230 = 14773378 \text{ руб}$ –затраты на монтаж подогревателя, выбираются в диапазоне $8 \div 10\%$;

$K_{из} = 0.11 \cdot C_{пол} = 0.11 \cdot 184667230 = 36933446 \text{ руб}$ – затраты на съемную блочную теплоизоляцию подогревателя, обмуровку определяются косвенно от цены в диапазоне $10 \div 12\%$.

Затраты на строительную часть у потребителя:

$$K_{стр} = K_{зд} + K_{ф}, \quad (3.3.5)$$

где $K_{зд}$ – стоимость здания, приходящаяся на ПВД(турбинный цех);

$K_{ф}$ – стоимость фундамента.

Расчет стоимости здания, приходящегося на ПВД:

$$K_{зд} = S_m \cdot k_{дон} \cdot Ц_{зд} \cdot h_{зд} = 30.6 \cdot 2 \cdot 1200 \cdot 12.22 = 897437 \text{ руб.}, \quad (3.3.6)$$

где $S_m = 2.4 \cdot 12.75 = 30.6 \text{ м}^2$ – площадь, занимаемая подогревателем;

$k_{дон} = 2$ – коэффициент, учитывающий дополнительную площадь;

$h_{зд} = 12.22$ – высота цеха (верхняя отметка ПВД+5÷7м);

$Ц_{зд} = 1200 \text{ руб.}$ – цена за квадратный метр.

Расчет стоимости фундамента:

$$K_{ф} = D \cdot k_{ф} = 3106 \cdot 0.99 \cdot 10^4 = 30749400 \text{ руб} \quad (3.3.7)$$

где $k_{ф}$ – коэффициент, учитывающий влияние номинального расхода питательной воды на стоимость фундамента, определяется как $\text{КПД} \cdot 10^4$.

Расчет затрат на строительную часть у потребителя:

$$K_{стр} = 30749400 + 897436.8 = 31646837 \text{ руб.}$$

Расчёт капитальных вложений:

$$K = 184667230 + 184667230 \cdot \frac{20}{100} + 36933446 + \\ + 35086774 + 31646837 = 325267733 \text{ руб.}$$

3.4. Расчёт капитальных вложений (инвестиций) подогревателя ПВД-К с трубками 08X14МФ

Расчёт полной себестоимости подогревателя:

$$C_{пол} = D \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 \cdot k_8 \cdot 2000 \cdot k_{пер} \quad (3.4.1)$$

$$C_{пол} = 3106 \cdot 0.47 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.15 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2000 \cdot 55 = 188596320 \text{ руб.,}$$

где $D = 3106 \text{ м}^3 / \text{ч}$ – номинальный расход питательной воды проектируемого ПВД;

k_i – коэффициенты, учитывающие технические характеристики подогревателя при определении его себестоимости:

$k_1 = 0.48$ – номинальный расход питательной воды проектируемого ПВД;

$k_2 = 1$ – параметры пара;

$k_3 = 1$ – параметры п.в;

$k_4 = 1.15$ – способ поставки;

$k_5 = 1$ – вид топлива;

$k_6 = 1$ – компоновка ПВД;

$k_7 = 1$ – число корпусов;

$k_8 = 1$ – тип ПВД;

$k_{пер} = 55$ – коэффициент пересчета на современные цены.

Удельная себестоимость ПВД выбранного за основу расчета (руб./т/ч).

Капитальные вложения:

$$K = C_{пол} + C_{пол} \cdot \frac{P_n}{100} + K_{тр} + K_{ном} + K_{стр}, \quad (3.4.2)$$

где $C_{пол}$ – полная себестоимость ПВД;

P_n – средняя рентабельность по подогревателестроению, составляет 20 % от полной себестоимости подогревателя;

$K_{тр}$ – транспортно-заготовительные расходы, составляют 2% от полной себестоимости подогревателя;

$K_{ном}$ – сопутствующие затраты у потребителя;

$K_{стр}$ – затраты на строительную часть у потребителя.

Транспортно-заготовительные расходы:

$$K_{тр} = 0.2 \cdot C_{пол} = 0.2 \cdot 188596320 = 37719264 \text{ руб.} \quad (3.4.3)$$

Расчет сопутствующих затрат у потребителя:

$$K_{ном} = K_m + K_{из} = 15087706 + 20745595 = 35833301 \text{ руб.} \quad (3.4.4)$$

где $K_m = 0.08 \cdot C_{пол} = 0.08 \cdot 184667230 = 14773378 \text{ руб}$ –затраты на монтаж подогревателя, выбираются в диапазоне 8÷10%;

$K_{из} = 0.11 \cdot C_{пол} = 0.11 \cdot 184667230 = 36933446 \text{ руб}$ – затраты на съемную блочную теплоизоляцию подогревателя, обмуровку определяются косвенно от цены в диапазоне 10÷12%.

