

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

Институт: Энергетический
Специальность: 140502 Атомные станции: эксплуатация, проектирование и инжиниринг
Кафедра: Атомных и тепловых электростанций

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Тема работы

**Проект тяжеловодного ядерного реактора в составе энергоблока электрической
мощностью 500МВт**

УДК 621.311.25:621.039.534.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5011	Е.В. Аристов		

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 технологических процессов и производств»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры автоматизации технологических 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		

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»

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 EUR-ACE и FEANI
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 EUR-ACE и FEANI
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 EUR-ACE и FEANI
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 EUR-ACE и

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
		FEANI
P5	Осознавать необходимость и демонстрировать способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни, непрерывному самосовершенствованию, развитию социальных и профессиональных компетенций, использовать полученные знания для обучения и воспитания новых кадров	Требования ФГОС (ОК-7 ПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
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 EUR-ACE и FEANI
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 EUR-ACE и FEANI
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 EUR-ACE и FEANI

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	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 EUR-ACE и FEANI
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 EUR-ACE и FEANI
P11	Проводить инновационные 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 EUR-ACE и FEANI
P12	Анализировать и использовать научно-техническую информацию, формулировать цели проекта, ставить и решать инновационные задачи комплексного 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 EUR-ACE и FEANI
P13	Выбирать, создавать и использовать оборудование атомных электрических станций и ядерных энергетических	Требования ФГОС (ОПК-3, ПК-18), Критерий 5 АИОР (п.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	установок, средства измерения теплофизических параметров и автоматизированного управления, защиты и контроля технологических процессов	1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
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 инновационные инженерные проекты с применением базовых 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 EUR-ACE и FEANI
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 EUR-ACE и FEANI
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 EUR-ACE и FEANI
P17	Делать оценку ядерной и радиационной	Требования ФГОС (ПК-

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	безопасности при эксплуатации ядерных энергетических установок, а также при обращении с ядерным топливом и другими отходами	29), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
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 EUR-ACE и FEANI
P19	Анализировать технологии монтажа, ремонта и демонтажа оборудования АС применительно к условиям сооружения, эксплуатации и снятия с эксплуатации энергоблоков АС	Требования ФГОС (ПК-13,14), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P20	Осуществлять и анализировать технологическую деятельность как объект управления, организовывать рабочие места, обеспечивать их техническое оснащение, размещать технологическое оборудование, контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживать технологическое оборудование, исследовать причины его неисправностей, принимать меры по их устранению	Требования ФГОС (ПСК-1.9), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
P21	Составлять техническую документацию и организовывать экспертизу технической документации, составлять установленную отчетность по утвержденным формам, управлять малыми коллективами исполнителей, планировать работу персонала и фонды оплаты труда	Требования ФГОС (ПСК-1.9), Критерий 5 АИОР (пп. 2.2, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P22	Выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов ядерных энергетических установок, проводить анализ производственных затрат на обеспечение необходимого качества продукции	Требования ФГОС (ПСК-1.11), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P23	Составлять и использовать тепловые схемы и математические модели процессов и аппаратов ядерно-энергетических и тепломеханических установок различных типов АС, готовить исходные данные для расчета тепловых схем	Требования ФГОС (ПСК-1.1, 1.3, 1.7), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P24	Проводить физические эксперименты на этапах физического и энергетического пуска энергоблока с целью определения нейтронно-физических параметров реакторной установки и АС в целом	Требования ФГОС (ПСК-1.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P25	Применять на практике принципы организации эксплуатации современного оборудования и приборов АС, понимать	Требования ФГОС (ПК-8, ПСК-1.12, 1.13), Критерий 5 АИОР (п.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	принципиальные особенности стационарных и переходных режимов реакторных установок и энергоблоков и причины накладываемых ограничений при нормальной эксплуатации, при её нарушениях, при ремонте и перегрузках	1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Энергетический

Специальность: 140502 Атомные станции: эксплуатация, проектирование и
инжиниринг

Кафедра: Атомных и тепловых электростанций

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой АТЭС ЭНИН

А.С. Матвеев

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломная работа

(бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	Ф.И.О.
5011	Аристову Евгению Викторовичу

Тема работы:

Проект тяжеловодного ядерного реактора в составе энергоблока электрической мощностью 500МВт	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	11.11.2016г №9734/с
Срок сдачи студентом выполненной работы:	20 января 2017 года

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Целью работы является разработка проекта энергоблока АЭС с тяжеловодным реактором, имеющим определенные преимущества перед другими типами реакторов. Исходными данными для выполнения работы являются электрическая мощность энергоблока, заданный замедлитель в реакторе на тепловых нейтронах – тяжелая вода, а также материалы преддипломной практики и данные научно-технической и учебной литературы, периодических изданий.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и	1. Введение. 2. Реакторы на тепловых нейтронах с

разработке вопросов	тяжеловодным замедлителем: преимущества и недостатки. Область применения. 3. Тепловая схема ядерной энергетической установки и выбор параметров. 4. Разработка конструкции тяжеловодного реактора. 5. Системы безопасности реакторного отделения 6. Компоновка оборудования реакторной установки. 7. Техничко-экономические показатели энергоблока АС 8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 9. Социальная ответственность 10. Заключение.
Перечень графического материала	1. тепловая схема энергоблока АС – 1 лист; 2. чертежи по конструкции реактора (реактор в разрезах, тепловыделяющая сборка, узлы) – 2 листа; 3. схемы систем безопасности реакторной установки - 2 листа; 4. компоновка реакторного отделения – 1 лист

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

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

Задание выдал руководитель:

Должность	Ф.И.О	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АТЭС	Беляев Л.А.	к.т.н., доцент		22.06.16

