

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

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Тема работы
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК КОЛЬСКОЙ АЭС

УДК 621.311.25:621.039.002.5(470.21)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5012	Парилов Евгений Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АТЭС	Воробьев А.В.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Автоматизация технологических процессов»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры автоматизации технологических процессов	Андык В.С.	к.т.н., доцент		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры АТЭС	Вагнер М.А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

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

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
5012	Парилову Евгению Александровичу

Тема работы:

Анализ эффективности работы парогенераторных установок Кольской АЭС

Утверждена приказом директора (дата, номер)

11.11.2016 №9734/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Целью работы является анализ влияния некоторых эксплуатационных факторов (изменение температуры теплоносителя, глушение трубок ПГ и др.) на эффективность работы ПГУ Кольской АЭС.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Описание основного оборудования. 2. Обоснование темы ВКР. 3. Расчет горизонтального парогенератора. 4. Теплогидравлический расчет реактора. 5. Расчет допустимой мощности в зависимости от количества заглушенных трубок парогенератора.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Принципиальная тепловая схема энергоблока АЭС с реактором ВВЭР – 440 – 1л. Формат А1. 2. Парогенератор ПГВ – 213. Общий вид – 1л. Формат А1. 3. Функциональная схема системы автоматической защиты при межконтурной неплотности в ПГ – 1л. Формат А1. 4. Плакат “Методы контроля теплообменных труб” – 1л. Формат А1.
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Сергейчик С.И., доцент кафедры менеджмента
Социальная ответственность	Амелькович Ю.А., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности
Автоматизация технологических процессов	Андык В.С., доцент кафедры автоматизации технологических процессов

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АТЭС	Воробьев А.В.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5012	Парилов Евгений Александрович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5012	Парилову Евгению Александровичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

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

1. Технические и эксплуатационные данные о парогенераторе, его расположении, а также заработная плата обслуживающего персонала	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений.	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Определение стоимости заменяемого парогенератора	
2. Расчёт капитальных вложений парогенератора	
3. Расчёт годовых эксплуатационных расходов парогенератора.	
4. Определение экономической оценки на основе сравнения капиталовложений, экономического эффекта.	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Итоговая таблица, график, формула, расчета экономического эффекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5012	Парилов Евгений Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5012	Парилову Евгению Александровичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).

2. Экологическая безопасность:

- защита селитебной зоны
- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);
- разработать решения по обеспечению

экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5012	Парилов Евгений Александрович		

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
	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 всей жизни, непрерывному самосовершенствованию, развитию социальных и	Требования ФГОС (ОК-7 ПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	профессиональных компетенций, использовать полученные знания для обучения и воспитания новых кадров	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 международными стандартами <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 международными стандартами <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 международными стандартами <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 международными стандартами <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	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-9 – 11), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованные с требованиями

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	проектирования и эксплуатации АС	международных 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</i> специальных 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	Требования ФГОС (ПК-22), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	АС	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 оснащение, размещать технологическое оборудование, контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживать технологическое оборудование,	Требования ФГОС (ПСК-1.9), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	исследовать причины его неисправностей, принимать меры по их устранению	
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 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>

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа с.114, рис.20, табл.22, источников 43.

Ключевые слова: реактор, расход, тепловыделяющий элемент, тепловая мощность, теплообменные трубки, парогенератор, кризис теплообмена, глушение трубок.

Объектом исследования является установка унифицированная парогенератор и РУ Кольской АЭС.

Цель работы – исследование эксплуатации парогенератора с разным глушением теплообменных трубок.

В процессе исследования проводились теплогидравлические расчеты парогенератора с разными уровнями загрязнения теплообменных труб и различными значениями глушения теплообменных труб.

В результате исследования были установлены запасы до кризиса теплообмена для разных значений глушения теплообменных труб.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: тепловая мощность реактора равна 1375 МВт, расход теплоносителя через парогенератор равен 5500 т/ч.

Степень внедрения: полная.

Область применения: атомные электростанции с реакторными установками ВВЭР-440.

Экономическая эффективность/значимость работы: на данном этапе не представляется возможным оценить экономическую эффективность.

