

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
ПРОЕКТ ГЕЛИЕВОЙ ТУРБИНЫ В СОСТАВЕ ЭНЕРГБЛОКА АЭС С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМ ГАЗООХЛАЖДАЕМЫМ РЕАКТОРОМ

УДК 621.311.25:621.039.52.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5012	Буравцова Алина Анатольевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры АТЭС	Беляев Л. А.	к.т.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	Ю.А. Амелькович	к.т.н., доцент		

жизнедеятельности				
--------------------------	--	--	--	--

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель кафедры 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		

Томск – 2017 г.

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

од езул ь- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	Универсальные компетенции	
1	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>
2	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>
	Осуществлять коммуникации в	Требования

од езул ь- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
3	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	ФГОС (ОК-3 – 5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
4	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>
5	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность</i> к самостоятельному обучению в течение всей жизни, непрерывному самосовершенствованию, развитию социальных и профессиональных компетенций, использовать полученные знания для обучения и воспитания новых	Требования ФГОС (ОК-7 ПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Од- езул- ь- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	кадров	
6	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>
7	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>
8	Использовать информационные технологии для работы с информацией, управления ею и создания новой информации; работать с информацией в	Требования ФГОС (ОК-12, ПК-2, 6, 13, 26, ПСК-1.5), Критерий 5 АИОР (п.

од езул ь- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	глобальных компьютерных сетях, осознавать и соблюдать основные требования информационной безопасности	1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
	Профессиональные компетенции	
9	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>
10	Использовать глубокие математические, естественнонаучные знания в профессиональной деятельности с применением математического моделирования объектов и процессов в области проектирования и эксплуатации АС	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-9 – 11), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
	Проводить <i>инновационные</i> научные	Требования

Од- е- з- у- л- ь- т- а- т- а	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
11	исследования систем и оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, участвовать во внедрении результатов исследований	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>
12	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>
13	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

од езул ь- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
		<i>FEANI</i>
14	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>
15	Разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы в области проектирования АС	Требования ФГОС (ПК-22), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

од езул ь- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
16	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>
17	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>
18	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,	Требования ФГОС (ПК- 28, 10, 11, , ПСК-1.14, 1.15), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных

Од- е- з- у- л- ь- т- а- т- а	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	выполнять типовые операции по управлению реактором и энергоблоком на функционально-аналитическом тренажере	стандартов EUR-ACE и FEANI
19	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>
20	Осуществлять и анализировать технологическую деятельность как объект управления, организовывать рабочие места, обеспечивать их техническое оснащение, размещать технологическое оборудование, контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживать технологическое оборудование, исследовать причины его неисправностей, принимать меры по их устранению	Требования ФГОС (ПСК-1.9), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
	Составлять техническую	Требования

од езул ь- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
21	документацию и организовывать экспертизу технической документации, составлять установленную отчетность по утвержденным формам, управлять малыми коллективами исполнителей, планировать работу персонала и фонды оплаты труда	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>
22	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>
23	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>

Од- е- зу- л- ь- та- та	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
24	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>
25	Применять на практике принципы организации эксплуатации современного оборудования и приборов АС, понимать принципиальные особенности стационарных и переходных режимов реакторных установок и энергоблоков и причины накладываемых ограничений при нормальной эксплуатации, при её нарушениях, при ремонте и перегрузках	Требования ФГОС (ПК-8, ПСК-1.12, 1.13), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство 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

(Подпись) _____ (Дата) Матвеев А.С.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
5012	Буравцова Алина Анатольевна

Тема работы:

Проект гелиевой турбины в составе энергоблока АЭС с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15 января 2017 года
--	---------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Целью работы является разработка проекта газовой турбины для энергоблока с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором. Исходными данными для выполнения работы являются: высокотемпературный гелиевый реактор с температурой газа на выходе из реактора
-------------------------------------	---