Затраты на строительную часть у потребителя:

$$K_{стр} = K_{зд} + K_{ф}, \quad (3.4.5)$$

где $K_{зд}$ – стоимость здания, приходящаяся на ПВД(турбинный цех);

$K_{ф}$ – стоимость фундамента.

Расчет стоимости здания, приходящегося на ПВД:

$$K_{зд} = S_m \cdot k_{дон} \cdot C_{зд} \cdot h_{зд} = 39 \cdot 2 \cdot 1200 \cdot 13.22 = 1237392 \text{ руб.}, \quad (3.4.6)$$

где $S_m = 3 \cdot 13 = 39 \text{ м}^2$ – площадь, занимаемая подогревателем;

$k_{дон} = 2$ – коэффициент, учитывающий дополнительную площадь;

$h_{зд} = 13.22$ – высота цеха (верхняя отметка ПВД+5÷7м);

$C_{зд} = 1200$ – цена за квадратный метр, рублей.

Расчет стоимости фундамента:

$$K_{\phi} = D \cdot k_{\phi} = 3106 \cdot 0.99 \cdot 10^4 = 30749400 \text{ руб.}, \quad (3.4.7)$$

где k_{ϕ} – коэффициент, учитывающий влияние номинального расхода питательной воды на стоимость фундамента, определяется как $KПД \cdot 10^4$.

Расчет затрат на строительную часть у потребителя:

$$K_{стр} = 1237392 + 30749400 = 31986792 \text{ руб.}$$

Расчёт капитальных вложений:

$$K = 188596320 + 188596320 \cdot \frac{20}{100} + 37719264 + \\ + 35833301 + 31986792 = 331854941 \text{ руб.}$$

Результаты расчётов капиталовложений по подогревателям представлены в таблице 12.

					ФЮРА. 311362.001 ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

Таблица 5 – Сводная таблица капитальных вложений (инвестиций)

	ПВД-К 08Х20Н32М3Б		ПВД-К 08Х14МФ	
Состав инвести- ций	Значение, руб.	%	Значение, руб.	%
Себестоимость подогревателя	184667230	56.77	188596320	56.83
Затраты на монтаж	14773378	4.54	15087706	4.55
Затраты на тепло- изоляцию	20313395	6.25	20745595	6.25
Стоимость строи- тельства	31646837	9.73	31986792	9.64
Транспортно- заготов. расходы	36933446	11.35	37719264	11.37
Наценка на ПВД	35086774	10.79	35833301	10.80
Общие инвестиции	325267733	100.00	331854941	100.0

3.5. Расчёт годовых эксплуатационных расходов подогревателя ПВД-К с трубками 08Х20Н32М3Б.

Годовые эксплуатационные расход питательной воды:

$$I_{год} = I_a + I_{т.р} + I_в + I_э + I_{зн} + I_{пр} + I_{соц}, \quad (3.5.1)$$

где I_a – амортизационные расходы;

$I_{т.р}$ – затраты на текущий ремонт;

$I_в$ – затраты на воду;

$I_э$ – затраты на электроэнергию (на собственные нужды);

$I_{\text{зн}}$ – заработная плата обслуживающего ПВД персонала;

$I_{\text{соц}}$ – отчисления на социальные цели;

$I_{\text{пр}}$ – прочие расходы.

Амортизационные отчисления:

$$I_a = P_n \cdot K = 0.116 \cdot 325267733 = 37731057 \text{ руб.}, \quad (3.5.2)$$

где $P_n = 0.116$ – норма амортизационных отчислений на капитальный ремонт и на реновацию;

K – капитальные вложения.

Затраты на текущий ремонт:

$$I_{\text{т.р}} = 0.2 \cdot I_a = 0.2 \cdot 37731057 = 7546211.4 \text{ руб.} \quad (3.5.3)$$

Затраты на воду:

$$I_{\text{в}} = 0.1 \cdot D_{\text{пв}} \cdot h_{\text{год}} \cdot \Pi_{\text{в}} = 0.1 \cdot 3106 \cdot 6500 \cdot 45 = 90850500 \text{ руб.}, \quad (3.5.4)$$

где $D_{\text{пв}} = 3106 \text{ м}^3 / \text{ч}$ – расход питательной воды;

$\Pi_{\text{в}} = 45 \text{ руб} / \text{м}^3$ – стоимость воды с учетом химводоочистки;

$h_{\text{год}} = 6500$ – количество рабочих часов в году.