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
--------	-----	---------	------

5011	Аристов Евгений Викторович		22.06.16
------	----------------------------	--	----------

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5011	Аристов Евгений Викторович

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 тяжеловодного ядерного реактора в составе энергоблока электрической мощностью 500МВт Объект исследования: реакторный цех.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов: физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; действие фактора на организм человека; приведение допустимых норм с необходимой размерностью; 1.2. Анализ выявленных опасных: механические опасности; термические опасности (источники, средства защиты); электробезопасность .	
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 случая 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	24.10.16
--	----------

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
5011	Аристов Евгений Викторович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5011	Аристову Евгению Викторовичу

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»:	
Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических
Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы расходования ресурсов
Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления на социальные нужды с основной и дополнительной заработной платы (31,7%)
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценка коммерческого потенциала проведения НИ с позиции ресурсоэффективности.
Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование и формирование бюджета научных исследований
Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение экономической эффективности исследования
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.10.16
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	С.И. Сергейчик	к.т.н., доцент		10.10.16

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5011	Аристов Евгений Викторович		10.10.16

Реферат

Выпускная квалификационная работа 137 с., 17 рис., 21 табл., 33 источников, 1 прил.

Ключевые слова: реактор, тяжеловодный, замедлитель тяжёлая вода, тепловые нейтроны, энергоблок АЭС.

Объект исследования: ядерный реактор использующий в качестве замедлителя тяжёлую воду.

Цель работы – разработка проекта энергоблока АЭС с тяжеловодным реактором, имеющим определенные преимущества перед другими типами реакторов.

В ходе работы были рассчитаны: КПД блока по отпуску электроэнергии , коэффициенты размножения на горячее и холодное состояние, произведено вычисление мощностного и температурного эффектов.

Экономическая эффективность/значимость работы: в работе приведён условный расчёт себестоимости кВт/ч на реакторе с тяжеловодным замедлителем.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.693100.001.ПЗ		50		

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	19
1.Реакторы на тепловых нейтронах с тяжеловодным замедлителем	20
2.Тепловая схема ядерной энергетической установки и выбор параметров.....	22
2.1.Определение исходных данных.....	22
2.2.Расчёт тепловой схемы	24
2.3.Построение процесса расширения пара в турбине в h-s диаграмме.....	28
2.4.Составление сводной таблицы параметров воды и пара	30
2.5.Составление уравнения материальных и тепловых балансов.....	34
3.Теплогидравлический расчёт реактора	40
3.1.Определение размеров активной зоны	40
3.2.Определение общего расхода теплоносителя через реактор и отдельные каналы активной зоны	43
3.3.Распределение основных теплотехнических параметров теплоносителя по длине канала	47
4.Нейтронно-физический расчёт реактора	50
4.1.1.Определение объёмных долей компонентов активной зоны	50
4.1.2.Определение ядерных плотностей нуклидов	53
4.1.3.Определение температуры нейтронного газа	56
4.1.4.Определение энергии сшивки между спектрами замедляющихся и тепловых нейтронов.....	58
4.1.5.Вычисление микроскопических сечений реакций усреднённых по спектру Максвелла и приведённых к температуре нейтронного газа	63
4.1.6.Расчёт формулы четырёх сомножителей.....	67
4.1.7.Определение миграционных характеристик	71
4.1.8.Определение эффективного коэффициента размножения	72
4.2. Оценка температурного эффекта реактивности	73
4.2.1.Коэффициент размножения в бесконечной среде для «горячего» реактора.....	73
4.2.2.Определение миграционных характеристик «горячего» реактора	77
4.2.3.Определение эффективного коэффициента размножения «горячего» реактора	78

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

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

4.3.Оценка мощностного эффекта реактивности	80
4.3.1.Определение эффективной температуры топлива	80
4.3.2. Эффективный коэффициент размножения для реактора работающего на мощности.....	84
4.4.Расчёт параметров размножающей среды для горячего реактора на конец кампании	85
5.Системы безопасности реакторного отделения	91
6.Социальная ответственность	96
7.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсо сбережение	97
Заключение.....	108
Список использованных источников	109

ФЮРА.693100.002 ВО Тепловая схема энергоблока АЭС с тяжеловодным реактором

ФЮРА.693100.003 СБ тяжеловодный реактор

ФЮРА.693100.004 СБ Тепловыделяющая сборка тяжеловодного реактора

ФЮРА.693100.005 ВО системы безопасности в реакторном отделении

ФЮРА.693100.006 МЧ План расположения оборудования в реакторном отделении

ФЮРА.421000.007 С2 Система регулирование уровня в парогенераторе

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	ФЮРА.693100.004 СБ Тепловыделяющая сборка тяжеловодного реактора				
					ФЮРА.693100.005 ВО системы безопасности в реакторном отделении				
					ФЮРА.693100.006 МЧ План расположения оборудования в реакторном отделении				
					ФЮРА.421000.007 С2 Система регулирование уровня в парогенераторе				

ВВЕДЕНИЕ

Атомная электростанция – это промышленное предприятие, являющееся частью топливно-энергетического комплекса (ТЭК) России. В свою очередь ТЭК – это отрасль промышленности, обеспечивающая топливом и энергией хозяйство страны и ее население. Назначение АЭС – производство электроэнергии при параллельной работе с остальными электростанциями ТЭК.

В настоящее время АЭС вырабатывает примерно 16 процентов электроэнергии в нашей стране. Несмотря на относительно долгое время строительства АЭС, себестоимость вырабатываемой электроэнергии на атомной станции гораздо ниже по сравнению с тепловыми электростанциями, использующими органическое топливо. Кроме того, на АЭС отсутствуют выбросы в атмосферу. Учитывая данные факторы в современных реалиях все большее внимание уделяется развитию атомной энергетики в России.