	1000 °С, давление 6 Мпа, конструктивные и энергетические характеристики компрессора, материалы преддипломной практики и данные научно-технической и учебной литературы, периодических изданий.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Введение. 2. Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы: преимущества, недостатки, современное состояние создания реакторов данного типа. 3. Тепловая схема энергоблока и выбор параметров энергоблока. 3.1. Разработка тепловой схемы. 3.2. Оптимизация параметров гелиевой ГТУ с промежуточным охлаждением сжимаемого газа. 4. Разработка конструкции гелиевой турбины. 4.1. Определение числа ступеней турбины. 4.2. Расчет проточной части турбины. 4.3. Расчет на прочность элементов турбины. 5. Конструирование промежуточного охладителя. 6. Конструкция турбо-компрессорного блока. 7. Система смазок и уплотнений турбо-компрессорного блока. 8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 9. Социальная ответственность 10. Заключение.
Перечень графического материала	- тепловая схема энергоблока АС – 1 лист; - чертежи по конструкции турбины – 2 листа; – чертежи по конструкции промежуточного охладителя - 2 листа; - компоновка главного корпуса энергоблока – 1 лист

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	С.И. Сергейчик
Социальная ответственность	Ю.А. Амелькович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	17 октября 2016 г.
---	--------------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5012	Буравцова А.А.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5012	Буравцова Алина Анатольевна

Институт	Энергетический	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	14.05.02 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	Проект гелиевой турбины в составе энергоблока АЭС с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором. Объект исследования: гелиевая турбина.
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); 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: 2.1. Анализ влияния АЭС на окружающую среду – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); 2.2. Анализ жизненного цикла объекта исследования 2.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: 3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать питательный агрегат 3.2. Анализ вероятных ЧС которые могут возникнуть при работе питательного агрегата 3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – выбор наиболее типичной 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	17 октября 2016 г.
--	--------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Ю.А.	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5012	Буравцова Алина Анатольевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5012	Буравцова Алина Анатольевна

Институт	Энергетический	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Характеристика объекта исследования	Проект гелиевой турбины в составе энергоблока АЭС с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Ежегодный расход ядерного топлива для газоохлаждаемого реактора рассчитать в соответствии с основными показателями энергоблока.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка капиталовложений в оборудование, снижающее потребление собственных нужд	Оценку капитальных вложений в оборудование, монтаж и настройки произвести с использованием открытых источников
2. Оценка годовых издержек на АЭС	Произвести оценку годовых издержек на АЭС согласно расчетной методике, рассмотренной в методическом пособии
3. Определение экономического эффекта эффективности инвестиций в АЭС	Рассчитать чистый приведенный доход, индекс рентабельности и внутреннюю норму доходности.
4. Определение срока окупаемости капитальных вложений	Расчет срока окупаемости произвести с учетом ставки дисконтирования.
5. Оценка ресурсной, финансовой,	Сделать окончательные выводы на основе

<i>социальной, бюджетной эффективности инженерных решений</i>	<i>сравнения приведенных расчетов с водоохлаждаемым энергоблоком такой же мощности.</i>
---	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	17 октября 2016 г.
---	--------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сергейчик С.И.	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5012	Буравцова Алина Анатольевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 118 с., 10 рисунков, 18 таблиц, 24 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: атомная станция, турбина, теплоноситель, рабочее тело, компрессор, гелий.

Объектом исследования является турбина, рабочим телом которой является гелий, он же теплоноситель в ядерном реакторе, предназначенная для генерации электрической энергии в составе энергоблока АЭС с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором.

Цель работы – разработка проекта гелиевой турбины, работающей на заданных параметрах.

В процессе выполнения проекта проводились исследования тепловой схемы с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором (ВТГР) и закрытой газотурбинной установкой (ЗГТУ), так же, влияние степени сжатия в компрессоре на коэффициент полезного действия (КПД) цикла в целом.

В результате получен проект гелиевой турбины, рассчитанный на электрическую мощность 500 МВт, в составе энергоблока АЭС с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором, КПД газотурбинной установки (ГТУ) составляет примерно 43 %, что на порядок выше КПД паротурбинных установок (33%) с водоохлаждаемыми реакторами.

