

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: эксплуатация, проектирование и
инжиниринг
Кафедра: Атомных и тепловых электростанций

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
ПРОЕКТ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ В СОСТАВЕ ЭНЕРГОБЛОКА АЭС С ГАЗООХЛАЖДАЕМЫМ CO₂ РЕАКТОРОМ

УДК 621.311.25:621.039.52.002.5.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5012	ЖУКОВА Марина Петровна		

Руководитель

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

По разделу «Автоматизация теплоэнергетических процессов»

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

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		

г. Томск – 2017

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 профессиональных компетенций, использовать	Требования ФГОС (ОК-7 ПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов

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

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
		<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, исследовать причины его неисправностей,	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 резул ь- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	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>

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего профессионального 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

 (Дата)

 (Подпись)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
5012	ЖУКОВОЙ Марине Петровне

Тема работы:

Проект паротурбинной установки в составе энергоблока АЭС с газоохлаждаемым CO₂ реактором	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	11.11.2016., №9734/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20 января 2017 года
--	----------------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Целью работы является разработка проекта паротурбинной установки в составе энергоблока на основе газоохлаждаемого реактора, в котором в качестве теплоносителя используется CO ₂ . Исходными данными для выполнения работы являются: тепловая мощность энергоблока – 790 МВт, температуры теплоносителя на выходе/входе в реакторе – 600/390 °С, материалы преддипломной практики и данные научно-технической и учебной литературы, периодических изданий.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	- Введение. - Энергоблоки АЭС с газоохлаждаемыми реакторами (Аналитический обзор). - Тепловая схема энергоблока и выбор параметров энергоблока. - Выбор тепловой схемы энергоблока. - Выбор параметров рабочего тела ПТУ. - Расчет тепловой схемы ПТУ. - Разработка конструкции паровой турбины. - Определение структурной схемы паровой турбины. - Определение числа ступеней турбины. - Расчет проточной части турбины. - Механические расчеты элементов турбины. - Выбор вспомогательного оборудования турбинной установки. - Расчет системы технического водоснабжения с градирнями.

	7. Компоновка оборудования главного корпуса. 8. Генеральный план АС. 9. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 10. Социальная ответственность 11. Автоматизация технологических процессов и производств 12. Заключение.
Перечень графического материала	- тепловая схема энергоблока АС – 1 лист; - чертежи по конструкции паровой турбины – 3 листа; – компоновочные чертежи оборудования - 2 листа; - система технического водоснабжения – 1 лист
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	С.И. Сергейчик, доцент кафедры менеджмента
Социальная ответственность	Ю.А. Амелькович, доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности
Автоматизация теплоэнергетических процессов	В.С. Андык, доцент кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	22 июня 2016 года
---	--------------------------

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	Жукова М.П.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 130 с., 20 рис., 32 табл., 35 источников.

Перечень ключевых слов: паротурбинная установка, турбина, АЭС, тепловые схемы, алгоритм расчета, регенеративные подогреватели, экономическая эффективность, система автоматического регулирования.

Объектом исследования является паротурбинная установка АЭС.

Целью работы является разработка проекта паротурбинной установки в составе энергоблока на основе газоохлаждаемого реактора, в котором в качестве теплоносителя используется CO_2 .

В результате была рассчитана тепловая схема для данной ПТУ и система технического водоснабжения с градирнями, а также спроектирована паротурбинная установка, состоящая из трех цилиндров.

Рассмотренная паротурбинная установка имеет большое значение в энергетике. Так как экономическая эффективность данного типа АЭС делает их не только конкурентоспособными, но и по некоторым показателям превосходящими другие АЭС.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическими процессами;

АЭС – атомная электрическая станция;

БПУ – блочный пункт управления;

ВТГР – высокотемпературный газоохлаждаемый реактор;

ИМ – исполнительный механизм;

КПД – коэффициент полезного действия;

ПВД – подогреватель высокого давления;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

ПНД – подогреватель низкого давления;

ПП – пароперегреватель;

ПТУ – паротурбинная установка;

РППВ – регенеративный подогрев питательной воды;

С – сепаратор;

ЦВД – цилиндр высокого давления;

ЦНД – цилиндр низкого давления;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

ЭМП – электромагнитное поле.

					ФЮРА.311115.001 ПЗ	Лист
						13
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЭНЕРГОБЛОКИ АЭС С ГАЗООХЛАЖДАЕМЫМИ РЕАКТОРАМИ	14
2. ТЕПЛОВАЯ СХЕМА ЭНЕРГОБЛОКА И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОБЛОКА .	19
2.1. Выбор тепловой схемы энергоблока	19
2.2. Уточнение состава и параметров принципиальной расчетной тепловой схемы.....	
2.3. Расчет тепловой схемы.....	
2.4. Расчет принципиально тепловой схемы на конденсационный режим ...	
3. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ	
3.1. Предельная мощность.....	
3.2. Количество потоков в части низкого давления.....	
3.3. Определение числа ступеней турбины	
3.4. Расчет проточной части турбины	
3.5. Механический расчет элементов турбины.....	
4. ВЫБОР ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТУРБОУСТАНОВКИ.....	
4.1. Выбор подогревателей высокого давления	
5. РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ	
6. КОМПАНОВКА ОБОРУДОВАНИЯ ГЛАВНОГО КОРПУСА	
7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕ ЖЕНИЕ	79
7.1. Определение удельных капиталовложений и себестоимости электроэнергии для АЭС с ВВЭР-440.....	80
7.2. Метод приведенных затрат	88
7.3. Выводы по разделу.....	90
8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	

9. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПАРА В УПЛОТНЕНИЯХ ТУРБИНЫ.....