Определяющим фактором для АЭС является выбор реактора, на котором она будет работать. В нашей стране на промышленных АЭС применяются три вида реакторов: уран-графитовый канальный с кипящим теплоносителем (РБМК), легководный с не кипящим теплоносителем (ВВЭР) и реактор на быстрых нейтронах использующий жидкометаллический теплоноситель (РБН). О преимуществах и недостатках каждого из них уже давно известно, однако, в эру зарождения промышленной атомной энергетики всё это было лишь в теории, и рассматривались множество разных вариантов реакторов. Канадские учёные выбрали реактор с тяжеловодным замедлителем и теплоносителем, который получил название CANDU.

причина для проектирования реакторов с разделенным замедлителем и топливом, а не с использованием более однородной смеси из двух материалов.

В качестве аналога выбрана наиболее распространенная в мире цепочка тяжеловодных реакторов CANDU, это тяжеловодные каналные реакторы работающие на керамическом топливе UO_2 с природным обогащением. Тяжёлой вода, которая является одновременно и замедлителем и отражателем находится в горизонтальном баке каландрии. Топливные каналы так же располагаются горизонтально, представляя из себя две трубы(внешняя и внутренняя), между которыми находится газовый зазор из углекислого газа, это сделано, для того чтобы как можно меньше тепла передавалось в замедлитель, так же, для поддержания температуры в замедлителе используется специальный контур охлаждения. Благодаря этому температуры замедлителя не превышает $70^{\circ}C$, что позволяет находится ему в баке при атмосферном давлении, что в свою очередь уменьшает металлоёмкость внешнего корпуса. Обе трубы сделаны из циркалоя, который имеет малое сечение поглощения. В канале располагаются 19 тепловыделяющих сборок длиной 495мм. В каждой ТВС содержится 37 твэлов расположенный в концентрической решётке. Из-за малого содержания ^{235}U топливо имеет малую глубину выгорания и как следствие менять его приходится чаще, чем в реакторах работающих на обогащённом уране, но благодаря тому, что реактор каналный перегрузка топлива производится без остановки реактора. Управляющие органы тяжеловодного реактора располагаются вертикально[1,3].

Инв. № подл.	Подпись и дата				Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.	
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.693100.001.ПЗ				55

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В дипломе рассмотрен проект тяжеловодного реактора мощностью в 500 МВт, реакторы подобного типа в нашей стране не применяются, поэтому для оценки его экономического потенциала будем сравнивать его с реактором легководным реактором мощности, в нашей стране наиболее близким по параметрам является ВВЭР-440.

Для тяжёловодного реактора стоит отметить некоторые его принципиальные отличия от легководных реакторов ВВЭР, используемых в нашей стране.

Тяжеловодный реактор является канальным, а значит перегрузка топлива в нём производится без остановки, так же за счёт нейтронно-физических свойств тяжёлой воды, которая используется в этом реакторе как теплоноситель и замедлитель в нём возможно использования природного уран в качестве топлива без обогащения.

Однако использование тяжёлой воды повышает стоимость капиталовложений в станцию, из всей стоимости блока, на тяжёлую воду тратится 11%[17]. При проведении оценочного расчёта, предположим, что стоимость тяжеловодного реактора без учёта тяжёлой воды и реактора ВВЭР такой же мощности примерно одинаковы.

Так же стоит отметить, что необогащённое топливо имеет гораздо меньшую глубину выгорания, а значит и расход топлива за год будет больше чем у реактора на лёгкой воде.

Инв. № подл.	Подпись и дата			
	Инв. № дубл.			
	Взам. инв. №			
Инв. № подл.	Подпись и дата			
	Инв. № дубл.			
	Взам. инв. №			
теплоноситель и замедлитель в нём возможно использования природного уран в качестве топлива без обогащения. Однако использование тяжёлой воды повышает стоимость капиталовложений в станцию, из всей стоимости блока, на тяжёлую воду тратится 11%[17]. При проведении оценочного расчёта, предположим, что стоимость тяжеловодного реактора без учёта тяжёлой воды и реактора ВВЭР такой же мощности примерно одинаковы. Так же стоит отметить, что необогащённое топливо имеет гораздо меньшую глубину выгорания, а значит и расход топлива за год будет больше чем у реактора на лёгкой воде.				
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ФЮРА.693100.001.ПЗ				56

Эксплуатационные издержки для легководного реактора с электрической мощностью в 500 МВт

Себестоимости электроэнергии:

$$S_{\text{АЭС}} = \frac{I_{\text{АЭС}}}{\mathcal{E}_{\text{отп}}},$$

где $\mathcal{E}_{\text{отп}}$ – отпущенная потребителю электроэнергия за год;

$I_{\text{АЭС}}$ – эксплуатационные издержки.

Ежегодные эксплуатационные издержки:

$$I_{\text{АЭС}} = I_{\text{Т}} + I_{\text{А}} + I_{\text{ЗП}} + I_{\text{ТР}} + I_{\text{ПР}},$$

где $I_{\text{Т}}$ – издержки на топливо;

$I_{\text{А}}$ – амортизационные отчисления;

$I_{\text{ЗП}}$ – заработная плата;

$I_{\text{ТР}}$ – текущий ремонт;

$I_{\text{ПР}}$ – прочие издержки.

Годовые издержки на топливо для АЭС, работающей по разомкнутому циклу:

$$I_{\text{Т}} = B_{\text{ГОД}} \cdot (C_{\text{Т}} + C_{\text{ВЫД}}),$$

где $B_{\text{ГОД}}$ – годовой расход ядерного топлива;

$C_{\text{Т}}$ – цена 1 кг ядерного топлива с заданной степенью обогащения с учетом стоимость изготовления ТВЭЛов и транспортных расходов;

$C_{\text{ВЫД}} = 25 \text{ долл} / \text{кг} U$ – стоимость выдержки отработавшего ядерного топлива в бассейнах выдержки АЭС[15].