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.311120.001.ПЗ	20
-----	------	----------	-------	------	--------------------	----

Оглавление

Введение.....	23
1. Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы.....	24
1.1. Принцип работы и описание ВТГР	24
1.2. Выбор теплоносителя.....	26
2. Тепловая схема и выбор параметров энергоблока.....	28
2.1. Разработка тепловой схемы энергоблока.....	28
2.2. Оптимизация параметров гелиевой ГТУ с промежуточным охлаждением сжимаемого газа.....	29
2.3. Детальный расчет тепловой схемы для заданных параметров.....	31
3. Разработка конструкции гелиевой турбины.....	34
3.1. Предварительная оценка диаметров, числа ступеней и распределения теплоперепадов по ступеням турбины.....	34
3.2. Определение числа ступеней турбины и распределения теплоперепадов.....	36
3.3. Детальный расчет проточной части турбины.....	40
3.3.1. Детальный расчет 1 ступени.....	40
3.3.2. Детальный расчет всех ступеней турбины.....	44
4. Механический расчет элементов турбины.....	55
4.1. Расчет рабочей лопатки на прочность.....	56
4.1.1. Растяжение рабочих лопаток.....	56
4.1.2. Изгиб рабочей лопатки.....	58
4.1.3. Прочность хвостовых соединений рабочих лопаток.....	59
4.2. Расчет ротора на прочность.....	61
4.2.1. Кручение ротора.....	61
5. Конструирование промежуточного охладителя.....	63
5.1. Выбор вида теплообменного аппарата.....	63
5.2. Тепловой расчет охладителя.....	63
6. Компрессор.....	67

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

6.1. Расчет теплофизических свойств сжимаемого газа на основании расчетов тепловой схемы.....	67
7. Системы смазки уплотнений турбо - компрессорного блока.....	69
8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	70
8.1. Определение себестоимости электроэнергии и удельных капиталовложений АЭС с ВТГР.....	71
8.2. Определение ежегодных эксплуатационных издержек.....	72
8.3. Оценка себестоимости отпущенной электроэнергии.....	75
8.4. Расчет прибыли и рентабельности	78
8.5. Оценка экономической эффективности инвестиций в АЭС.....	79
8.6. Метод приведенных затрат.....	81
9. Социальная ответственность.....	83
9.1. Производственная безопасность.....	85
9.1.1. Анализ вредных и опасных факторов.....	85
9.1.2. Расчет освещения в блочном пункте управления.....	94
9.2. Экологическая безопасность.....	98
9.2.1. Выбросы АЭС.....	99
9.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	103
9.3.1. Проектные аварии.....	103
9.3.2. Запроектные аварии.....	104
9.3.3. Пожарная безопасность.....	105
9.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	108
9.4.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	108
9.4.2. Организационные мероприятия по компановке рабочей зоны.....	109
10. Заключение.	110
11. Список использованных источников.....	111
12. Приложения.....	113

Инь. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.311120.001.ПЗ

Введение

Одной из важнейших задач, связанных с производством электрической и тепловой энергии на атомных станциях, является уменьшение расхода топлива.

Сегодня большинство стран используют корпусные и каналные реакторы, КПД которых не превышает 33%, установках с натриевыми реакторами на быстрых нейтронах до 40%.

Дальнейшее повышение эффективности требует расширения температурных уровней, в которых работает атомная энергетическая установка. Поэтому высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы (ВГР) стали изучаться интенсивнее. В качестве теплоносителей используются газы, в нашем случае гелий. Интерес к ВГР обусловлен их высокими тепловыми, физическими и экономическими характеристиками. Все потенциальные возможности ВГР раскрываются именно при применении их в энергетической схеме замкнутого цикла с газовой турбиной. При тех же начальных температурах газа КПД нетто станции будет в этом случае на 10-20% больше, нежели ВГР с паровым циклом.

Однако, такие установки пока не находят широкого применения на практике и носят исключительно экспериментальный характер.