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

Список принятых сокращений

АРК – аварийная регулирующая компенсирующая кассета

АЭС – атомная электрическая станция

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор

ГО – гражданская оборона

ГЦК – главный циркуляционный контур

ГЦН – главный циркуляционный насос

КАЭС – Кольская атомная электрическая станция

МЧС РФ – Министерство чрезвычайных ситуаций Российской Федерации

ПГ - парогенератор

ПЭЛ – поглощающий элемент

РУ – реакторная установка

ТОТ – теплообменные трубки

ЧС – чрезвычайная ситуация

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

Введение	17
1.Основное оборудование.....	19
1.1 Реакторная установка.....	19
1.2 Описание конструкции ПГ	23
2.Обоснование темы для работы.....	26
3. Расчет горизонтального парогенератора	27
3.1 Тепловая мощность парогенератора. Расход теплоносителя. T-Q диаграмма	29
3.2 Расчет площади теплопередающей поверхности испарительного участка	32
3.3 Гидродинамический расчет парогенератора	35
4. Теплогидравлический расчет реактора	38
4.1.Определение общего расхода теплоносителя через реактор и распределения расходов через отдельные ТВС	38
4.3. Расчет распределения основных теплотехнических параметров теплоносителя и материалов твэла по высоте активной зоны, оценка запасов до допустимых значений определяющих параметров.....	44
4.4.Поверочный расчет парогенератора.....	51
5.Расчет допустимой мощности в зависимости от количества заглушенных трубок парогенератора.....	55
5.1 Граничные условия	56
5.2 Расчетные значения для работы шести петель.....	58
5.3 Отключение двух главных циркуляционных насосов из шести работающих.....	61
6. Система автоматической защиты при межконтурной неплотности в парогенераторе.....	66

6.1. Возможные аварии и их последствия.....	66
6.2. Разработка структурной схемы.....	68
6.3. САЗ при межконтурной неплотности	68
6.4. Разработка функциональной схемы	70
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	72
7.1 Определение стоимости заменяемого парогенератора.....	72
7.3 Расчет фонда заработной платы.....	73
7.4 Расчет эксплуатационных расходов	76
7.5 Расчет прибыли.....	77
7.6 Срок окупаемости проекта	78
8.Социальная ответственность.....	80
8.1. Производственная безопасность	80
8.2 Экологическая безопасность	92
8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	97
8.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	102
Заключение.....	106
Список используемых источников	108
ПРИЛОЖЕНИЕ А	113

Графический материал:

ФЮРА.311000.002 ТЗ - Принципиальная тепловая схема энергоблока АЭС с реактором ВВЭР – 440.

ФЮРА.421000.003 С2 – Система автоматической защиты при межконтурной неплотности в ПГ. Схема функциональная.

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		15

ФЮРА.693410.004 ВО – Парогенератор ПГВ – 213. Общий вид.

Методы контроля теплообменных труб (демонстрационный лист).

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

Введение

На данный момент самыми распространенными в мире являются АЭС с водо-водяными энергетическими реакторами. Поэтому вопросы эффективности АЭС нужно рассматривать основываясь именно на такие типы энергоблоков.

На данный момент в России в эксплуатации находится 17 энергоблоков с реакторами типа ВВЭР. Из них 6 энергоблоков ВВЭР – 440 различных модификаций – это одна треть всех блоков.

Атомная электростанция является очень сложным комплексом, состоящим из разнообразного и многочисленного оборудования с протекающими в нем разнообразными процессами. Все это оборудование объединено технологической схемой станции. Парогенератор – неотъемлемая часть технологической схемы атомной электростанции с водоводяными энергетическими реакторами (ВВЭР).

Парогенератор является теплообменным аппаратом, в котором для производства пара используется теплота теплоносителя первого контура, поступающего из ядерного реактора. ПГ относится к основным теплообменникам АЭС, от характеристик которых существенно зависит эффективность работы станции в целом.

Конструктивно парогенераторы представляют корпусные сосуды с несколькими тысячами труб - трубчатка. Теплоноситель первого контура проходит внутри теплообменных труб и нагревает воду до образования пара. При нарушении целостности теплообменной трубы теплоноситель попадает в воду второго контура и далее во внешнюю среду, в случае срабатывания предохранительной арматуры.