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

Приложение А

Приложение В.....

Приложение С.....140

ГРАФИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ:

ФЮРА.311115.002.Т6 - Развернутая тепловая схема турбоустановки К-325-17/3000.

ФЮРА.311115.003.СБ - Цилиндр высокого давления турбины К-325-17/3000.

ФЮРА.311115.004.СБ - Цилиндр среднего давления турбины К-325-17/3000.

ФЮРА.311115.005.СБ - Цилиндр низкого давления турбины К-325-17/3000.

ФЮРА.311360.006.Т6 - Обратная система технического водоснабжения с градирнями.

ФЮРА.311115.007.МЧ - Компоновка машинного отделения турбоустановки К-325-17/3000.

ФЮРА.421000.008.С2 - Система регулирования давления в уплотнениях турбины.

					ФЮРА.311115.001 ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

ВВЕДЕНИЕ

Целью дипломного проекта является разработка проекта паротурбинной установки в составе энергоблока на основе газоохлаждаемого реактора, в котором в качестве теплоносителя используется CO_2 .

Актуальность работы. АЭС с газоохлаждаемыми реакторами получили распространение на самой ранней стадии развития ядерной энергетики. Продолжительное время этот тип АЭС, занимая ведущее положение (до 60 % от всей установленной мощности мира).

Практическое значение. Проблема использования высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов в промышленности в настоящее время рассматривается как важнейшая, в связи, с чем интенсифицируются научно-исследовательские работы, а также решение инженерно-технических вопросов создания соответствующего высокотемпературного оборудования и материалов.

Инновационный характер паротурбинной установки заключается в применении промежуточного газового перегрева. В сравнении с водяным ТН (30°C для ВВЭР) перепад температуры CO_2 в реакторе существенно выше ($\sim 200^\circ \text{C}$), поэтому применение насыщенного пара одного давления привело бы к низкому давлению пара перед турбиной. Переход на генерацию пара двух давлений позволяет повысить тепловую экономичность станции, что делает их не только конкурентоспособными, но и по некоторым показателям превосходящими другие АЭС.

					ФЮРА.311115.001 ПЗ	Лист
						16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

1. ЭНЕРГОБЛОКИ АЭС С ГАЗООХЛАЖДАЕМЫМИ РЕАКТОРАМИ

Газовые теплоносители имеют большие преимущества: теплоноситель практически не активизируется, давление его может быть небольшим, коррозионная агрессивность невелика и не требует применения дорогих, коррозионностойких сталей, имеется возможность применения серийно паровых турбин, в том числе и с промежуточным перегревом. Из числа возможных газовых теплоносителей широкое применение на АЭС получила к настоящему времени только углекислота в сочетании с графитовым или тяжеловодным замедлителем, т.е. для реакторов на тепловых нейтронах. По стоимости сооружения такие атомные станции – одни из наиболее дорогих, но позволяют использовать в качестве топлива природный уран, что важно для стран, не имеющих промышленности, обогащающей уран.

Начало развития АЭС с газоохлаждаемыми реакторами относится к середине 50-х годов, когда в Великобритании и Франции было начато строительство первых опытно-промышленных атомных электростанций с газографитовыми реакторами с углекислым газом в качестве теплоносителя и твэлами из природного урана в оболочке из сплава магния — магнокса. Поэтому такие реакторы называют еще магноксовыми. В них на выходе из активной зоны температура CO_2 достигает 410°C . Для реактора этого типа была разработана технология изготовления корпусов высокого давления из предварительно напряженного железобетона (ПНЖБ), что важно для развития различных типов корпусных реакторов. Первая АЭС в Великобритании с магноксовыми реакторами «Колдер-Холл» введена в эксплуатацию в 1966 году. На станции были установлены два реактора; каждый обслуживал четыре парогенератора и две турбины мощностью по 23 МВт. При тепловой мощности реактора, равной 180 МВт, КПД станции брутто составлял 25,6 %. Станция работает на перегретом паре, турбина быстроходная.