Годовой расход ядерного топлива:

$$B_{\text{год}}^{a.з} = \frac{Q_{\text{Т}} \cdot 365 \cdot K_{\text{у}}}{B},$$

где $Q_{\text{Т}}$ – тепловая мощность реактора;

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

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.693100.001.ПЗ

57

$K_y = 0,8496$ – коэффициент использования установленной мощности

АЭС;

$\bar{B} = 28,6 (МВт \cdot сут) / кг$ – глубина выгорания ядерного топлива.

$$B_{200}^{a.3} = \frac{1613 \cdot 365 \cdot 0,8496}{28,6} = 17489,43 \text{ кг/год.}$$

Цена обогащенного урана равна:

$$C_x = C_c \cdot \frac{x-y}{c_0-y} + \left[(2x-1) \cdot \ln \left(\frac{x}{1-x} \right) + \frac{x-y}{c_0-y} \cdot (2y-1) \cdot \ln \left(\frac{y}{1-y} \right) - \right. \\ \left. - \frac{x-y}{c_0-y} \cdot (2c_0-1) \cdot \ln \left(\frac{c_0}{1-c_0} \right) \right],$$

где $C_c - 100,45 \text{ долл/кг} \cdot U$ оптовая цена 1 кг природного топлива в виде гексафторида [2];

$x = 3,5\%$ обогащение топлива в активной зоне;

$y = 0,3\%$ концентрация делящегося материала в отвальном сырье;

$c_0 = 0,71\%$ содержание делящегося материала в природном сырье.

Подставляем значения и находим:

$$C_x = 100,45 \cdot \frac{0,035-0,003}{0,0071-0,003} + \left[(2 \cdot 0,035-1) \cdot \ln \left(\frac{0,035}{1-0,035} \right) + \frac{0,035-0,003}{0,0071-0,003} \times \right. \\ \left. \times (2 \cdot 0,003-1) \cdot \ln \left(\frac{0,003}{1-0,003} \right) - \frac{0,035-0,003}{0,0071-0,003} \cdot (2 \cdot 0,0071-1) \cdot \ln \left(\frac{0,0071}{1-0,0071} \right) \right] = \\ = 794,1 \text{ долл/кг } U.$$

В общей стоимости производства топлива из диоксида урана, 9 % приходится на изготовление таблеток, а 88 % на производство гексафторида урана и его обогащение [15]. Следовательно, удельная цена изготовления таблеток UO_2 составит:

$$C_{UO_2} = \frac{C_x \cdot 0,09}{0,88} = \frac{794,1 \cdot 0,09}{0,88} = 81,2 \text{ долл/кг } U.$$

С учётом операций по снаряжению ТВЭЛов и контролю герметичности, а также сборки кассет и проверки изделия в сборе полная

Инв. № подл.	Подпись и дата	$c_0 = 0,71\%$ содержание делящегося материала в природном сырье.				
		Подставляем значения и находим:				
Инв. № дубл.	Подпись и дата	$C_x = 100,45 \cdot \frac{0,035 - 0,003}{0,0071 - 0,003} + \left[(2 \cdot 0,035 - 1) \cdot \ln \left(\frac{0,035}{1 - 0,035} \right) + \frac{0,035 - 0,003}{0,0071 - 0,003} \times \right. \\ \times (2 \cdot 0,003 - 1) \cdot \ln \left(\frac{0,003}{1 - 0,003} \right) - \frac{0,035 - 0,003}{0,0071 - 0,003} \cdot (2 \cdot 0,0071 - 1) \cdot \ln \left(\frac{0,0071}{1 - 0,0071} \right) \Bigg] = \\ = 794,1 \text{ долл/кг U.}$				
		В общей стоимости производства топлива из диоксида урана, 9 % приходится на изготовление таблеток, а 88 % на производство гексафторида урана и его обогащение [15]. Следовательно, удельная цена изготовления таблеток UO_2 составит:				
Инв. № дубл.	Подпись и дата	$C_{UO_2} = \frac{C_x \cdot 0,09}{0,88} = \frac{794,1 \cdot 0,09}{0,88} = 81,2 \text{ долл/кг U.}$				
		С учётом операций по снаряжению ТВЭЛов и контролю герметичности, а также сборки кассет и проверки изделия в сборе полная				
Инв. № подл.	Подпись и дата				ФЮРА.693100.001.ПЗ	58
		Изм	Лист	№ докум.		

стоимость изготовления ТВЭЛов, отнесенная к 1 кг U, составляет 80 долл/кг U для ТВЭЛов в циркониевых оболочках. Издержки, связанные с транспортировкой и хранением отработанного ядерного топлива, $C_{OAT} \approx 60$ долл/кг ОЯТ [15].

Удельная цена свежего уранового топлива для активной зоны составит:

$$C_T = C_x + C_{UO_2} + C_{об} + C_{OAT} = 794,1 + 81,2 + 80 + 60 = 1111 \text{ долл/кг U.}$$

$$I_T = 17489,43 \cdot (1015,3 + 25) = 18,19 \cdot 10^6 \text{ долл.} = 1,09 \cdot 10^9 \text{ руб.}$$

(Курс доллара по ЦБ РФ на 9 января 2016 г. 1 долл. = 60,2 руб.)