Сложность решения данной задачи связана с высокими температурами газа, которые, в свою очередь, накладывают свои требования на конструкцию реактора, а в особенности, на конструкцию самой исследуемой газовой турбины; с выбором газовой среды, которая является и теплоносителем в реакторе, и рабочим телом газовой турбины; проблемы с проектированием теплообменных аппаратов, регулированием установки, системы уплотнений и смазки турбины и компрессоров и т.д.

Инв. № подл.	Подпись и дата					Инв. № дубл.	Подпись и дата								
	Взам. инв. №						Инв. № дубл.								
	Подпись и дата						Подпись и дата								
	Инв. № подл.						Инв. № дубл.								
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.311120.001.ПЗ										23

8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

Технико-экономические показатели (ТЭП) – это основной показатель эффективности работы АЭС. Основными же являются показатели:

1. *Себестоимость* - экономический показатель, характеризующий совокупность затрат в денежном выражении, овеществляемого и живого труда в процессе производства электроэнергии на АЭС.

2. Показателем конкурентоспособности АЭС относительно других типов электростанций являются *удельные капиталовложения* в строительство АЭС (удельная стоимость установленного киловатта электрической мощности).

3. *Коэффициент полезного действия АЭС* - характеризует экономичность, совершенство проектных решений и технический уровень эксплуатации. КПД зависит, главным образом, от типа ядерной паро-производительной установки и параметров теплоносителя.

Цель экономического расчета - сравнительный анализ технико-экономических показателей энергоблока АЭС с водоохлаждаемым реактором и энергоблока АЭС с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором.

Исходными данными являются:

1) Энергоблок с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором и гелиевой турбиной.

Установленная электрическая мощность $N_{\text{э}} = 500 \text{ МВт}$;

2) Энергоблок с реактором ВВЭР и паротурбинной установкой.

Установленная электрическая мощность $N_{\text{э}} = 500 \text{ МВт}$;

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата						
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.311120.001.ПЗ					24

капиталовложений АЭС с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором.

Капитальные вложения в проектируемый объект:

Капитальные вложения в ядерную часть, долларов США:

$$K_{\gamma\delta} = k_H \left[300 \cdot N_T^{0,91} + 570 \cdot 10^3 \right],$$

Капитальные вложения в обычные части энергоблока АЭС, долларов США:

$$K_{o\delta} = k_H \left[2250 \cdot (N_{\mathfrak{S}})^{0,76} + 330 \cdot 10^3 \right].$$

N_T – тепловая мощность реактора в кВт;

$k_{и}$ – коэффициент индексации, учитывающий рост цен на строительство, монтаж и оборудование.

Тепловую мощность реактора:

$$N_T = \frac{N_3}{\eta_{\text{on}}} = \frac{500}{0,48} = 1,04 \cdot 10^3 \text{ MBT};$$

где $\eta_{6p} = 0,48$ – КПД брутто АЭС.

В ядерную часть энергоблока блока входит только реактор и его вспомогательная арматура.

Общие капитальные вложения в энергоблок:

$$\begin{aligned} K_{A\partial C} &= k_{y\partial ap} (K_{я\partial} + K_{об}) = k_{y\partial ap} \cdot k_H (300 \cdot N_T^{0,91} + 570 \cdot 10^3 + \\ &+ 2250 \cdot (N_{\text{я}})^{0,76} + 330 \cdot 10^3) = 50 \cdot (300 \cdot (1041,7 \cdot 10^3)^{0,91} + \\ &+ 570 \cdot 10^3 + 2200 \cdot (500 \cdot 10^3)^{0,76} + 330 \cdot 10^3 = \\ &= 6\,946\,731\,464 \text{ рублей}; \end{aligned}$$

$k_{\text{удар}}$ — коэффициент удорожания капиталовложений.