					ФЮРА.311115.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		17

Один из больших недостатков реакторов с газовым теплоносителем – большой расход электроэнергии на перекачку газа. На атомной электростанции Колдер-Холл теплоноситель (углекислота) прокачивается через реактор газодувкой, установленной на «холодной» стороне. Температура газа на выходе из газодувки поддерживалась постоянной (135°C). Производительность газодувки регулировалась изменением частоты вращения ее ротора. В процессе работы возможно проникновение влаги в теплоноситель за счет перепада давления в части повышенного давления (1,48 МПа) по сравнению с давлением теплоносителя (0,7 МПа). Кроме того в теплоносителе возможно накопление графитовой пыли и окислов железа, поэтому около 2 % расхода теплоносителя отводится из напорной линии газодувки фильтрационную установку с возвратом к всасу газодувки. Всего в контуре содержится 25 т CO₂. Для заполнения реактора и всего первого контура газом, а также для восполнения потерь имеется хранилище теплоносителя. Углекислоту в жидком виде привозили на станцию в автоцистернах и хранят при давлении 2,46 МПа в жидком состоянии (с помощью фреонового охлаждения) в четырех резервуарах емкостью 4 т каждый. Перед поступлением в систему теплоноситель переводят в газообразное состояние и затем подают в контур под давлением 1,05 МПа.

Следующим этапом в развитии АЭС с газоохлаждаемыми реакторами явились разработанные в Великобритании усовершенствованные газоохлаждаемые реакторы (Advanced Gascooled Reactor — AGR), в которых в качестве топлива вместо естественного металлического урана используется обогащенный диоксид урана UO₂, а магниевые оболочки твэлов заменены оболочками из нержавеющей стали. Повышение температуры CO₂ выше 650—700 °C вызывает интенсивную коррозию оболочек твэлов, элементов циркуляционного контура и ПГ. Поэтому в настоящее время работы по совершенствованию реакторов AGR прекращены.

					ФЮРА.311115.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		18

Переход на генерацию пара двух давлений позволяет повысить тепловую экономичность станции. Для этого нужно найти оптимальные начальные параметры пара выгодные с технико-экономической стороны.

Применение в первых проектах Великобритании АЭС с газовыми теплоносителями хорошо освоенных к тому времени материалов оболочек ТВЭЛов типа магниокс при ограниченном давлении газа (не более 2 МПа) при использовании в активной зоне естественного урана дало возможность получить 450°C. Применение оболочек ТВЭЛов из нержавеющей стали при обогащенном уране и повышении p_1 до 5 МПа и выше дает возможность повышения t'_1 до 650 °С даже с использованием CO₂. На основании этого примем $p_1 = 4$ МПа. При увеличении температуры t'_1 до 650 °С могут рассматриваться паротурбинные циклы сверхвысоких и закритических параметров с промежуточным перегревом пара, что даст возможность ориентироваться на стандартное оборудование АЭС и возможность выбора достаточно высоких параметров перед турбиной.

Важное преимущество газоохлаждаемого реактора — возможность получения на выходе из него высокой температуры теплоносителя (до 1000°C и выше) независимо от давления в реакторе. Такая высокотемпературная теплота требуется для многих технологических процессов, например для газификации и коксования угля, конверсии метана в смесь H₂+CO, которая может быть использована для прямого восстановления железа из руды, производства аммиака, синтетического газа и т. д. На эти нужды тратится более 15% органического топлива. Поэтому в настоящее время все большее внимание уделяется созданию ЯЭУ с газоохлаждаемыми реакторами, где получают высокотемпературную теплоту. Для таких ЯЭУ наиболее подходящими оказались высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы, (ВТГР) с графитовым замедлителем и гелиевым теплоносителем,

					ФЮРА.311115.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		19

который по сравнению с другими газовыми теплоносителями обладает существенными достоинствами, особенно при высоких температурах.

Топливом служит смесь высокообогащенного урана в виде окисного или карбидного соединения. Широкое внедрение реакторов типа ВТГР связывается также с развитием ядерно-водородной энергетики, предусматривающей крупномасштабное производство электроэнергии и водорода. При этом водород сам является высококачественным топливом и ценным химическим сырьем.

Использование химически инертного гелия снимает проблему коррозии в активной зоне и во всем первом контуре. Кроме того, по возможному радиационному воздействию на окружающую среду ВТГР является наиболее безопасным типом реактора, поскольку оборудование первого контура заключается в корпусе из ПНЖБ, а высокая теплоемкость большой массы графита обеспечивает достаточно медленное и контролируемое изменение температуры активной зоны.

Вместе с тем, АЭС с ВТГР имеют и существенные недостатки:

- большой объёмный расход теплоносителя, что вызывает удорожание всего оборудования первого контура и более высокий расход на собственные нужды (в сравнении с АЭС с легководными реакторами);
- требуют сложной и дорогой технологии изготовления керамических твэлов (призматических, шаровых);
- низкая удельная мощность активной зоны (до 10 МВт/м), что на порядок меньше мощности реакторов типа ВВЭР. Это связано с тем, что газовые теплоносители имеют невысокие теплопередающие свойства.

					ФЮРА.311115.001 ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Но указанные недостатки несравнимы с преимуществами высокотемпературных АЭС, поэтому они привлекают внимание во многих странах мира.

