

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

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

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Проект энергоблока АЭС, работающего по циклу двух давлений

УДК 621.311.25:621.039.524.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5011	Беспальчий Максим Андреевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Автоматизация технологических процессов»

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

Нормоконтроль

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ОПП

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 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 <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
Р6	К достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности и должного уровня безопасности жизнедеятельности, в том числе, защиты персонала и населения от последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий	Требования ФГОС (ОК-8; ОПК-1, ПК-7, 19), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международными стандартами <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р7	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе, многонациональном, принимать ответственность за свои решения, в том числе, нестандартные, управлять коллективом, находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях	Требования ФГОС (ОК-10, 13, 14, ПК-3), Критерий 5 АИОР (пп.2.3, 2.4), согласованный с требованиями международными стандартами <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р8	Использовать информационные технологии для работы с информацией, управления ею и создания новой информации; работать с информацией в глобальных компьютерных сетях, осознавать и соблюдать основные требования информационной безопасности	Требования ФГОС (ОК-12, ПК-2, 6, 13, 26, ПСК-1.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международными стандартами <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
	Профессиональные компетенции	
Р9	Понимать значимость своей специальности, стремиться к ответственному отношению к своей трудовой деятельности, демонстрировать особые компетенции, связанные с уникальностью задач, объектов в области проектирования и эксплуатации АС	Требования ФГОС (ПК-4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6), согласованный с требованиями международными стандартами <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р10	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 международными стандартами <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
P11	Проводить <i>инновационные</i> научные исследования систем и оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, участвовать во внедрении результатов исследований	Требования ФГОС (ОПК-2, ПК-5, 9, 14, 15, 16), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Анализировать и использовать научно-техническую информацию, формулировать цели проекта, ставить и решать инновационные задачи <i>комплексного</i> инженерного анализа в области проектирования и эксплуатации АС	Требования ФГОС (ПК-12; 17, 20), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P13	Выбирать, создавать и использовать оборудование атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, средства измерения теплофизических параметров и автоматизированного управления, защиты и контроля технологических процессов	Требования ФГОС (ОПК-3, ПК-18), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P14	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок систем и оборудования АС и ядерных энергетических установок, готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений, выполнять <i>инновационные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и</i> специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов с учетом принципов и средств обеспечения ядерной и радиационной безопасности	Требования ФГОС (ПК-20, 21, 23 – 25, ПСК-1.5, 1.6, 1.8, 1.10), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P15	Разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы в области проектирования АС	Требования ФГОС (ПК-22), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), 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
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, принимать меры по их устранению	Требования ФГОС (ПСК-1.9), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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 <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
образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
Специальность подготовки **140404 Атомные электрические станции и установки**
Кафедра «Атомных и тепловых электростанций»

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

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
5011	Беспальчий Максим Андреевич

Тема работы:

Установка для измерения теплопроводности материалов методом цилиндра	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	11.11.16 №9734/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

	21.01.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Исследование работы энергоблока ВВЭР-640 по циклу двух давлений.
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Расчет тепловой схемы энергоблока АЭС на номинальные параметры 2. Расчеты тепловой схемы энергоблока АЭС с использованием цикла двух давлений 3. Конструкторский расчет предвключенного парогенератора
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Развернутая тепловая схема энергоблока 2. Компонентные чертежи планы, разрезы ГК 3. Чертежи ППГ 4. Схема КИПиА

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Сергейчик С.И., доцент кафедры менеджмента</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Амелькович Ю.А., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности</p>
<p>Автоматизация технологических процессов</p>	<p>Андык В.С., доцент кафедры автоматизации технологических процессов</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5011	Беспальчий М. А.		20.06.16

РЕФЕРАТ

Дипломный проект состоит из страниц, 17 рисунков, 15 таблиц, 21 источников, 6 листов графического материала.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были использованы следующие программные средства: Microsoft word, Mathcad, Компас3D, Microsoft Excel.

Ключевые слова: предвключенный парогенератор, тепловая схема, конструкторский расчет, коэффициент полезного действия, предвключенный цилиндр, цикл двухдавлений.