Удельные капиталовложения:

$$\frac{K_{AEC}}{N_3} = \frac{6\,946\,731\,464 \text{ рублей}}{500 \cdot 10^3 \text{ кВт}} = 13\,894 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}.$$

Средняя нагрузка на турбоагрегат:

$$P_{\text{азс}} = \frac{W}{T_p} = \frac{3,75 \cdot 10^6}{8160} = 459,56 \text{ МВт};$$

Средняя нагрузка на блок:

$$P_{\text{азс}} = P_{\text{бл}} = 459,56 \text{ МВт};$$

Издержки на топливо:

$$U_T = V_{\text{ГОД}} \cdot (C_T + C_{\text{ВЫД}}).$$

Затраты станции на закупку ядерного топлива принято рассчитываются исходя из цен, которые устанавливаются для ТВС и свежего топлива, которое поставляется на АЭС.

Удельная стоимость ядерного топлива за время кампании при условии однородной загрузки:

$$C_T = C_{\text{исх.пр.}} + C_{\text{об}} + C_{\text{изг}} + C_{\text{тр}}, \text{ руб} / \text{кг},$$

$C_{\text{исх.пр}}$ – удельная стоимость исходного продукта (природного урана);

$C_{\text{об}}$ – удельная стоимость обогащенного урана;

$C_{\text{изг}}$ – удельная стоимость изготовления ТВС включая стоимость конструкционных материалов;

$C_{\text{тр}}$ – удельная стоимость транспортировки ТВС;

Исходя из данных URL: <http://www.rosatom.ru>,

$$C_T = 90 + 700 + 160 + 3 = 953 \text{ долл} / \text{кг}$$

$$C_T = 953 \cdot 60,2 = 57\,371 \text{ руб} / \text{кг}.$$

Топливная составляющая всей себестоимости электроэнергии:

$$C_m^{\text{э}} = \frac{1}{24} \frac{C_T}{B \eta_n^{\text{ЭБ}}},$$

$\bar{B} = 40000$ – средняя глубина выгорания ядерного топлива, МВт·сут/т.

$\eta_n^{\text{ЭБ}}$ – КПД энергоблока

$$\eta_n^{\text{ЭБ}} = \eta_{\text{потерь}} \cdot \eta_{\text{ТУ}} = 0,9 \cdot 0,38 = 0,342.$$

$$C_m^{\text{э}} = \frac{1}{24} \cdot \frac{57371}{40000 \cdot 0,342} = 0,17 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{ч}.$$

Издержки на топливо:

Подпись и дата		Инва. № дубл.		Взам. инв. №		Подпись и дата		Инва. № подл.	
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.311120.001.ПЗ				27

$$U_T = B_{\text{ГОД}} \cdot (C_T + C_{OT}) \cdot 60,2 = 519\,620\,385 \text{ руб.};$$

$$B_{\text{ГОД}} = \frac{N_T \cdot 365 \cdot K_y}{\bar{B}} = \frac{1042 \cdot 365 \cdot \frac{7500}{8160}}{40} = 8\,736,4 \text{ кг},$$

$K_y = T_{\text{уст}}/T_p$ – коэффициент использования установленной мощности АЭС;

C_T – цена 1 кг топлива с заданной степенью обогащения с учетом стоимости изготовления ТВЭЛов и транспортных расходов в долларах США;

C_{OT} – стоимость выдержки отработанного топлива в долларах США.

Расходы на оплату труда:

Для приближенных расчетов издержек на заработную плату по станции можно использовать формулу, млн. руб./год:

$$U_{\text{ЗП}} = K_{\text{шт}} \cdot \Phi_{\text{ЗП}} \cdot \alpha_{\text{сс}} \cdot N_y,$$

Где $K_{\text{шт}}$ – штатный коэффициент человек/МВт,

$\Phi_{\text{ЗП}}$ – среднегодовой фонд заработной платы на одного человека;

$\alpha_{\text{сс}}$ – коэффициент, учитывающий единый социальный налог, принимаемый равным 1,3.

$$U_{\text{ЗП}} = 1,3 \cdot 180 \cdot 1,3 \cdot 500 \cdot 10^{-3} = 152 \text{ млн. руб./год.}$$

Расчет размера амортизационных отчислений:

Размер ежегодных амортизационных отчислений, млн. руб./год:

$$U_a = \frac{H_A}{100} K;$$

Где H_A – средняя норма амортизации основных фондов АЭС, принимаем равным 4%;

$K_{\text{АЭС}}$ – общие капитальные вложения в энергоблок, млн. руб./год.

$$U_a = \frac{4}{100} 6946 \cdot 10^6 = 277,9 \text{ млн. руб./год.}$$

Расходы на текущий ремонт оборудования:

$$U_{\text{тр}} = 0,2 \cdot U_a;$$

Подпись и дата		Инва. № дубл.		Взам. инв. №		Подпись и дата		Инва. № подл.	
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.311120.001.ПЗ				28

$$U_{\text{тр}} = 6946 \cdot 10^6 \cdot 0,2 = 55,6 \text{ млн. руб./год.}$$

Прочие расходы:

К прочим расходам относятся:

- Общецеховые и общестанционные расходы;
- Расходы по охране труда и технике безопасности;
- Налоги и сборы;
- Плата за землю;
- И т.д.

Их величина принимается 35% от суммарных затрат на амортизацию, с учетом единого социального налога, млн. руб./год:

$$U_{\text{пр}} = 0,35 \cdot U_a = 0,35 \cdot 6946 = 97,25 \text{ млн. руб./год.}$$

Таким образом, эксплуатационные расходы составляют:

$$U_{\text{э}} = 519,6 + 152 + 277,9 + 55,6 + 97,25 = 1102 \text{ млн. руб./год.}$$

8.3. Оценка себестоимости отпущенной электроэнергии.

Годовой отпуск энергии станции, МВт ч:

$$N_{\text{отп}} = N_e (1 - \alpha_{\text{сн}});$$

$N_e = 510$ МВт- эффективная мощность турбоагрегата;

$\alpha_{\text{сн}}$ –коэффициент расхода электроэнергии на собственные нужды;

$$N_{\text{отп}} = 510(1 - 0,062) = 478,4 \text{ МВт};$$

Себестоимость отпущенной энергии, руб. кВт/час:

$$U_{\text{опт}}^{\text{э}} = \frac{U_{\text{э}}}{N_{\text{опт}}} = 0,25;$$

Себестоимость выработанной энергии, руб. кВт/ч:

$$U_{\text{выр}}^{\text{э}} = \frac{U_{\text{э}}}{W} = 0,28;$$

Удельный расход условного топлива на выработанный кВт час, кг у.т./кВт ч:

$$B_{\text{выр}} = \frac{B_{\text{год}}}{W} = \frac{8736,4 \cdot 1000}{3,75 \cdot 10^6} = 2,33;$$

Инв. № подл.	Подпись и дата				Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	8.3. Оценка себестоимости отпущенной электроэнергии. Годовой отпуск энергии станции, МВт ч: $N_{\text{отп}} = N_e (1 - \alpha_{\text{сн}});$ $N_e = 510 \text{ МВт- эффективная мощность турбоагрегата;}$ $\alpha_{\text{сн}} \text{ — коэффициент расхода электроэнергии на собственные нужды;}$ $N_{\text{отп}} = 510(1 - 0,062) = 478,4 \text{ МВт;}$ Себестоимость отпущенной энергии, руб. кВт/час: $U_{\text{опт}}^{\text{э}} = \frac{U_{\text{э}}}{N_{\text{опт}}} = 0,25;$ Себестоимость выработанной энергии, руб. кВт/ч: $U_{\text{выр}}^{\text{э}} = \frac{U_{\text{э}}}{W} = 0,28;$ Удельный расход условного топлива на выработанный кВт час, кг у.т./кВт ч: $B_{\text{выр}} = \frac{B_{\text{год}}}{W} = \frac{8736,4 \cdot 1000}{3,75 \cdot 10^6} = 2,33;$	
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.311120.001.ПЗ				29

Удельный расход условного топлива на отпущенный кВт ч, кг у.т./кВт ч:

$$B_{\text{отп}} = \frac{B_{\text{год}}}{N_{\text{отп}}} = \frac{8736,4}{478 \cdot 10^3} = 0,018.$$

Таблица 9. Расчет высокотемпературного газоохлаждаемого реактора.