2. ТЕПЛОВАЯ СХЕМА ЭНЕРГООБЛОКА И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГООБЛОКА

2.1. Выбор тепловой схемы энергоблока

При заданной тепловой мощности выбираем параметры пара 17 МПа и 565 °С с промежуточным его перегревом до 565 °С, на давление в конденсаторе 4,6 кПа и частоту вращения 50 Гц, в которой реализована система регенеративного подогрева питательной воды и основного конденсата, состоящая из четырех ПНД, деаэратора и двух ПВД. Из парогенератора по двум паропроводам пар подводится к двум блокам стопорно-регулирующих клапанов, установленных рядом с турбиной. Последовательное открытие клапанов реализует сопловое парораспределение. Эта турбина имеет три цилиндра – один цилиндр высокого давления, один среднего и один цилиндр низкого давления.

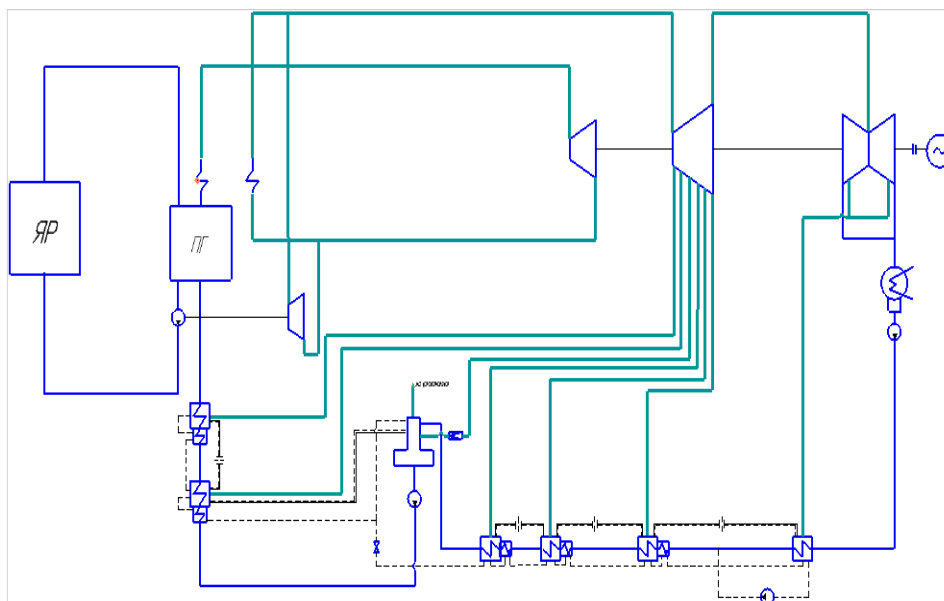


Рисунок 1 - Принципиальная тепловая схема

7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Для характеристики АЭС и эффективности ее работы используют технико-экономические показатели (ТЭП), аналогичные тем которые приняты в теплоэнергетике. К числу основных показателей относятся:

1. Себестоимость - важнейший экономический показатель работы станции. Она характеризует совокупность затрат в денежном выражении, овеществляемого и живого труда в процессе производства электроэнергии на АЭС.

2. Удельные капиталовложения в строительство АЭС или удельная стоимость установленного киловатта электрической мощности станции - это экономический показатель, влияющий не только на эффективность работы, но также и на конкурентоспособность АЭС по отношению к другим типам электростанций при планировании развития энергетики в том или ином регионе страны. На удельную себестоимость установленного киловатта влияют целый ряд факторов, таких как стоимость и цена основного оборудования, район размещения станции, принятая тепловая схема.

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

Цель экономического расчета:

— провести сравнительный анализ технико-экономических показателей для АЭС с водоохлаждаемым реактором и для АЭС с газоохлаждаемым реактором.

					ФЮРА.311115.001 ПЗ	Лист
						79
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

7.1. Определение удельных капиталовложений и себестоимости электроэнергии для АЭС с ВВЭР-440

Таблица 19 - Исходные данные ВВЭР-440

Показатель	Значение
Электрическая мощность реактора $N_{\text{э}}$, МВт	440
Количество блоков	1
Число часов использования установленной электрической мощности h , часов/год	7000

Планирование капиталовложений

Капитальные вложения в проектируемый объект можно определить, опираясь на информацию про капитальные затраты на атомных электростанциях такого типа. Если же сведения о прототипе найти не представляется возможным (проектируется экспериментальный реактор), то капитальные вложения находятся достаточно близко к эмпирическим зависимостям и могут быть определены по формулам:

$$K_{\text{яд}} = k_{\text{И}} \left[300 \cdot N_{\text{Т}}^{0,91} + 570 \cdot 10^3 \right],$$

$$K_{\text{об}} = k_{\text{И}} \left[2250 \cdot (N_{\text{э}})^{0,76} + 330 \cdot 10^3 \right].$$

где $K_{\text{яд}}$, $K_{\text{об}}$ – капитальные вложения в ядерную и обычные части блока АЭС в долларах США;

$N_{\text{Т}}$ – тепловая мощность реактора в кВт;

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

Рассчитаем тепловую мощность реактора:

$$N_{\text{Т}} = \frac{N_{\text{э}}}{\eta_{\text{бр}}} = \frac{440}{0,33} = 1,33 \cdot 10^3 \text{ МВт},$$

					ФЮРА.311115.001 ПЗ	Лист
						80
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

где $\eta_{бр}$ – КПД брутто АЭС.