Ресурс трубчатки ограничивается тремя основными факторами: запасом поверхности теплообмена, вероятностью разрыва теплообменной трубы и вероятностью течи в процессе эксплуатации. Здесь необходимо отметить, что согласно результатам расчетных оценок проведенных в «ОКБ Гидропресс» с

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

применением вероятностных методов показано, что последний из упомянутых факторов является основным при ограничении ресурса. Это означает, что еще до достижения предела по глушению труб с точки зрения теплотехники, надежность работы ПГ существенно снижается, что не позволяет обеспечить проектное значение коэффициента готовности и, следовательно, ведет к снижению КИУМ энергоблока. Так по оценкам для ПГВ-440 уже при глушении свыше 5% теплообменных труб коэффициент готовности снижается ниже проектной величины 0.97. Если осуществляется глушение труб в количестве выше допустимого по проекту, требуется проведение теплогидравлических анализов с учетом фактического или прогнозируемого глушения теплообменных труб парогенераторов и характеристик РУ конкретного блока [1].

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		18

1. Основное оборудование

1.1 Реакторная установка

Реактор ВВЭР-440 относится к типу корпусных реакторов на тепловых (медленных) нейтронах, где замедлителем нейтронов и теплоносителем первого контура является химически чистая, обессоленная и борированная вода.

Ядерное топливо - тепловыделяющие сборки (ТВС), состоящие из тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов), содержащих таблетки из двуокиси урана, слабообогащённого по 235-му изотопу.

Регулирование мощности реактора осуществляется системой управления и защиты (СУЗ) - изменением положения в активной зоне кластеров из стержней с поглощающими элементами (трубками с карбидом бора), а также изменением концентрации борной кислоты в воде первого контура.

В таблице 1.1 представлены основные технические характеристики РУ.

Таблица 1.1 - Основные технические характеристики реактора ВВЭР-440

Величина	Обозначение	Значение
Тепловая мощность, МВт	Q	1375
Топливо	-	UO_2
Замедлитель	ЗМ	вода
Теплоноситель	ТН	вода
Параметры теплоносителя		
Среднее давление теплоносителя, МПа	$P_{ТН}$	12,36
Температура теплоносителя на входе в активную зону, °С	$t_{ВХ}$	267,4
Температура теплоносителя на выходе из активной зоны, °С	$t_{ВЫХ}$	297

Реакторная установка (РУ) В – 230 является составной частью энергоблоков №1 и №2 Кольской АЭС и предназначена для выработки сухого насыщенного пара, тепловая энергия которого дальше преобразуется турбогенератором в электрическую.

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

Реакторная установка В-230 включает:

- Главный циркуляционный контур;
- Систему компенсации давления;
- Пассивную часть системы аварийного охлаждения активной зоны реактора.

В состав главного циркуляционного контура входят:

- Реактор ВВЭР-440;
- Шесть циркуляционных петель каждая из которых включает:
Парогенератор ПГВ-230;
Главный циркуляционный насос ГЦН-317;
Две главные запорные задвижки Ду-500;
Главные циркуляционные трубопроводы, соединяющие оборудование петли с реактором.

В состав системы компенсации давления входят:

- Компенсатор давления;
- Два импульсно-предохранительных устройства;
- Бак-барбатер;
- Соединительные трубопроводы и арматура.

В состав пассивной части системы аварийного охлаждения активной зоны реактора входят:

- Четыре гидроемкости САОЗ;
- Соединительные трубопроводы и арматура.

На рис. 1.1 представлена принципиальная схема РУ, а на рис.1.2 – схема расположения основного оборудования реакторной установки.

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		20

1.2 Описание конструкции ПГ

Парогенератор ПГВ-213 предназначен для генерации сухого насыщенного пара требуемого количества и качества за счет отвода тепла от теплоносителя первого контура.

Парогенератор представляет собой рекуперативный теплообменный аппарат. Теплообменная поверхность состоит из 5536 труб диаметром 16 мм и толщиной стенки 1,4 мм из стали 08X18H10T. Теплообменные трубы выполнены в виде U- образных горизонтальных змеевиков и скомпонованы в теплообменный пучок. Расположение труб в пучке коридорное. Трубы присоединяются к вертикальным входному и выходному коллекторам теплоносителя.

Горячий теплоноситель первого контура из реактора поступает во входной коллектор теплоносителя и раздается по теплообменным трубам. Проходя внутри теплообменных труб, теплоноситель отдает тепло через стенку труб воде парогенератора и отводится из ПГ через выходной коллектор теплоносителя.

Питательная вода поступает в парогенератор через патрубок, расположенный на корпусе ПГ, далее через систему подвода и раздачи питательной воды подается в межтрубное пространство со стороны 'горячего' коллектора. Образующийся пар отводится из ПГ через пять паровых патрубков, расположенных в верхней части корпуса парогенератора.