Амортизационные отчисления:

$$I_A = \frac{H_A}{100} \cdot K_{AЭС},$$

где $H_A = 7\%$ – норма амортизации основных фондов АЭС;

$K_{AЭС}$ – капиталовложения в станцию.

$$K_{AЭС} = K_{уд} \cdot N_{AЭС},$$

где $N_{AЭС} = 500 \cdot 10^3 \text{ кВт}$ – установленная мощность АЭС;

$K_{уд}$ – удельная величина капиталовложений, по расчетам Агентства по ядерной энергетике ОЭСР (The OECD Nuclear Energy Agency's (NEA))[16] на 2009 год, $K_{уд} = 3850 \text{ долл / кВт} = 110842 \text{ руб / кВт}$ (перевод осуществлён по курсу на 2009, 1 долл. = 28,79 руб.)[18].

Для оценки прибыльности реактора, будем использовать одноставочные тарифы на 2017 год, а значит, предположим, что реактор уже введён в эксплуатацию. Среднее время постройки ВВЭР-440 4,5 года, примем время постройки для реакторов с мощностью 500 МВт в 5 лет, и значит время начала строительства 2012 год. Официальная инфляция с 2009 на 2012 годы составила 25,57%[20].

$$K_{AЭС} = 110842 \cdot 500 \cdot 10^3 \cdot 1,2557 = 69,592 \cdot 10^9 \text{ руб.,}$$

Инв. № подл.	Подпись и дата			
	Инв. № дубл.			
	Взам. инв. №			
	Подпись и дата			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ФЮРА.693100.001.ПЗ				
59				

$$I_A = \frac{7}{100} \cdot 69,592 \cdot 10^9 = 4,871 \cdot 10^9 \text{ руб.}$$

При калькуляции себестоимости энергии учитывается зарплата всего производственного персонала станции. Годовой фонд зарплаты производственного персонала станции $I_{3П}$ рассчитывается на основе выражения:

$$I_{3П} = I_{3П}^{ДОП} + I_{3П}^{ОСН} + ЕСН,$$

где $I_{3П}^{ОСН}$ – основной годовой фонд заработной платы производственного персонала АЭС;

$I_{3П}^{ДОП}$ – фонд дополнительной заработной платы;

$ЕСН$ – единый социальный налог.

$$I_{3П}^{ОСН} = K_{П} \cdot \overline{\Phi}_{3П} \cdot 12,$$

где $K_{П}$ – количество промышленно производственного персонала, примем $K_{П} = 250$ человек;

$\overline{\Phi}_{3П}$ – средняя заработная плат, примем $\overline{\Phi}_{3П} = 70000$ руб.

$$I_{3П}^{ОСН} = 250 \cdot 70000 \cdot 12 = 210 \cdot 10^6 \text{ руб.}$$

Из фонда дополнительной заработной платы осуществляется оплата очередных отпусков и другие выплаты, не связанные с рабочим временем. Фонд дополнительной заработной платы обычно определяется в процентах (8-10%) от фонда основной заработной платы:

$$I_{3П}^{ДОП} = 0,09 \cdot I_{3П}^{ОСН} = 0,09 \cdot 210 \cdot 10^6 = 18,9 \cdot 10^6 \text{ руб.}$$

Полный фонд заработной платы, который включает в себя $I_{3П}^{ОСН}$ и $I_{3П}^{ДОП}$ является объектом налогообложения единым социальным налогом (ЕСН), ставка которого составляет 30%. Он включает в себя 22% отчислений в Пенсионный фонд, 5,1% - в Фонд обязательного медицинского страхования и 2,9% в Фонд социального страхования.

$$ЕСН = 0,3 \cdot (I_{3П}^{ОСН} + I_{3П}^{ДОП}) = 0,3 \cdot (210 \cdot 10^6 + 18,9 \cdot 10^6) = 68,67 \cdot 10^6 \text{ руб.,}$$

Инв. № подл.	Подпись и дата					
	Инв. № дубл.					
Взам. инв. №	Подпись и дата					
	Инв. № дубл.					
$\overline{\Phi}_{3П}$ – средняя заработная плат, примем $\overline{\Phi}_{3П} = 70000 \text{ руб.}$ $I_{3П}^{ОСН} = 250 \cdot 70000 \cdot 12 = 210 \cdot 10^6 \text{ руб.}$ Из фонда дополнительной заработной платы осуществляется оплата очередных отпусков и другие выплаты, не связанные с рабочим временем. Фонд дополнительной заработной платы обычно определяется в процентах (8-10%) от фонда основной заработной платы: $I_{3П}^{ДОП} = 0,09 \cdot I_{3П}^{ОСН} = 0,09 \cdot 210 \cdot 10^6 = 1,89 \cdot 10^6 \text{ руб.}$ Полный фонд заработной платы, который включает в себя $I_{3П}^{ОСН}$ и $I_{3П}^{ДОП}$ является объектом налогообложения единым социальным налогом (ЕСН), ставка которого составляет 30%. Он включает в себя 22% отчислений в Пенсионный фонд, 5,1% - в Фонд обязательного медицинского страхования и 2,9% в Фонд социального страхования. $ЕСН = 0,3 \cdot (I_{3П}^{ОСН} + I_{3П}^{ДОП}) = 0,3 \cdot (210 \cdot 10^6 + 18,9 \cdot 10^6) = 68,67 \cdot 10^6 \text{ руб.,}$						
Инв. № подл.	Подпись и дата					
	Инв. № дубл.					
	Взам. инв. №					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.693100.001.ПЗ	60

$$I_{3П} = 210 \cdot 10^6 + 18,9 \cdot 10^6 + 68,67 \cdot 10^6 = 0,297 \cdot 10^9 \text{ руб.}$$

Текущий ремонт:

$$I_{ТР} = 0,2 \cdot I_A = 0,2 \cdot 4,871 \cdot 10^9 = 0,974 \cdot 10^9 \text{ руб.}$$