Целями дипломного проекта являются расчет энергоблока, работающего по циклу двух давлений, определение тепловой экономичности разработки и выполнение конструктивного оформления элементов системы.

В ходе выполнения дипломного проекта установлено, что использование на энергоблоке ВВЭР-640 цикла двух давлений приведет к увеличению тепловой экономичности энергоблока. Проведен конструкторский расчет предвключенного парогенератора.

					ФЮРА.ХХХХХХ.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		1

Обозначения и сокращения

АЭС – атомная электрическая станция;

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;

ГЦН – главный циркуляционный насос;

ГЦК – главный циркуляционный контур;

Д – деаэратор;

ЕЦТ – естественная циркуляция теплоносителя;

КПД – коэффициент полезного действия;

ПВД – подогреватель высокого давления;

ПГ – парогенератор;

ПДЛ – погруженный дырчатый лист;

ПЕ – первичный перегреватель;

ПН – питательный насос;

ПНД – подогреватель низкого давления;

ППГ – предвключенный парогенератор;

РО – реакторное отделение;

ПП – перегреватель;

СРК – стопорно-регулирующий клапан;

ПЦ – предвключенный цилиндр;

ТН – теплоноситель.

					ФЮРА.ХХХХХХ.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		2

Введение

Целью данной работы является исследование работы энергоблока с водо-водяным реактором по циклу двух давлений.

Для определения влияния реализации цикла двух давлений на экономичность энергоблока, были произведены расчёты тепловой схемы в базовом варианте на номинальных параметрах. Затем была рассчитана схема с использованием цикла двух давлений.

Одним из способов повышения эффективности АЭС с ВВЭР является повышение параметров пара турбоустановок. Увеличение параметров пара перед турбиной можно добиться за счёт использования предвключенного парогенератора, генерируемый в нем пар повышенного давления может быть направлен в дополнительный (предвключенный) цилиндр высокого давления (ЦВД), а после него - в ЦВД главной турбины.

Такая схема представляет собой реализацию хорошо известного цикла двух давлений, нашедшего применение на многих АЭС с газоохлаждаемыми реакторами. Применение цикла двух давлений позволит увеличить среднетермодинамическую температуру подвода теплоты к циклу и повысить тепловую экономичность[2].

					ФЮРА.ХХХХХХ.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		3

1 Обоснование темы

В настоящее время большинство АЭС в мире работают с водяными энергетическими реакторами с циклами насыщенного пара. Поэтому вопросы повышения тепловой экономичности АЭС нужно рассматривать, основываясь именно на такие типы энергоблоков.

Одним из основных недостатков энергоблоков АЭС с ВВЭР является относительно низкие параметры пара перед турбиной. По ряду причин современные паропроизводящие установки энергоблоков ВВЭР не могут генерировать пар с высокими параметрами. Вследствие этого большая часть процесса расширения пара в турбине, несмотря на применение промежуточной сепарации и промежуточного перегрева, находится в области влажного пара, что негативно сказывается на экономичности и надёжности лопаточного аппарата.

Вследствие этого возникает необходимость поиска возможных вариантов повышения эффективности АЭС, работающих на насыщенном паре.

Отличными возможностями по реализации схемы двух давлений обладает проект энергоблока с реактором ВВЭР-640 (В-407) и турбиной К-600-6,9/50.

Реализация проекта АЭС с ВВЭР-640 основана на отработанных технологиях АЭС с ВВЭР-440 и ВВЭР-1000. Использовано оборудование, максимально унифицированное с ВВЭР-1000. Однако, проект энергоблока ВВЭР-640 во многом превосходит энергоблок ВВЭР-1000. В частности, серьезно увеличен уровень безопасности, улучшены маневренные характеристики блока и повышена тепловая экономичность.

Ядерная паропроизводящая установка этого энергоблока выполнена по четырехпетлевой схеме. В каждой петле установлено по одному горизонтальному парогенератору и ГЦН новой разработки.

Цилиндры низкого давления полностью унифицированы с ЦНД действующей в настоящее время турбины К-1000-60/3000.

					ФЮРА.ХХХХХХ.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		4

Нагрузка на парогенераторы выбрана таким образом, что тепловая мощность основных и предвключенных парогенераторов будет одинаковой.