В составе энергоблока работают шесть ПГ, по одному на петлю.

Парогенератор представлен на рис. 1.3 и рис. 1.4

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

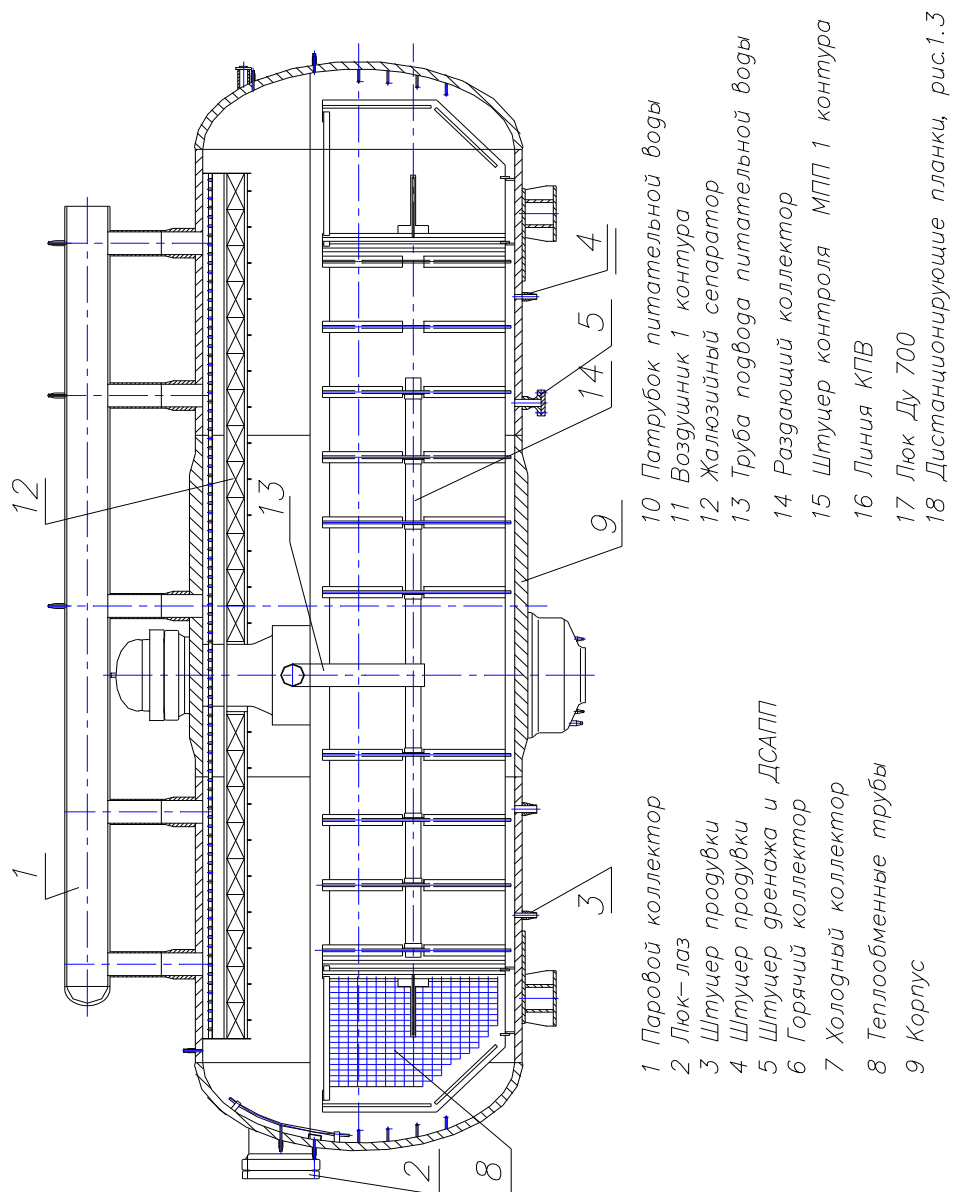


Рисунок 1.3 – Парогенератор ПГВ. Фронтальный разрез [15]