Прочие издержки:

$$I_{ПР} = 0,35 \cdot I_A = 0,35 \cdot 4,871 \cdot 10^9 = 1,705 \cdot 10^9 \text{ руб.}$$

Ежегодные эксплуатационные издержки:

$$I_{АЭС} = 1,095 \cdot 10^9 + 7,322 \cdot 10^9 + 0,298 \cdot 10^9 + 0,974 \cdot 10^9 + 1,705 \cdot 10^9,$$

$$I_{АЭС} = 8,944 \cdot 10^9 \text{ руб.},$$

Определим отпуск за год электроэнергии потребителю:

$$\mathcal{Q}_{отп} = Q_T \cdot \eta_{\text{нетто}}^{АЭС} \cdot h_y,$$

где h_y – число часов использования установленной мощности;

$\eta_{\text{нетто}}^{АЭС}$ – КПД станции.

$$h_y = K_y \cdot 8760 = 0,8496 \cdot 8760 = 7442 \text{ час},$$

$$\mathcal{Q}_{отп} = Q \cdot h_y = 500 \cdot 7442 = 3,84 \cdot 10^6 \text{ МВт.}$$

Эксплуатационная составляющая себестоимости электроэнергии:

$$S_{АЭС} = \frac{8,944 \cdot 10^9}{3,84 \cdot 10^9} = 2,4 \frac{\text{руб}}{\text{кВт.ч.}}$$

Эксплуатационные издержки тяжеловодного реактора с электрической мощностью 500 МВт

Годовые издержки на топливо для АЭС:

$$I_T^T = B_{ГОД} \cdot (C_T + C_{ВЫД}),$$

где $C_{ВЫД} = 25 \text{ долл} / \text{кг} U$ – стоимость выдержки отработавшего ядерного топлива в бассейнах выдержки АЭС,.

Годовой расход ядерного топлива:

Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ФЮРА.693100.001.ПЗ				61

$$B_{\text{год}}^{a.3} = \frac{Q_T \cdot 365 \cdot K_y^T}{\bar{B}},$$

где Q_T – тепловая мощность реактора,

K_y^T – коэффициент использования установленной мощности АЭС;

$\bar{B} = 8(\text{МВт} \cdot \text{сут})/\text{кг}$ – глубина выгорания ядерного топлива для естественного урана[21].

$$B_{\text{год}}^{a.3} = \frac{1613 \cdot 365 \cdot 0,95}{8} = 69913,47 \text{ кг/год.}$$

Цена обогащенного урана равна:

$$C_x^T = C_c \cdot \frac{x-y}{c_0-y} + \left[(2x-1) \cdot \ln\left(\frac{x}{1-x}\right) + \frac{x-y}{c_0-y} \cdot (2y-1) \cdot \ln\left(\frac{y}{1-y}\right) - \frac{x-y}{c_0-y} \cdot (2c_0-1) \cdot \ln\left(\frac{c_0}{1-c_0}\right) \right],$$

где $x = 0,72\%$ – обогащение топлива в активной зоне.

Подставляем значения и находим:

$$C_x^T = 100,45 \cdot \frac{0,0071-0,003}{0,0071-0,003} + \left[(2 \cdot 0,0071-1) \cdot \ln\left(\frac{0,0071}{1-0,0071}\right) + \frac{0,0071-0,003}{0,0071-0,003} \times \right. \\ \left. \times (2 \cdot 0,003-1) \cdot \ln\left(\frac{0,003}{1-0,003}\right) - \frac{0,0071-0,003}{0,0071-0,003} \cdot (2 \cdot 0,0071-1) \cdot \ln\left(\frac{0,0071}{1-0,0071}\right) \right] = \\ = 106,22 \text{ долл/кг U.}$$

Следовательно, удельная цена изготовления таблеток UO_2 составит:

$$C_{\text{UO}_2}^T = \frac{C_x^T \cdot 0,09}{0,88} = \frac{106,22 \cdot 0,09}{0,88} = 10,86 \text{ долл/кг U.}$$

$$C_{об} = 80 \text{ долл/кг U.}$$

Издержки на транспортировку ОЯТ:

$$C_{\text{ОЯТ}} = 60 \text{ долл/кг ОЯТ.}$$

Удельная цена свежего уранового топлива для активной зоны составит:

$$C_T^T = C_x^T + C_{\text{UO}_2}^T + C_{об} + C_{\text{ОЯТ}}^{104} = 106,22 + 10,86 + 80 + 60 = 257,08 \text{ долл/кг U.}$$

$$I_T^T = 69913,47 \cdot (257,08 + 25) = 19,721 \cdot 10^6 \text{ долл.} = 1,187 \cdot 10^9 \text{ руб.}$$

Подпись и дата		Подставляем значения и находим: $C_x^T = 100,45 \cdot \frac{0,0071 - 0,003}{0,0071 - 0,003} + \left[(2 \cdot 0,0071 - 1) \cdot \ln\left(\frac{0,0071}{1 - 0,0071}\right) + \frac{0,0071 - 0,003}{0,0071 - 0,003} \times \right. \\ \times (2 \cdot 0,003 - 1) \cdot \ln\left(\frac{0,003}{1 - 0,003}\right) - \frac{0,0071 - 0,003}{0,0071 - 0,003} \cdot (2 \cdot 0,0071 - 1) \cdot \ln\left(\frac{0,0071}{1 - 0,0071}\right) \Bigg] = \\ = 106,22 \text{ долл/кг U.}$ Следовательно, удельная цена изготовления таблеток UO₂ составит: $C_{UO_2}^T = \frac{C_x^T \cdot 0,09}{0,88} = \frac{106,22 \cdot 0,09}{0,88} = 10,86 \text{ долл/кг U.}$ $C_{об} = 80 \text{ долл/кг U.}$ Издержки на транспортировку ОЯТ: $C_{ОЯТ} = 60 \text{ долл/кг ОЯТ.}$ Удельная цена свежего уранового топлива для активной зоны составит: $C_T^T = C_x^T + C_{UO_2}^T + C_{об} + C_{ОЯТ}^{104} = 106,22 + 10,86 + 80 + 60 = 257,08 \text{ долл/кг U.}$ $I_T^T = 69913,47 \cdot (257,08 + 25) = 19,721 \cdot 10^6 \text{ долл.} = 1,187 \cdot 10^9 \text{ руб.}$				
Инв. № дубл.						
Взам. инв. №						
Подпись и дата						
Инв. № подл.						
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.693100.001.ПЗ	
					62	