1 вариант.

Наименование показателя	Значение показателя
Электрическая мощность, МВт	$N_{\text{э}} = 500$
Тепловая мощность реактора, МВт	$N_{\text{т}} = 1041,7$
Общие капитальные вложения в энергоблок, млрд руб	$K_{\text{АЭС}} = 6,95$
Удельные капиталовложения, руб./кВт	13894
Удельный расход ядерного топлива, кг	$B_{\text{год}} = 8736,4$
Затраты на топливо, млн руб./год	$U_{\text{т}} = 519,6$
Расходы на оплату труда, млн руб./год	$U_{\text{зп}} = 152$
Амортизационные отчисления, млн руб./год	$U_{\text{а}} = 277,9$
Расходы на ремонт и обслуживание, млн руб./год	$U_{\text{тр}} = 55,6$
Прочие расходы, млн руб./год	$U_{\text{пр}} = 97,2$
Эксплуатационные расходы, млн руб./год	$U_{\text{э}} = 1102$
Себестоимость отпущенной энергии, руб./кВт ч	$U_{\text{отп}}^{\text{э}} = 0,25$
Себестоимость выработанной энергии, руб./КВт ч	$U_{\text{выр}}^{\text{э}} = 0,28$
Удельный расход топлива на	$B_{\text{выр}} = 2,33$

Инь. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Инь. № дубл.
Подпись и дата	

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

ФЮРА.311120.001.ПЗ

выработанный кВт ч, кг у.т./кВт ч	
Удельный расход топлива на отпущенный кВт ч, кг у.т./кВт ч	$B_{отп} = 0,018$

Во втором варианте представлен экономический расчет, с такими же параметрами и заданной электрической мощностью $N_э = 500$ МВт, однако, в отличие от проектируемой мной, теплоносителем является пар.

Результаты расчетов сводим в общую таблицу 10.

Таблица 10. Результаты расчетов 2 вариантов.

Наименование показателя	Значение показателя	
	Вариант 1	Вариант 2
Электрическая мощность, МВт	500	500
Тепловая мощность реактора, МВт	1041,7	1515
Общие капитальные вложения в энергоблок, млрд руб	6,95	8,77
Удельные капиталовложения, руб./кВт	13894	17542
Удельный расход ядерного топлива, кг	8736,4	12707,5
Затраты на топливо, млн руб./год	519,6	755,8
Расходы на оплату труда, млн руб./год	152	152
Амортизационные отчисления, млн руб./год	277,9	350,8
Расходы на ремонт и обслуживание, млн руб./год	55,6	70,16
Прочие расходы, млн руб./год	97,2	122,8

Инь. № подл.	Подпись и дата	Инь. № дубл.	Подпись и дата
Взам. инв. №			

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.311120.001.ПЗ	31
-----	------	----------	-------	------	--------------------	----

$$T_{\text{э}} = 1,5 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}},$$

Налог на прибыль, который уплачивается электростанцией:

$$H_{\text{np}} = 0,2 \cdot \text{Пр}_{\text{б}} = 138,9 \text{ млн.руб.}$$

Чистая прибыль, остающаяся в распоряжении электростанции, после уплаты налога на прибыль:

$$\text{Пр}_{\text{ч}} = \text{Пр}_{\text{б}} - H_{\text{np}} = 555,74 \text{ млн.руб.}$$

8.5. Оценка экономической эффективности инвестиций в АЭС.

Чистый приведенный доход (ЧПД):

В соответствии с этим критерием лучшим проектом будет тот, который обеспечивает большие значения ЧПД:

$$\text{ЧПД} = \sum_{t=1}^T \frac{D_t}{(1+r)^t} - \frac{I_{\text{молл}}}{(1+r)^5} = 2531 \text{ млн.руб.},$$

где D_t - чистый доход в t -ом году существования проекта,

$$D_t = \text{Пр}_t + A_t - K_t,$$

$r = 0,12$ - отражает полную доходность проекта (ставка дискантирования).

$$r = r_{\text{б}} + r_{\text{риск}} = 6 + 6 = 12\%,$$

где $r_{\text{б}}$ - доходность государственных долговых обязательств РФ;

$r_{\text{риск}}$ - премия за риск.