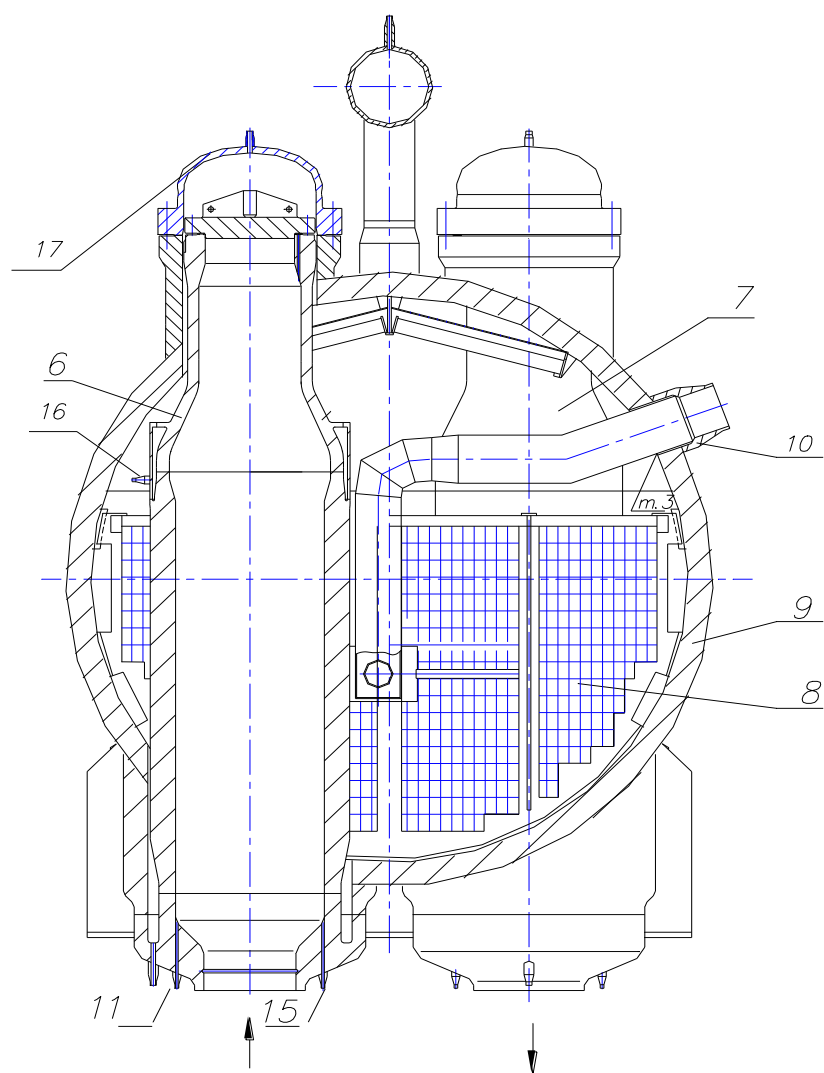


Рисунок 1.4 - Парогенератор. Профильный разрез [15]

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		25

2.Обоснование темы для работы

С момента пуска 1 и 2 блока Кольской АЭС уже прошло более 30 лет, основное оборудование (РУ и ПГ) на станции не менялись.

В течение эксплуатации парогенераторов реакторных установок с ВВЭР проявляются дефекты их теплообменных труб. При планово-предупредительных ремонтах теплообменные трубы с дефектами заглушаются, что сказывается на теплогидравлических характеристиках парогенераторов так и РУ в целом. Помимо глушения ТОТ происходит накопление отложений на наружной поверхности теплообменных труб. Эти два фактора приводят к снижению эффективности теплопередачи.

Настоящее состояние парогенераторов блоков №1 и №2 КолАЭС, по наиболее критичному элементу ПГ – теплообменному пучку, можно считать удовлетворительным, подробно можно ознакомиться в отчете [2].

Актуальность работы заключается в том, что срок принятого решения о продлении эксплуатации 1 и 2 энергоблоков КолАЭС до 2018 и 2019г подходит к концу, соответственно, а замещающие энергоустановки не введены в строй. Смеем предположить, что у энергоблоков 1 и 2 продлят сроки эксплуатации. Из-за этого возникла необходимость проведения анализа изменения теплогидравлических параметров ПГ, а именно запаса до кризиса теплообмена, при возможном дальнейшем глушении ТОТ.

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		26

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является определение конкурентоспособности и рентабельности проводимой модернизации станции.

7.1 Определение стоимости заменяемого парогенератора

Согласно [19] стоимость одного парогенератора составляет 993700 рублей в 1984г. Расчет будем вести для 1 парогенератора, который пойдет под замену. Переводим стоимость ПГ для 2016г.