В ядерную часть блока входят реактор, парогенератор, все вспомогательное оборудование к ним.

Общие капитальные вложения в блок определяются как сумма:

$$K_{бл} = (K_{яд} + K_{об}) \cdot K_{удар},$$

где $K_{удар}$ – коэффициент удорожания капиталовложений.

Если АЭС имеет несколько блоков, то капиталовложения определяются:

$$K_{АЭС} = k_{удар} (K_{яд} + K_{об}) = k_{удар} \cdot k_{II} (300 \cdot N_T^{0,91} + 570 \cdot 10^3 + 2250 \times \\ \times (N_{\gamma})^{0,76} + 330 \cdot 10^3) = 50 \cdot (300 \cdot (1333 \cdot 10^3)^{0,91} + 570 \cdot 10^3 + 2250 \times \\ \times (440 \cdot 10^3)^{0,76} + 330 \cdot 10^3) = 7\,853\,009\,130 \text{ руб.}$$

Тогда удельные капиталовложения будут равны:

$$\frac{K_{АЭС}}{N_{\gamma}} = \frac{7853009130}{440 \cdot 10^3} = 17848 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}.$$

Планирование готовности электростанции к несению нагрузки

Эксплуатационная готовность определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{гот}^{nl} = N_y t_{пер} - \sum_{i=1}^n N_{рем,i} t_{рем,i},$$

где $t_{пер}$ – планируемый период (календарный год), 8760 час,

$t_{рем,i}$ – время простоя в плановом ремонте i-го блока, 1200 час,

$N_{рем,i}$ – мощность блока, выводимого в плановый ремонт.

$$\mathcal{E}_{гот}^{nl} = 440 \cdot 10^3 \cdot 8760 - 440 \cdot 10^3 \cdot 1200 = 3\,326\,400 \text{ МВт} \cdot \text{ч.}$$

					ФЮРА.311115.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		81

Далее следует определить плановую выработку электроэнергии и плановое количество часов определенной мощности.

Для определения плановой выработки электроэнергии существует формула:

$$\mathcal{E}_{\text{выр}}^{\text{пл}} = \mathcal{E}_{\text{пл}}^{\text{зот}} K_{\text{з}},$$

где $K_{\text{з}}$ – коэффициент загрузки, учитывающий режим работы электростанции в суточном графике нагрузки. Для АЭС, работающих исключительно в базисе суточного графика, можно принять $K_{\text{з}} = 0,7 - 0,8$.

Тогда $\mathcal{E}_{\text{выр}}^{\text{пл}} = 3326400 \cdot 0,75 = 2\,494\,800 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$

Плановое количество часов эксплуатации заданной мощности можно определить как :

$$h_{\text{ус}}^{\text{пл}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{выр}}^{\text{пл}}}{N_{\text{э}}} = \frac{2494800}{440} = 5670 \text{ час}.$$

Разработка схемы управления, планирование штатов и фонда заработной платы

Общее количество персонала станции определяется умножением штатного коэффициента и установленной мощности станции.

На сегодняшний день штатный коэффициент составляет 1,3 чел/МВт.

$$N_{\text{чел}} = n_{\text{шт}} N_{\text{у}},$$

где $n_{\text{шт}}$ - штатный коэффициент.

$$N_{\text{чел}} = 1,3 \cdot 440 = 572 \text{ чел}.$$

					ФЮРА.311115.001 ПЗ	Лист
						82
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Базовый фонд заработной платы для производственного персонала определяется по формуле:

$$I_{\text{зн}}^{\text{осн}} = n_{\text{шт}} \cdot N_{\text{э}} \cdot \Phi_{\text{год}}^{\text{ср}} \cdot (1 + \alpha_{\text{пр}}),$$

где $\Phi_{\text{год}}^{\text{ср}}$ – среднегодовой фонд зарплаты на одного человека. Для АТЭЦ величина $\Phi_{\text{год}}^{\text{ср}}$ составляет 30...50 МРОТ. Так как мощность небольшая, принимаем 30% от МРОТ. МРОТ на 1 июля 2016 года составляет 7500 руб/мес.

$\alpha_{\text{пр}}$ – премиальный фонд (20...40%) от заработной платы. Принимаем 30%.

$$I_{\text{зн}}^{\text{осн}} = n_{\text{шт}} \cdot N_{\text{э}} \cdot \Phi_{\text{год}}^{\text{ср}} \cdot (1 + \alpha_{\text{пр}}) = 1,3 \cdot 440 \cdot 30 \cdot 7500 \cdot (1 + 0,3) = 167\,310\,000 \text{ руб.}$$

Кроме непосредственного фонда заработной платы существует еще один фонд, из которого оплачивают очередные отпуска и различные несвязанные с рабочим временем выплаты.