Затраты на электроэнергию:

$$I_{\text{э}} = N_{\text{уст}} \cdot h_{\text{год}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{п}} \cdot \Pi_{\text{э}} + N_{\text{уст}} \cdot \Pi_{\text{кв}} \quad (3.5.5)$$

$$I_{\text{э}} = 300 \cdot 6500 \cdot 0.9 \cdot 0.9 \cdot 1.82 + 300 \cdot 260 = 2.952.690 \text{ руб.},$$

где $N_{\text{уст}} = 300 \text{ МВт}$ – установленная мощность токоприемников ПВД;

$\Pi_{\text{э}} = 1.82 \text{ руб} / \text{кВт.ч}$ – тариф на потребленную электроэнергию;

$k_{\text{в}}, k_{\text{п}} = 0.9$ – коэффициенты времени и потерь электроэнергии;

$\Pi_{\text{кв}} = 260 \text{ руб} / \text{год}$ – стоимость кВт на заявленную мощность.

Заработная плата обслуживающего персонала и руководящего состава.

Информация о количестве персонала и их заработной плате приведена в таблице 13.

					ФЮРА. 311362.001 ПЗ	70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 6 - Заработная плата персонала

Наименование должностей	Норма обслуживающего в смену ПВД/чел	Месячный оклад, руб/чел/мес	Месячный оклад на ПВД
Старший машинист	3	17000	51000
Машинист 4 разряда	2	16300	32600
Машинист 3 разряда	1	16000	16000
Машинист насосных установок	3	15700	47100
Машинист обходчик	3	15500	46500
Слесарь по ремонту оборудования	2	14200	28400
Дежурный слесарь	6	13800	82800
Дежурный электрик	6	13800	82800
Электросварщик	6	14000	84000
Газо-электросварщик	6	14100	84600
Газорезчик	6	14100	84600
Крановщик	6	13500	81000
Токарь	6	13800	82800
Кладовщик	3	12500	37500
Уборщица	3	7000	21000
Итого		211300	862700
Нач. цеха	1	19000	19000
Зам. нач. цеха	1	18200	18200
Нач. смены	3	17800	53400
Ст. мастер	1	16000	16000
Мастер	3	12000	36000
Итого		83000	142600
Всего		294300	1005300

Расходы на содержание обслуживающего персонала складываются из: заработной платы эксплуатационного, ремонтного и управленческого персонала, отнесенная на один подогреватель. Прямая заработная плата определится из штатного расписания и должностных окладов.

Расчет основной заработной платы обслуживающего персонала:

$$ЗП_{осн}^{он} = ЗП_{пр}^{он} \cdot (K_{доп} + K_{прем} + K_{рк}) \quad (3.5.6)$$

$$ЗП_{осн}^{он} = 862700 \cdot (1.2 + 0.43 + 0.3) = 1665011 \text{ руб.},$$

где $ЗП_{пр}^{он} = 862700 \text{ руб.}$;

$K_{доп} = 1.2$ – коэффициент, учитывающий доплаты до часового фонда времени;

$K_{прем} = 0.43$ – коэффициент, учитывающий премии;

$K_{рк} = 0.3$ – районный коэффициент.

Расчет дополнительной заработной платы обслуживающего персонала:

$$ЗП_{доп}^{он} = 0.08 \cdot ЗП_{пр}^{он} = 0.08 \cdot 862700 = 69016 \text{ руб.} \quad (3.5.7)$$

Расчет общей заработной платы обслуживающего персонала:

$$ЗП_{общ}^{он} = ЗП_{осн}^{он} + ЗП_{доп}^{он} = 1665011 + 69016 = 1734027 \text{ руб.} \quad (3.5.8)$$

Расчет основной заработной платы руководящего персонала:

$$ЗП_{осн}^{рук} = ЗП_{пр}^{рук} \cdot (K_{прем} + K_{рк}) = 142600 \cdot (0.43 + 0.3) = 104098 \text{ руб.} \quad (3.5.9)$$

где $ЗП_{пр}^{рук} = 142.600 \text{ руб.}$;

$K_{прем} = 0.43$ – коэффициент, учитывающий премии;

$K_{рк} = 0.3$ – районный коэффициент.