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

$$C_{о.с.} = C_{р.к.} = 993700 \cdot 55 = 54,65 \cdot 10^6 \text{ руб}, \quad (7.1)$$

Транспортные расходы составляют 9 % от полной стоимости ПГ:

$$C_{т.р.} = 0,09 \cdot C_{о.с.} = 0,09 \cdot 54,65 \cdot 10^6 = 4,919 \cdot 10^6 \text{ руб}; \quad (7.2)$$

Всего затрат на новый ПГ [20]:

$$C_z = C_{о.с.} + C_{т.р.} = 54,65 \cdot 10^6 + 4,919 \cdot 10^6 = 59,57 \cdot 10^6 \text{ руб}; \quad (7.3)$$

Подлежащей замене парогенератор не может быть вторично переработан, так как даже при дезактивации остается остаточная радиоактивность.

Новый ПГ и ПГ, который идет под замену идентичные, следовательно, никаких новых сооружений не потребуется при замене.

7.2 Расчет численности работающих по категориям

Операция по замене ПГ осуществляется инженерно-техническим персоналом и работниками ремонтных организаций.

Расчет основного рабочего персонала, участвующего в модернизации ПГ:

$$P_{расч}^{о.л.} = \frac{T_{\delta}}{F_{\delta.ф.}} = \frac{9017 \text{ чел / час}}{502 \text{ часа}} = 18 \text{ чел}, \quad (7.4)$$

где T_{δ} - трудоемкость операции,

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		72

$F_{д.ф.}$ - действующий фонд рабочего времени одного работника.

Списочная численность персонала составляет:

$$P_{с.ч.}^{осн} = P_{расч.}^{о.п.} \cdot K = 18 \cdot 1,1 = 20 \text{ чел}, \quad (7.5)$$

где $K=1,1$ - коэффициент, учитывающий невыходы на работу по уважительной причине.

Кроме основного рабочего персонала, непосредственно заняты модернизацией вспомогательные рабочие, инженерно-технический персонал и служащие.

Численность вспомогательных работников берется укрупнено в размере 28-32% от численности основного рабочего персонала:

$$P_{с.ч.}^{вс.р.} = P_{расч.}^{о.п.} \cdot 29 \% = 18 \cdot 0,32 = 6 \text{ чел.} \quad (7.6)$$

Численность инженерно-технического персонала и служащих укрупнено, может быть определена укрупнено в размере 8-12% от численности всех работников (основных и вспомогательных):

$$P_{с.ч.}^{итп} = (P_{расч.}^{о.п.} + P_{с.ч.}^{вс.р.}) \cdot 8\% = (18 + 6) \cdot 0,08 = 2 \text{ чел.} \quad (7.7)$$

Общая численность работающих занятых в установке ПГ:

$$P^{общ} = P_{расч.}^{о.п.} + P_{с.ч.}^{вс.р.} + P_{с.ч.}^{итп} = 18 + 6 + 2 = 26 \text{ чел.} \quad (7.8)$$

7.3 Расчет фонда заработной платы

Основная часть заработной платы производственного персонала отражает заработную плату рабочих и инженерно-технического персонала, непосредственно задействованных в установке ПГ.

$$ЗП_{осн.ч.} = З_{ср.м.} \cdot P^{общ} \cdot З_{мес.} = 25583 \cdot 26 \cdot 3 = 1995474 \text{ руб}, \quad (7.9)$$

где $З_{ср.м.}$ - средняя месячная заработанная плата одного производственного рабочего.

Дополнительную заработную плату составляет оплата очередных и дополнительных отпусков, компенсация за неиспользуемый отпуск, оплата за время, потраченное работником на выполнение государственных и общественных обязанностей, и другие выплаты, предусмотренные трудовым законодательством.

Дополнительная заработная плата укрупнено принимается 9% от основной заработной платы работающего.

$$ЗП_{доп} = З_{осн.ч.} \cdot 9\% = 1995474 \cdot 0,09 = 179593 \text{ руб.} \quad (7.10)$$

Если заработная плата работника превышает нормативную, для последующих расчетов принимается нормативная заработная плата с пересчетом превышения.

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

$$З_{соц} = (ЗП_{осн.ч.} + ЗП_{доп}) \cdot 31,7\% = (1995474 + 179593) \cdot 0,317 = 689\,496 \text{ руб.} \quad (7.11)$$

где 31,7-коэффициент, учитывающий отчисления:

- пенсионный фонд – 22%,
- социальное страхование – 2,9%,
- медицинское страхование – 5,1%,
- отчисление от несчастного случая – 1,7% (АЭС).