Составляет фонд дополнительной заработной платы 8% от основного зарплатного фонда.

$$I_{\text{зн}}^{\text{дон}} = (0,08...0,1) \cdot I_{\text{зн}}^{\text{осн}} = 0,09 \cdot 167\,310\,000 = 15\,057\,900 \text{ руб.}$$

Также АЭС должна выплачивать отчисления в различные внебюджетные фонды, которая составляет 30% от общего зарплатного фонда и определяется по формуле:

$$ЕСН = 0,3 \cdot (I_{\text{зн}}^{\text{дон}} + I_{\text{зн}}^{\text{осн}}) = 0,3 \cdot (167\,310\,000 + 15\,057\,900) = 54\,710\,370$$

из которых 22% подлежит перечислению в Пенсионный фонд, 5,1% - в Фонд медицинского страхования и 2,9% в Фонд социального страхования.

					ФЮРА.311115.001 ПЗ	Лист
						83
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Таким образом, можно говорить о том, что полные зарплатные издержки на оплату труда персонала станции при учете ЕСН, которые включены в себестоимость отпущенной продукции, будут составлять

$$I_{\text{зн}} = I_{\text{зн}}^{\text{доп}} + I_{\text{зн}}^{\text{осн}} + \text{ЕСН}$$

$$I_{\text{зн}} = 167310000 + 15057900 + 54710370 = 237\,078\,270 \text{ руб.}$$

Планирование стоимости первоначальной загрузки топлива и топливной составляющей себестоимости электрической и тепловой энергии, отпускаемой АЭС

Затраты станции на закупку ядерного топлива в соответствии с [31] принято рассчитывать исходя из цен, которые устанавливаются для ТВС и свежего топлива, которое поставляется на АЭС. При этом не учитывается стоимость урана и плутония, который накапливается в отработанном топливе, и расходы на химическую переработку уже отработанного топлива. В издержки на приобретение топлива для АЭС входя также и различные расходы на выдержку уже отработанного топлива во всех бассейнах АЭС. В этом случае удельная стоимость ядерного топлива за время кампании при условии однородной загрузки может быть определена по формуле:

$$\bar{I}_T = \bar{I}_{\text{исх.пр.}} + \bar{I}_{\text{об}} + \bar{I}_{\text{изг}} + \bar{I}_{\text{тр}}, \text{ руб / кг},$$

где $I_{\text{исх.пр}}$ – удельная стоимость исходного продукта (природного урана) [31];

$I_{\text{об}}$ – удельная стоимость обогащенного урана [31];

$I_{\text{изг}}$ – удельная стоимость изготовления ТВС включая стоимость конструкционных материалов [31];

$I_{\text{тр}}$ – удельная стоимость транспортировки ТВС к АЭС [32];

					ФЮРА.311115.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		84

$$\bar{I}_T = 90 + 700 + 160 + 3 = 953 \text{ долл} / \text{кг} = 60\,324,9 \text{ руб} / \text{кг}.$$

Топливная составляющая всей себестоимости электроэнергии, которая вырабатывается в турбинах по циклу теплоконденсации определяется по формуле:

$$C_m^{\text{ЭК}} = \frac{1}{24} \frac{\bar{I}_T}{\bar{B} \eta_n^{\text{КБ}}},$$

где $\bar{I}_T$ – стоимость топлива, руб/кг;

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

$\eta_n^{\text{КБ}}$ – КПД конденсационного блока (конденсационной части блока).

$$\eta_n^{\text{КБ}} = \eta_{\text{ПГ}} \cdot \eta_{\text{ТР}} \cdot \eta_{\text{ТУ}} = 0,94 \cdot 0,99 \cdot 0,375 = 0,3489.$$

$$C_m^{\text{ЭК}} = \frac{1}{24} \cdot \frac{60324,9}{40000 \cdot 0,3071} = 0,205 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{ч}.$$

Планирование издержек на ядерное горючее

Годовые издержки на топливо зависят от вида топлива, используемого в реакторах, степени его обогащения, стоимости изготовления ТВЭЛов, характера топливного цикла АЭС. Большинство АЭС в настоящее время работают по разомкнутому топливному циклу, то есть без повторного использования облученного горючего. В этом случае годовые издержки на топливо составят:

$$I_T = B_g \cdot (I_T + I_{\text{ВЫД}}),$$

$$I_T = (953 + 25) \cdot 9719,7 = 9\,505\,866,6 \text{ долл.} = 598\,869\,595,8 \text{ руб.}$$

Годовые расходы условного топлива на производство электрической и тепловой энергии соответственно равны:

$$B_g = \frac{Q_p \cdot 365 \cdot K_y}{\bar{B}} = \frac{1333 \cdot 365 \cdot \frac{7000}{8760}}{40} = 9\,719,7 \text{ кг},$$

					ФЮРА.311115.001 ПЗ	Лист
						85
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

где Q_p – тепловая мощность реактора;

$K_y - h_y/8760$ – коэффициент использования установленной мощности АЭС;

h_y – число часов использования установленной мощности;

$\bar{B}$ – средняя глубина выгорания ядерного горючего, МВт*сут/т.