Надёжность проекта энергоблока, работающего по циклу двух давлений не вызывает опасений. В качестве предвключенных парогенераторов были выбраны горизонтальные парогенераторы насыщенного пара, которые широко применяются на энергоблоках ВВЭР-440 и ВВЭР-1000.

					ФЮРА.ХХХХХХ.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		5

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Планирование капиталовложений в установку

Целью данного раздела является определение экономического эффекта от внедрения цикла двух давлений в тепловую схему АЭС с ВВЭР-640.

Капитальные вложения складываются из стоимости оборудования. Дополнительное оборудование включает в себя предвключенный цилиндр, 4 предвключенных парогенератора и трубопровод, кроме этого необходимо произвести монтаж оборудования. В таблице 1 приведены значения капитальных вложений в один парогенератор, трубопровод и один предвключенный цилиндр.

Таблица 6 – Капитальные вложения в установку ПЦ

Капиталовложения	млн.рублей
Стоимость ПЦ, $K_{ПЦ}$	600
Стоимость ППГ, $K_{ППГ}$	280
Монтаж оборудования, K_M	8
Трубопровод, K_T	17

Капитальные вложения в систему составят:

$$\begin{aligned}\Delta K_{сн} &= (K_{ПЦ} + 4 \cdot K_{ППГ} + K_M + K_T) = \\ &= (600 + 4 \cdot 280 + 8 + 17) = 1745 \text{ млн.руб.}\end{aligned}$$

где $\Delta K_{сн}$ – капитальные вложения на установку дополнительного оборудования.

5.2 Расчет ежегодных эксплуатационных издержек на АЭС

Определим ежегодные эксплуатационные издержки АЭС в случаях с дополнительным оборудованием и без:

$$I_{\text{АЭС}} = I_T + I_A + I_{\text{ЗП}} + I_{\text{ТР}} + I_{\text{ПР}};$$
$$I_{\text{АЭС.ПЦ}} = I_T + I_A + I_{\text{ЗП}} + I_{\text{ТР}} + I_{\text{ПР}} + I_{\text{ПЦ}},$$

где I_T – ежегодные издержки на топливо при плановой загрузке установленной мощности АЭС;

I_A – амортизационные отчисления;

$I_{\text{ЗП}}$ – заработная плата;

$I_{\text{ТР}}$ – текущий ремонт;

$I_{\text{ПР}}$ – прочие расходы;

$I_{\text{ПЦ}}$ – издержки на эксплуатацию ПЦ.

Определим ежегодные издержки на топлива I_T :

$$I_T = B_{\text{год}} \cdot (C_T + C_{\text{выд}}),$$

где $B_{\text{год}}$ – годовой расход ядерного топлива, т;

$C_T = 140000$ – цена 1 кг ядерного топлива с заданной степенью обогащения с учетом стоимости изготовления ТВЭЛов и транспортных расходов;

$C_{\text{выд}} = 28000$ – стоимость выдержки отработанного горючего в бассейнах АЭС.

$$B_{\text{год}} = \frac{Q_P \cdot 365 \cdot K_y}{\bar{B}},$$

где Q_P – тепловая мощность ядерного реактора, МВт;

					ФЮРА.XXXXXXX.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		7

$\bar{B} = 45 \text{ MВт} / (\text{сут} \cdot \text{кг})$ – средняя глубина выгорания ядерного топлива, $\text{MВт} / (\text{сут} \cdot \text{т})$;

$K_y = 7000 / 8760 = 0,913$ – коэффициент использования установленной мощности.

$$B_{\text{год}} = \frac{2017 \cdot 365 \cdot 0,913}{45} = 14,9 \text{ т};$$

$$I_T = 14,9 \cdot 10^3 \cdot (140000 + 28000) = 2,503 \text{ млрд.руб.}$$

Ежегодные амортизационные отчисления определяются как:

$$I_A = \frac{H_A}{100} \cdot K_{\text{АЭС}}, \text{ млрд.руб.},$$

где $K_{\text{АЭС}}$ – капиталовложение в проектируемую АЭС, *млрд.руб.* ;

H_A – норма амортизации основных фондов АЭС, принимается равной 3 %.