Расчет дополнительной заработной платы руководящего персонала:

$$ЗП_{доп}^{рук} = 0.08 \cdot ЗП_{пр}^{рук} = 0.08 \cdot 142600 = 11408 \text{ руб.} \quad (3.5.10)$$

Расчет общей заработной платы руководящего персонала:

$$ЗП_{общ}^{рук} = ЗП_{осн}^{рук} + ЗП_{доп}^{рук} = 104098 + 11408 = 115506 \text{ руб.} \quad (3.5.11)$$

Расчет общей заработной платы:

$$ЗП_{общ} = ЗП_{общ}^{он} + ЗП_{общ}^{рук} = 1734027 + 115506 = 1849533 \text{ руб.} \quad (3.5.12)$$

Отчисления на социальные цели:

$$I_{соц} = 0.3 \cdot 3П_{общ} = 0.3 \cdot 1849533 = 554859.9 \text{ руб.} \quad (3.5.13)$$

Прочие расходы:

$$I_{пр} = (I_a + I_{т.р} + I_г + I_э + I_{зн} + I_{соц}) \cdot 0.12, \quad (3.5.14)$$

$$I_{пр} = (37731057 + 7546211.4 + 90850500 + 2952690 + 1849533 + 554859.9) \cdot 0.12 = 16978182 \text{ руб.}$$

Расчёт годовых эксплуатационных расходов:

$$I_{год} = 37731057 + 7546211.4 + 90850500 + 2952690 + 1849533 + 554859.9 + 16978182 = 158463033 \text{ руб.}$$

3.6. Расчёт годовых эксплуатационных расходов подогревателя ПВД-К с трубками 08X14МФ

Годовые эксплуатационные расход питательной воды:

$$I_{год} = I_a + I_{т.р} + I_г + I_э + I_{зн} + I_{пр} + I_{соц}, \quad (3.6.1)$$

Амортизационные отчисления:

$$I_a = P_n \cdot K = 0.116 \cdot 331854941 = 38495173 \text{ руб.}, \quad (3.6.2)$$

Затраты на текущий ремонт:

$$I_{т.р} = 0.2 \cdot I_a = 0.2 \cdot 38495173 = 7699034.6 \text{ руб.} \quad (3.6.3)$$

Затраты на воду:

$$I_г = 0.1 \cdot D_{пв} \cdot h_{год} \cdot Ц_г = 0.1 \cdot 3106 \cdot 6500 \cdot 45 = 90850500 \text{ руб.}, \quad (3.6.4)$$

где $D_{пв} = 3106 \text{ м}^3 / \text{ч}$ – расход питательной воды;

$Ц_г = 45 \text{ руб} / \text{м}^3$ – стоимость воды с учетом химводоочистки;

$h_{год} = 6500$ – количество рабочих часов в году.

Затраты на электроэнергию:

$$I_э = N_{уст} \cdot h_{год} \cdot k_г \cdot k_n \cdot Ц_э + N_{уст} \cdot Ц_{кв} \quad (3.6.5)$$

$$I_э = 300 \cdot 6500 \cdot 0.9 \cdot 0.9 \cdot 1.82 + 300 \cdot 260 = 3198747.5 \text{ руб.},$$

где $N_{уст} = 325 \text{ МВт}$ – установленная мощность токоприемников ПВД;

$C_{\text{э}} = 1.82 \text{ руб} / \text{кВт.ч}$ – тариф на потребленную электроэнергию;

$k_{\text{с}}, k_{\text{п}} = 0.9$ – коэффициенты времени и потерь электроэнергии;

$C_{\text{кв}} = 260 \text{ руб} / \text{год}$ – стоимость кВт на заявленную мощность.

Расчет основной заработной платы обслуживающего персонала:

$$ЗП_{\text{осн}}^{\text{он}} = ЗП_{\text{пр}}^{\text{он}} \cdot (K_{\text{доп}} + K_{\text{прем}} + K_{\text{рк}}) \quad (3.6.6)$$

$$ЗП_{\text{осн}}^{\text{он}} = 862700 \cdot (1.2 + 0.43 + 0.3) = 1665011 \text{ руб},$$

где $ЗП_{\text{пр}}^{\text{он}} = 862700 \text{ руб}$;

$K_{\text{доп}} = 1.2$ – коэффициент, учитывающий доплаты до часового фонда времени;

$K_{\text{прем}} = 0.43$ – коэффициент, учитывающий премии;

$K_{\text{рк}} = 0.3$ – районный коэффициент.