Планирование издержек на заработную плату

Для того, чтобы разработать структуру управления для проектируемой электростанции, следует учитывать мощность агрегатов и технологические схемы предприятия.

$$I_{\text{зн}} = I_{\text{зн}}^{\text{доп}} + I_{\text{зн}}^{\text{осн}} + ECH$$

$$I_{\text{зн}} = 167310000 + 150057900 + 54710370 = 237\,078\,270 \text{ руб.}$$

Планирование годовых издержек на амортизацию

$$I_{\text{ам}} = \frac{K_{\text{аэс}}}{H_{\text{ам}}} = \frac{7853009130 \cdot 2,2}{100} = 172\,766\,200,86 \text{ руб.,}$$

где $H_{\text{ам}}$ – норма амортизации.

$$H_{\text{ам}} = \frac{1}{T_{\text{сл}}} \cdot 100\% = \frac{1}{45} \cdot 100 = 2,2 \%,$$

где $T_{\text{сл}}$ – срок службы станции, который равен 45 лет.

Планирование прочих расходов

Для исследуемого предприятия доля прочих расходов включает в себя вспомогательные материалы, воду, издержки на починку основного оборудования и вспомогательных механизмов, услуги других организаций и производств и т.д. составляют значительно большую часть, чем на обычных ТЭЦ. В нашем случае они составят 12%.

$$I_{\text{пр}} = 0,12 \cdot (I_{\text{зн}} + I_{\text{ам}}) = 0,12 \cdot (237078270 + 172766200,86) = 49\,181\,336,5 \text{ руб.}$$

					ФЮРА.311115.001 ПЗ	Лист
						86
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Суммарные годовые издержки на производство электроэнергии

Данный показатель определяется по формуле:

$$I_{азс} = I_T + I_{зн} + I_{ам} + I_{пр}$$

$$I_{азс} = 598\,869\,595,8 + 172\,766\,200,86 + 237\,078\,270 + 49\,181\,336,5 = 1\,057\,895\,403,16 \text{ руб.}$$

В процессе расчета отпущенной электрической энергии стоит также учесть, что на собственные нужды станция расходует от 5 до 7 процентов годовой выработки электроэнергии, что составляет:

$$\mathcal{E}_{отп}^{nl} = \mathcal{E}_{выр}^{nl} - \mathcal{E}_{сн},$$

где $\mathcal{E}_{сн}$ – расход электроэнергии на собственные нужды за год:

$$\mathcal{E}_{сн} = 0,05 \cdot \mathcal{E}_{выр}^{nl} = 0,05 \cdot 2\,494\,800 = 124\,740 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$$

$$\mathcal{E}_{отп}^{nl} = 2\,494\,800 - 124\,740 = 2\,370\,060 \text{ МВт} \cdot \text{ч.}$$

Калькуляция себестоимости электрической энергии АЭС

$$\mathcal{E}_{отп} = 2\,370\,060 \cdot 0,3445 \cdot 1000 = 8,165 \cdot 10^8 \text{ усл. кВт} \cdot \text{ч.}$$

Себестоимость электроэнергии рассчитывается по следующей формуле:

$$S_{э} = \frac{I_{азс}}{\mathcal{E}_{отп}} = \frac{1\,066\,994\,602,6}{8,165 \cdot 10^8} = 1,31 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}},$$

Таблица 20 - Сводная таблица основных технико-экономических показателей АЭС с реактором ВВЭР-440 и АЭС с газоохлаждаемым реактором

№	Показатель	Обозначение	Единицы измерения	Значение	
1.	Установленная электрическая мощность	$N_{\text{Э}}$	МВт	440	325,9
2.	Тепловая мощность	$N_{\text{Т}}$	МВт	1133	790
3.	КПД для конденсационного блока при номинальном режиме	η_n^{KB}	%	0,3489	0,4372
4.	Топливная составляющая всей себестоимости, которая вырабатывается в турбине	$C_t^{ЭК}$	руб/кВт·ч	0,205	0,163
5.	Себестоимость одного отпущенного кВт·ч	$S_{\text{э}}$	руб/кВт·ч	1,296	1,191
6.	Плановая выработка эл.энергии	$\mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{пл}}$	кВт·ч · 10 ⁹	2,5	1,8
7.	Годовой расход ядерного горючего	$B_{\text{э}}$	кг	9719,7	5760,4 2
8.	Годовое число часов использования установленной электрической мощности	h	ч/год	7000	7000
9.	Издержки на ядерное горючее	$I_{\text{Т}}$	млрд.руб.	1,1	0,72
10.	Издержки на зарплату	$I_{\text{ЗП}}$	млн.руб.	237,08	175,59
11.	Годовые издержки на амортизацию	$I_{\text{ам}}$	млн.руб.	172,77	150,42
12.	Издержки на прочие расходы	$I_{\text{пр}}$	млн.руб.	49,18	39,122
13.	Суммарные годовые издержки на производство э/э	$I_{\text{АЭС}}$	млн.руб.	624,28	528,11
14.	Отпуск электроэнергии	$\mathcal{E}_{\text{отп}}$	усл. кВт·ч · 10 ⁸	8,165	6,048
15.	КПД по отпуску электроэнергии	η	%	33	41,5
16.	Капитальные затраты	$K_{\text{аэс}}$	млрд.руб	7,8	5,3
17.	Удельные капитальные затраты	$K_{\text{уд}}$	руб/кВт	17848	16195
18.	Штатный коэффициент	$n_{\text{экс}}$	чел/МВт	1,3	1,3