Ежегодные эксплуатационные издержки:

$$I_{АЭС}^T = I_T^T + I_A^T + I_{3П} + I_{ТР} + I_{ПР}.$$

Амортизационные отчисления для тяжеловодного реактора с учётом стоимости тяжёлой воды:

$$K_{АЭС} = 1,11 \cdot 110842 \cdot 500 \cdot 10^3 \cdot 1,2557 = 77,247 \cdot 10^9 \text{ руб.},$$

$$I_A = \frac{7}{100} \cdot 77,247 \cdot 10^9 = 5,407 \cdot 10^9 \text{ руб.}$$

$$I_{АЭС}^T = 1,187 \cdot 10^9 + 5,407 \cdot 10^9 + 0,297 \cdot 10^9 + 1,08 \cdot 10^9 + 1,893 \cdot 10^9,$$

$$I_{АЭС}^T = 9,866 \cdot 10^9 \text{ руб.},$$

Определим отпуск за год электроэнергии потребителю:

$$\mathcal{E}_{отп} = Q_T \cdot \eta_{\text{нетто}}^{АЭС} \cdot h_y^T,$$

где h_y^T – число часов использования установленной мощности;

$$h_y^T = K_y^T \cdot 8760 = 0,95 \cdot 8760 = 8322 \text{ час},$$

$$\mathcal{E}_{отп} = 500 \cdot 8322 = 4,161 \cdot 10^6 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Эксплуатационная составляющая себестоимости электроэнергии:

$$S_{АЭС}^T = \frac{9,866 \cdot 10^9}{4,161 \cdot 10^9} = 2,37 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

$$\Delta S = \frac{S_{АЭС} - S_{АЭС}^T}{S_{АЭС}} = \frac{2,404 - 2,371}{2,404} = 1,35\%.$$

Оценка прибыли и рентабельности энергоблоков АЭС

Оценим чистую прибыль для проектируемых энергоблоков.

Для оценки возьмем одноставочный тариф на электроэнергию в Московской области за 1кВт · ч составляет 4,81 руб[4].

Годовая выработка электроэнергии энергоблоков:

$$\mathcal{E} = 3,721 \cdot 10^6 \text{ МВт} \cdot \text{ч.},$$

Подпись и дата		$\mathcal{E}_{отп} = 500 \cdot 8322 = 4,161 \cdot 10^6 \text{ МВт} \cdot \text{ч.}$				
Инв. № дубл.		Эксплуатационная составляющая себестоимости электроэнергии:				
		$S_{АЭС}^T = \frac{9,866 \cdot 10^9}{4,161 \cdot 10^9} = 2,37 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$				
		$\Delta S = \frac{S_{АЭС} - S_{АЭС}^T}{S_{АЭС}} = \frac{2,404 - 2,371}{2,404} = 1,35\%.$				
Взам. инв. №		Оценка прибыли и рентабельности энергоблоков АЭС				
Подпись и дата		Оценим чистую прибыль для проектируемых энергоблоков.				
		Для оценки возьмем одноставочный тариф на электроэнергию в Московской области за 1кВт · ч составляет 4,81 руб[4].				
Инв. № подл.		Годовая выработка электроэнергии энергоблоков:				
		$\mathcal{E} = 3,721 \cdot 10^6 \text{ МВт} \cdot \text{ч.},$				
					ФЮРА.693100.001.ПЗ	63
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$\mathcal{E}^T = 4,161 \cdot 10^6 \text{ МВт} \cdot \text{ч.}$$

Уровень балансовой прибыли АЭС:

$$PP_{\phi} = (T - S_{AЭС}) \cdot \mathcal{E} = (4,81 - 2,4) \cdot 10^3 \cdot 3,721 \cdot 10^6 = 8,954 \cdot 10^9 \text{ руб.},$$

$$PP_{\phi}^T = (T - S_{AЭС}^T) \cdot \mathcal{E}^T = (4,81 - 2,37) \cdot 10^3 \cdot 4,161 \cdot 10^6 = 10,148 \cdot 10^9 \text{ руб.}$$

Налог на прибыль для АЭС:

$$H_{PP} = 0,2 \cdot PP_{\phi} = 0,2 \cdot 8,954 \cdot 10^9 = 1,791 \cdot 10^9 \text{ руб.},$$

$$H_{PP}^T = 0,2 \cdot PP_{\phi}^T = 0,2 \cdot 10,148 = 2,03 \cdot 10^9 \text{ руб.}$$

Чистая прибыль АЭС:

$$PP_{\text{ч}} = PP_{\phi} - H_{PP} = 8,954 \cdot 10^9 - 1,791 \cdot 10^9 = 7,164 \cdot 10^9 \text{ руб.},$$

$$PP_{\text{ч}}^T = PP_{\phi}^T - H_{PP}^T = 10,148 \cdot 10^9 - 2,03 \cdot 10^9 = 8,119 \cdot 10^9 \text{ руб.}$$

Оценка экономической эффективности инвестиций

Сравним эффективность инвестирования средств в рассмотренные энергоблоки, для этого рассчитаем чистый дисконтированный доход (ЧДД).