Расчет дополнительной заработной платы обслуживающего персонала:

$$ЗП_{\text{доп}}^{\text{он}} = 0.08 \cdot ЗП_{\text{пр}}^{\text{он}} = 0.08 \cdot 862700 = 69016 \text{ руб}. \quad (3.6.7)$$

Расчет общей заработной платы обслуживающего персонала:

$$ЗП_{\text{общ}}^{\text{он}} = ЗП_{\text{осн}}^{\text{он}} + ЗП_{\text{доп}}^{\text{он}} = 1665011 + 69016 = 1734027 \text{ руб}. \quad (3.6.8)$$

Расчет основной заработной платы руководящего персонала:

$$ЗП_{\text{осн}}^{\text{рук}} = ЗП_{\text{пр}}^{\text{рук}} \cdot (K_{\text{прем}} + K_{\text{рк}}) = 142600 \cdot (0.43 + 0.3) = 104098 \text{ руб}, \quad (3.6.9)$$

где $ЗП_{\text{пр}}^{\text{рук}} = 142.600 \text{ руб}$;

$K_{\text{прем}} = 0.43$ – коэффициент, учитывающий премии;

$K_{\text{рк}} = 0.3$ – районный коэффициент.

Расчет дополнительной заработной платы руководящего персонала:

$$ЗП_{\text{доп}}^{\text{рук}} = 0.08 \cdot ЗП_{\text{пр}}^{\text{рук}} = 0.08 \cdot 142600 = 11408 \text{ руб}. \quad (3.6.10)$$

Расчет общей заработной платы руководящего персонала:

$$ЗП_{\text{общ}}^{\text{рук}} = ЗП_{\text{осн}}^{\text{рук}} + ЗП_{\text{доп}}^{\text{рук}} = 104098 + 11408 = 115506 \text{ руб}. \quad (3.6.11)$$

Расчет общей заработной платы:

$$ЗП_{общ} = ЗП_{общ}^{оп} + ЗП_{общ}^{рук} = 1734027 + 115506 = 1849533 \text{ руб.} \quad (3.6.12)$$

Отчисления на социальные цели:

$$И_{соц} = 0.3 \cdot ЗП_{общ} = 0.3 \cdot 1849533 = 554859.9 \text{ руб.} \quad (3.6.13)$$

Прочие расходы:

$$И_{пр} = (И_a + И_{м.р} + И_в + И_э + И_{зн} + И_{соц}) \cdot 0.12, \quad (3.6.14)$$

$$И_{пр} = (37731057 + 7546211.4 + 90850500 + 2952690 + 1849533 + 554859.9) \cdot 0.12 = 16978182 \text{ руб.}$$

Расчёт годовых эксплуатационных расходов:

$$И_{год} = 37731057 + 7546211.4 + 90850500 + 2952690 + 1849533 + 554859.9 + 16978182 = 158463033 \text{ руб.}$$

Прочие расходы:

$$И_{пр} = (И_a + И_{м.р} + И_в + И_э + И_{зн} + И_{соц}) \cdot 0.12, \quad (3.6.15)$$

$$И_{пр} = (38495173 + 7699034.6 + 90850500 + 3198747.5 + 1849533 + 554859.9) \cdot 0.12 = 17117742 \text{ руб.}$$

Расчёт годовых эксплуатационных расходов:

$$И_{год} = 38495173 + 7699034.6 + 90850500 + 3198747.5 + 1849533 + 554859.9 \cdot 0.12 = 17117742 \text{ руб.}$$

Результаты расчётов эксплуатационных расходов по подогревателям представлены в таблице 14.

					ФЮРА. 311362.001 ПЗ	75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 7 – Эксплуатационные расходы

	ПВД-К 08Х20Н32М3Б		ПВД-К 08Х14МФ	
Наименование затрат	Значение, руб./год	%	Значение, руб./год	%
Амортизационные отчисления	37731057	23.8	38495173	24.1
Затраты на текущий ремонт	7546211.4	4.76	7699034.6	4.82
Затраты на воду	90850500	57.3	90850500	56.9
Затраты на электроэнергию	2952690	1.9	3198747,5	2.0
Заработная плата	1849533	1.2	1734027	1.1
Отчисления на соц. цели	554859.9	0.4	554859.9	0.3
Прочие расходы	16978182	10.7	17117742	10.7
Итого	158463033	100	159765590	100

3.7. Экономическая оценка инвестиций на основе метода приведенных затрат

Вначале используем метод приведенных затрат, чтобы провести анализ инвестиций, тем самым можно сделать оценку будущих денежных поступлений, согласно [20].

$$З = И + К \cdot r, \quad (3.7.1)$$

где $И$ – годовые эксплуатационные издержки;

$К$ – капиталовложения (инвестиции) в проект;

$r = 0.15$ – ставки дисконтирования.