Значения для расчёта заработной платы находятся в таблице 7.1.

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		74

Таблица 7.1- Заработная плата

п/п	Показатель	Единица. измерения		Примечания
1	Численность принятая для расчета человек	чел.	26	
	Средняя заработная плата на одного работающего			
2	Минимальная тарифная ставка рабочего первого разряда	руб.	7560	
3	Средняя ступень оплаты труда (средний разряд работ)		6,2	
4	Тарифный коэффициент		1,8	
5	Среднемесячная тарифная ставка	руб.	13608	$7560 \cdot 1,8$
6	Доплата к тарифу за условия труда и др. выплаты предусмотрены КЗ0Т РФ Всего На человека	% руб.	18 2449	$13608 \cdot 0,18$
7	Текущее премирование -средний % премирования по положению -на чел. к тарифу, включая	% руб.	50 8029	$(13608 + 2449) \cdot 0,5$
8	Выплата вознаграждений за выслугу лет Годовой стажевой коэффициент выслуги лет - в % к тарифу - на человека	% руб.	1,36 11 1497	$13608 \cdot 0,11$
9	Итого расчетная средняя зарплата пром. произв. персонала на чел. в месяц	руб.	25583	$13608 + 2449 + 8029 + 1497$

Таблица 7.2- Капиталовложения в замену ПГ

п/п	Наименование статей	Единица. измерения		Примечания
1	Стоимость 1 ПГ	руб.	54650000	
2	Транспортные расходы	руб.	4919000	
3	Заработная плата производственного персонала	руб.	1995474	
4	Дополнительная заработная плата	руб.	179593	
5	Отчисления на социальные нужды	руб.	689496	
6	Расходы на демонтаж и монтаж ПГ	руб.	199548	$1995474 \cdot 10\%$
7	Итого	руб.	62633111	

7.4 Расчет эксплуатационных расходов

Расчет производственных расходов состоит из расходов на содержание и эксплуатацию оборудования, которые включают затраты:

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

Годовые эксплуатационные расходы на производство пара:

$$I_{\text{год}} = I_A + I_p, \quad (7.12)$$

где I_A - амортизация,

I_p - затраты на ремонт оборудования,

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

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

Амортизационные отчисления:

$$I_A = K \cdot P_H = 62,63 \cdot 10^6 \cdot 0,116 = 7,27 \cdot 10^6 \text{ руб.}, \quad (7.13)$$

Затраты на ремонт оборудования:

$$I_{\text{т.р}} = 0,2 \cdot I_A = 0,2 \cdot 7.270.000 = 1.454.000 \text{ руб.}, \quad (7.14)$$

В итоге затраты на содержание и эксплуатацию оборудования составят:

$$I_{\text{год}} = 7,27 \cdot 10^6 + 1,454 \cdot 10^6 = 8,724 \cdot 10^6 \text{ руб.} \quad (7.15)$$

Результаты расчётов расходов на эксплуатацию представлены в таблице 7.3.

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		76

Таблица 7.3- Расходы на эксплуатацию ПГ

п/п	Наименование статей	Единица. измерения	Сумма
1	Амортизация	руб.	7270000
2	Затраты на ремонт оборудования	руб.	1454000
6	Итого	руб.	8724000

В итоге затраты по замене ПГ с учетом эксплуатационных расходов составили:

$$C_{\text{ИТОГ}} = C_{\text{о.с.}} + C_{\text{т.р.}} + 3П_{\text{осн.ч.}} + 3П_{\text{доп}} + 3_{\text{соц}} + C_{\text{мон/дем}} + И_{\text{год}} = 62,63 \cdot 10^6 + 8,724 \cdot 10^6 = 71,354 \cdot 10^6 \text{ руб.} \quad (7.16)$$

7.5 Расчет прибыли

Расчет прибыли будем вести для нового ПГ. Так как при глушении трубок в ПГ уже более 10% , мощность станции нужно ограничить на уровне 96% от номинального значения, следовательно, станция каждый год будет недопроизводить 4% своей мощности. А решение, которое предлагаем: замена ПГ на новый решит эту проблему и вернет к 100% выработки.

Цена электроэнергии, которую отпускают населению по одноставочному тарифу составляет 2,6 руб./кВт ч. на 2016 год. На 2015 г. Тариф составлял 2,5 руб./кВт ч [сайт].