Для легководного реактора.

$$NPV = K_{AЭС} - \sum_{t=1}^T \frac{D_t}{(1+r)^t} = K_{AЭС} - \sum_{t=1}^T \frac{Pr_t + A_t - K_t}{(1+r)^t},$$

где NPV – чистый дисконтированный доход инвестиционного проекта;

D_t - денежный поток в период времени t ;

$K_{AЭС}$ – капитальные затраты строительство АЭС;

r – ставка дисконтирования (барьерная ставка), для атомной энергетики примем $r = 10\%$.

$$D_t = Pr_t + I_A - K_t,$$

где Pr_t - чистая прибыль в t -ом году;

I_A - амортизация в t -ом году;

Инв. № подл.	Подпись и дата			
	Инв. № дубл.			
	Взам. инв. №			
	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата			
	Инв. № дубл.			
	Взам. инв. №			
	Подпись и дата			
Сравним эффективность инвестирования средств в рассмотренные энергоблоки, для этого рассчитаем чистый дисконтированный доход (ЧДД). Для легководного реактора. $NPV = K_{АЭС} - \sum_{t=1}^T \frac{D_t}{(1+r)^t} = K_{АЭС} - \sum_{t=1}^T \frac{Pr_t + A_t - K_t}{(1+r)^t},$ где NPV – чистый дисконтированный доход инвестиционного проекта; D_t - денежный поток в период времени t; $K_{АЭС}$ – капитальные затраты строительство АЭС; r – ставка дисконтирования (барьерная ставка), для атомной энергетики примем $r = 10\%$. $D_t = Pr_t + I_A - K_t,$ где Pr_t -чистая прибыль в t-ом году; I_A - амортизация в t-ом году;				
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ФЮРА.693100.001.ПЗ				
64				

K_t –инвестиции в t-ом году.

$$D_t = 7,164 \cdot 10^9 + 4,871 \cdot 10^9 = 12,035 \cdot 10^9 \text{ руб.}$$

Время эксплуатации энергоблоков возьмём стандартное для ядерных реакторов:

$$T = T_{\text{экспл}} = 30 \text{ лет},$$

$$NPV = 69,592 - \sum_{t=1}^{30} \frac{12,035 \cdot 10^9}{(1+0,1)^t} = 43,861 \cdot 10^9 \text{ руб.}$$

Для тяжеловодного реактора.

$$D_t = 8,119 \cdot 10^9 + 4,871 \cdot 10^9 = 13,526 \cdot 10^9 \text{ руб.},$$

$$NPV = 77,247 - \sum_{t=1}^{30} \frac{13,526 \cdot 10^9}{(1+0,1)^t} = 50,261 \cdot 10^9 \text{ руб.}$$

Представим график зависимости NPV от времени, по которому можно определить срок окупаемости проекта.

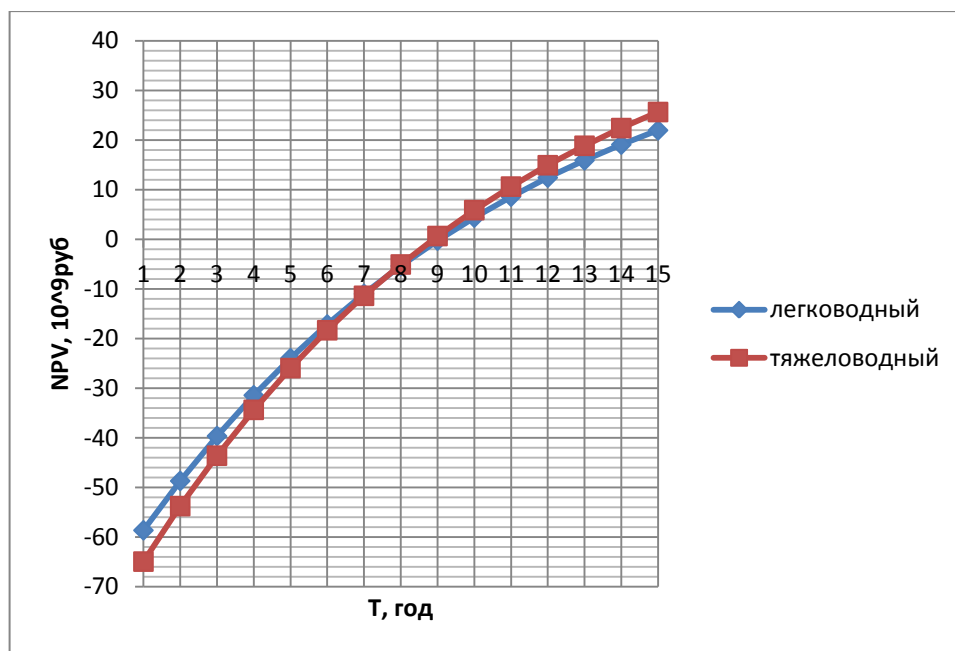


Рисунок 7.1 - Зависимость чистого приведенного дохода NPV от времени t

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том что проект тяжеловодного реактора мощность 500 МВт оказался выгоднее своего легководного аналога. Несмотря на не значительную выгоду в себестоимости

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Интв. № подл.	Взам. интв. №	Интв. № дубл.	Подпись и дата	

кВт(1,5%), ЧДД тяжеловодного реактора оказался значительно больше $6,4 \cdot 10^9$ руб, время окупаемости обоих проектов равняется примерно 9 годам.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.693100.001.ПЗ			66	