где Пр_t , A_t , K_t - соответственно чистая прибыль, амортизация и инвестиции в t -ом году,

Время строительства и эксплуатации проектируемого объекта:

$$T = T_{\text{стр}} + T_{\text{эсп}} = 5 + 25 = 30 \text{ лет}$$

Значение ЧПД должно быть положительно, то есть в результате реализации проекта будет получен доход.

Чистый доход в первые 5 лет строительства энергоблока считается следующим образом:

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	где D_t – чистый доход в t-ом году существования проекта, $D_t = Pr_t + A_t - K_t,$ $r = 0,12$ - отражает полную доходность проекта (ставка дискантирования). $r = r_{\delta} + r_{риск} = 6 + 6 = 12\%,$ где r_{δ} – доходность государственных долговых обязательств РФ; $r_{риск}$ – премия за риск. где Pr_t , A_t , K_t – соответственно чистая прибыль, амортизация и инвестиции в t-ом году, Время строительства и эксплуатации проектируемого объекта: $T = T_{стр} + T_{эксп} = 5 + 25 = 30 лет$ Значение ЧПД должно быть положительно, то есть в результате реализации проекта будет получен доход. Чистый доход в первые 5 лет строительства энергоблока считается следующим образом:
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.311120.001.ПЗ
					33

8.6. Метод приведенных затрат.

Для проведения анализа инвестиционного проекта и оценки будущих денежных поступлений, широко используется метод приведенных затрат. В соответствии с этим методом лучшим будет проект,

затрат. В соответствии с этим методом лучшим будет проект, обеспечивающий минимум приведенных затрат:

$$\bar{3} = \frac{H + r \cdot K}{\mathfrak{Z}_{\text{отп}}} \rightarrow \min,$$

где I – годовые эксплуатационные издержки;

К – удельные капиталовложения в проект;

r – ставка дисконтирования, для нового строительства объекта энергетики $r=0,12$.

$$\overline{Z}_1 = \frac{1,07 \cdot 10^9 + 0,12 \cdot 13,9 \cdot 10^9}{3,75 \cdot 10^6} = 6,98 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} - \text{газоохлаждаемый реактор},$$

$$\overline{3_2} = \frac{1,4 \cdot 10^9 + 0,12 \cdot 17,5 \cdot 10^9}{3,75 \cdot 10^6} = 8,86 \frac{\text{pyб}}{\text{кВТ} \cdot \text{ч}} - \text{ВВЭР}.$$

Расчеты для энергоблока ВВЭР проведены аналогично энергоблоку с газоохлаждаемым реактором. Результаты расчетов обоих вариантов сведены в таблицу 11.

Таблица 11. Сравнительный анализ экономических показателей газохлаждаемого реактора и ВВЭР.

Расчетная величина	Газоохлаждаемый реактор	Реактор ВВЭР
Чистая прибыль $P_{\text{ч}}$, млн. руб.	555,7	494,6
Индекс рентабельности R	1,67	1,61
ЧПД, млн. руб.	2531	2246
Срок окупаемости $T_{\text{ок}}$, лет	6,25	6,19
ВНД r , %	19	18,4
Приведенные затраты Z , руб./кВт ч	6,98	8,86

Вывод: проект энергоблока с газоохлаждаемым реактором экономически выгоднее, чем энергоблок ВВЭР при одинаковых электрических мощностях блоков и одинаковых тарифах на электроэнергию.

Инв. № подл.	Подпись и дата				Взам. инв. №	Инв. № дубл.				Подпись и дата						
Изм	Лист	№ докум.		Подп.	Дата	ФЮРА.311120.001.ПЗ										36