Для ПВД-К с трубками 08Х20Н32М3Б приведенные затраты в год:

$$З = 158463033 + 325267733 \cdot 0.15 = 207253193 \text{ руб / год}, \quad (3.7.2)$$

Для ПВД-К с трубками 08Х14МФ приведенные затраты в год:

$$З = 159765590 + 331854941 \cdot 0.15 = 209543831 \text{ руб / год}, \quad (3.7.3)$$

Теперь можно сказать, что затраты на подогреватель типа ПВД-К с трубками 08X14МФ больше, чем затраты на подогреватель типа ПВД-К: с трубками 08X20H32МЗБ:

$$З_{ПВД-КС} > З_{ПВД-К},$$

Другими словами можем сказать, что новый вариант подогревателя более эффективен, чем старый. В этом случае имеет место быть экономический эффект, который можно рассчитать по формуле:

$$\mathcal{E} = З_{ПВД-К2} - З_{ПВД-К1} = 209543831 - 207253193 = 2290638 \text{ руб / год} \quad (3.7.4)$$

Построим график зависимости экономического эффекта от ставки дисконтирования r , варьируя данной величиной от 0.07 до 0.2:

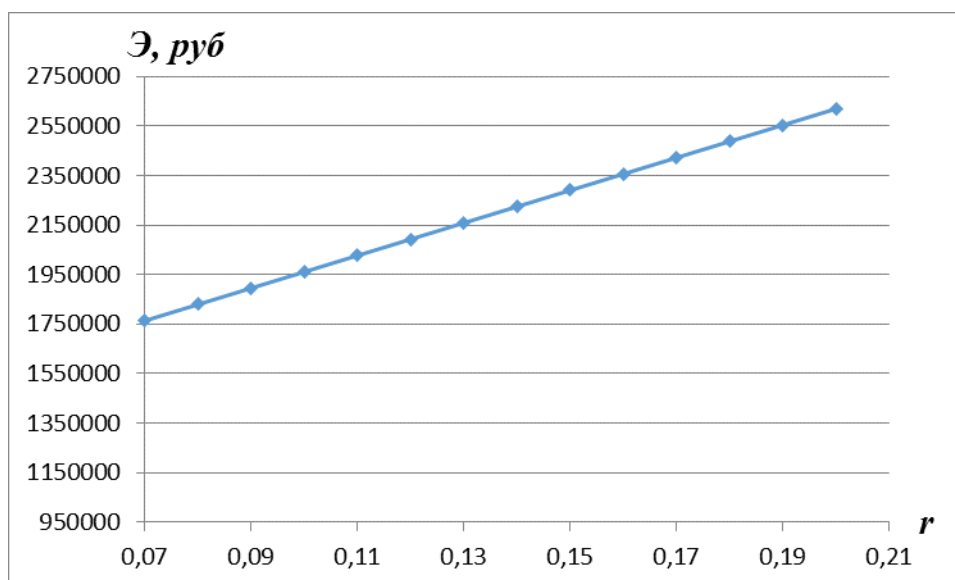


Рисунок 4- График зависимости экономического эффекта от ставки дисконтирования

Наличие экономического эффекта позволяет говорить о сроке окупаемости нового вида подогревателей, который можно определить по формуле:

$$T_{OK} = \frac{K_{K2} - K_{K1}}{I_{K1} - I_{K2}} = \frac{331854941 - 325267733}{159765590 - 158463033} \approx 5 \text{ лет.}$$

Исходя из данных, приведённых в таблице 14, а также проведенного расчёта, можно сказать о том, что подогреватель типа ПВД-К с трубками 08X20H32МЗБ обладает большей конкурентоспособностью, так как он срав-

нительно дешевле с точки зрения затрат на эксплуатацию и ремонты чем подогреватель типа ПВД-К с трубками 08X14МФ. А так как результат сравнительных расчетов подогревателей показал, что подогреватели типа ПВД-К с трубками 08X20Н32МЗБ имеют сравнительно меньшую металлоёмкость, можно сделать заключение, что экономический расчет наделяет подогреватель камерного типа еще одним плюсом в сравнительной характеристике подогревателей.

					ФЮРА. 311362.001 ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78