По сведениям [21] 1 энергоблок КолАЭС вырабатывает электроэнергии: 2375,4 млн кВт*ч. Примем этот показатель за постоянную величину.

Рассчитываем прибыль:

$$Пр = Ц_{\text{ээ}} \cdot Э_{\text{отп.}} \quad (7.17)$$

Таблица 7.4- Зависимость потерь денежных средств от заглушенных труб в ПГ

Процент глушения трубок в ПГ, %	Мощность энергоблока, %	Выработка электроэнергии за 1 год, млн кВт* ч	Доход от продажи электричества, млн. руб.	Потери денежных ср-в из-за снижения мощности, млн. руб.
0	100	2375,4	6176,04	0
>10	96	2280,38	5928,998	247,0416
15	94	2232,88	5805,478	370,5624
20	92	2185,37	5681,957	494,0832

7.6 Срок окупаемости проекта

Метод срока окупаемости является наиболее простым методом оценки эффективности проектов.

$$T_{ок} = \frac{K_m}{\Delta I} = \frac{71,354 \cdot 10^6}{247,0416 \cdot 10^6} = 0,289 \text{ года} \approx 3,5 \text{ мес.} \quad (7.18)$$

Вывод: при достижении максимального проектного значения глушения теплообменных трубок в ПГ необходимо своевременно произвести замену ПГ на новый, чтобы исключить снижения мощности энергоблока и как результат потеря финансовых средств.

Итоговые значения представлены в таблице 7.5.

Таблица 7.5 - Калькуляция на модернизацию ПГ

Наименование статей	Единица. измерения	ПГ после модернизации
Капиталовложения в модернизацию	руб.	$71,354 \cdot 10^6$
Стоимость ПГ	руб.	$54,65 \cdot 10^6$
Транспортные расходы	руб.	$4,919 \cdot 10^6$
Расходы на демонтаж и монтаж ПГ	руб.	199548
Возвратные отходы	руб.	-
Основная зарплата	руб.	1995474
Дополнительная зарплата	руб.	179593
Отчисления на социальное страхование	руб.	689496
Эксплуатационные расходы	руб.	$8,724 \cdot 10^6$
Амортизация	руб.	$7,27 \cdot 10^6$
Затраты на ремонт оборудования	руб.	$1,454 \cdot 10^6$
Величина экономического эффекта от модернизации	руб./год	$247,042 \cdot 10^6$
Срок окупаемости проекта	мес	3,5

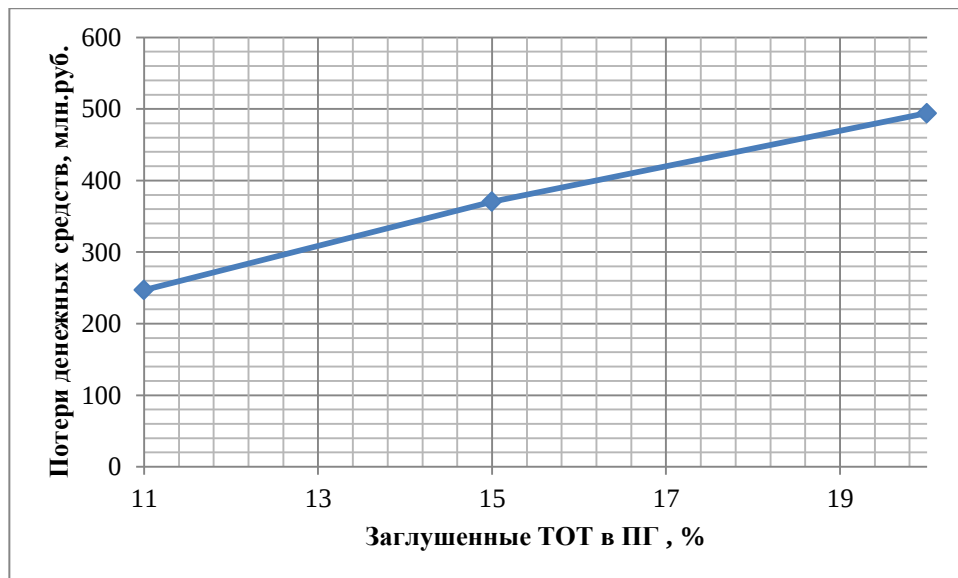


Рисунок 7.1 – Зависимость потерь денежных средств от количества заглушенных теплообменных труб в ПГ