7.2. Метод приведенных затрат

Очень часто при анализе инвестиционных проектов в энергетике не представляется возможным с приемлемой точностью сделать оценку будущих денежных поступлений, вместе с тем строительство данного объекта энергетики является необходимым условием. В этом случае широкое применение нашла группа методов затратной эффективности, наибольшее распространение из которых получил метод приведенных затрат. В соответствии с этим методом лучшим будет проект,

					ФЮРА.311115.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		88

обеспечивающий минимум приведенных затрат:

$$\bar{З} = \frac{И + r \cdot K}{Э_{отп}} \rightarrow \min,$$

где И – годовые эксплуатационные издержки;

К – удельные капиталовложения в проект;

r – ставка дисконтирования, для нового строительства объекта энергетики

r=0,1-0,12.

$$\bar{З}_1 = \frac{1,1 \cdot 10^9 + 0,1 \cdot 7,8 \cdot 10^9}{8,165 \cdot 10^8} = 2,3 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

$$\bar{З}_2 = \frac{0,72 \cdot 10^9 + 0,1 \cdot 5,3 \cdot 10^9}{6,048 \cdot 10^8} = 2,1 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

Экономическая эффективность:

$$Э_{\text{год}} = (\bar{З}_1 - \bar{З}_2) \cdot Э_{\text{отп}2} = (2,3 - 2,1) \cdot 6,048 \cdot 10^8 = 1,2 \cdot 10^8 \frac{\text{руб}}{\text{год}}.$$

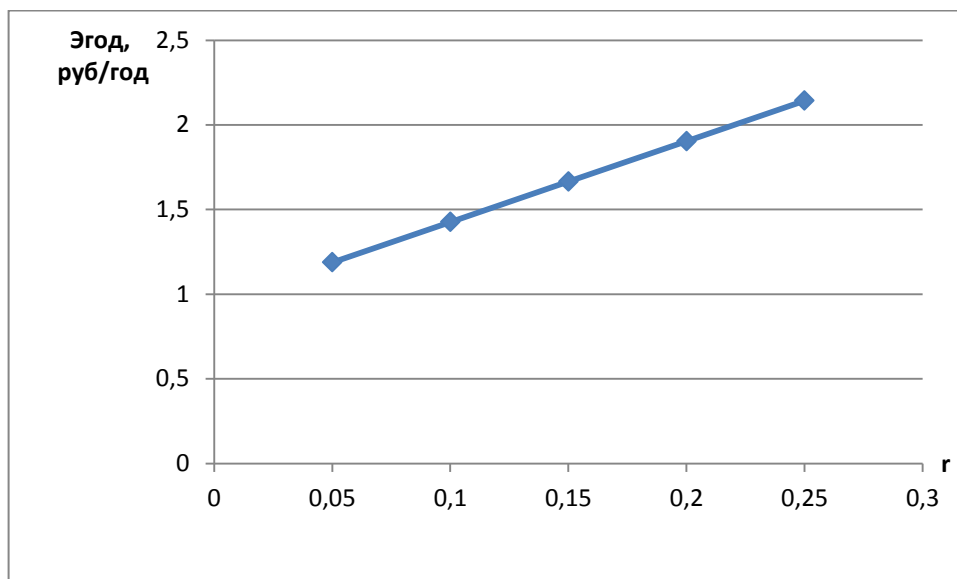


Рисунок 18 - График зависимости экономической эффективности от ставки дисконтирования

7.3. Выводы по разделу:

Таким образом, себестоимость производства электроэнергии на АЭС с реактором ВВЭР-440 ($1,296 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$) больше себестоимости производства электроэнергии на АЭС с газоохлаждаемым реактором ($1,191 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$). Себестоимость производства электроэнергии является важным критерием экономичности, но КПД АЭС с газоохлаждаемым реактором также значительно превышает КПД АЭС с реактором ВВЭР-440, что делает их не только конкурентоспособными, наиболее экономичными АЭС, но и по некоторым показателям превосходящими другие АЭС. Это ставит данный тип АЭС в ряд весьма перспективных для дальнейшего развития ядерной энергетики.

					ФЮРА.311115.001 ПЗ	Лист
						90
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		