Стоимость установленного *кВт* составляет в настоящее время 3850 \$.

Определим капиталовложения в проектируемую АЭС

$$K_{\text{АЭС}} = 3850 \cdot 60 \cdot N_{\text{ном}} = 3850 \cdot 60 \cdot 640 \cdot 10^3 = 160,2 \text{ млрд.руб.};$$

$$I_A = \frac{H_A}{100} \cdot K_{\text{АЭС}} = \frac{3}{100} \cdot 160,2 = 4,81 \text{ млрд.руб.}$$

Издержки на основную заработную плату персонала:

$$I_{\text{ЗП}}^{\text{ОСН}} = K_{\text{шт}} \cdot \Phi_{\text{ЗП}} \cdot (1 + \alpha_{\text{пр}}) \cdot N_y \cdot \text{млн.руб.}$$

Помимо фонда основной заработной платы АТЭС формирует фонд дополнительной заработной платы:

$$I_{\text{ЗП}}^{\text{ДОП}} = 0,2 \cdot I_{\text{ЗП}}^{\text{ОСН}} \cdot \text{млн.руб.},$$

где $K_{\text{шт}} = 1,2$ – штатный коэффициент, *чел / МВт*;

					ФЮРА.XXXXXXX.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8

$\Phi_{3П} = 7500 \cdot 40 = 300$ тыс.руб – среднегодовой фонд заработной платы на одного человека 40 МРОТ;

α_{np} – премиальный фонд (20...40%) от заработной платы.;

N_y – установленная мощность АЭС, МВт.

$$I_{3П}^{ОСН} = 1,2 \cdot 300 \cdot (1 + 0,4) \cdot 640 = 323 \text{ млн.руб};$$

$$I_{3П}^{ДОП} = 0,2 \cdot 323 = 65 \text{ млн.руб}.$$

Полный фонд заработной платы, включающий в себя помимо основного и дополнительного фондов, должен учитывать страховые взносы во внебюджетные фонды:

$$I_{3П} = \alpha_{вн} \cdot (I_{3П}^{ОСН} + I_{3П}^{ДОП}). \text{ млн.руб},$$

где $\alpha_{вн} = 1,3$ – коэффициент, учитывающий отчисления во внебюджетные фонды.

$$I_{3П} = 1,3 \cdot (323 + 65) = 504. \text{ млн.руб}.$$

Ежегодные издержки на текущий ремонт и прочие затраты можно укрупненно оценить следующим образом:

$$I_{ТР} = 0,2 \cdot I_{АМ} = 0,2 \cdot 4,81 = 0,962 \text{ млрд.руб};$$

$$I_{ПР} = 0,35 \cdot I_{АМ} = 0,35 \cdot 4,81 = 1,684 \text{ млрд.руб}.$$

Ежегодные издержки на эксплуатацию дополнительного оборудования:

$$I_{ППЦ} = N_{АЭС} \cdot \frac{\Delta K_{сн}}{100} = 1 \cdot \frac{1745}{100} = 17,45 \text{ млн.руб}.$$

Годовые издержки АЭС составят без дополнительного оборудования и с дополнительным оборудованием составят:

					ФЮРА.XXXXXXX.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		9

$$I_{АЭС} = I_T + I_A + I_{ЗП} + I_{ТР} + I_{ПР} =$$

$$= 2,503 + 4,82 + 0,299 + 0,962 + 1,684 = 10,249 \text{ млрд.руб};$$

$$I_{АЭС.ГМ} = I_T + I_A + I_{ЗП} + I_{ТР} + I_{ПР} + I_{ППЦ} =$$

$$= 2,503 + 4,82 + 0,326 + 0,962 + 1,691 + 0,01745 = 10,323 \text{ млрд.руб}.$$

Сведем эксплуатационные издержек в таблицу 2.

Таблица 7 – Эксплуатационные издержки АЭС

Издержки	Без ППЦ	С ППЦ
Топливные издержки I_T , млрд.руб	2,503	2,503
Амортизационные отчисления I_A , млрд.руб	4,82	4,83
Заработная плата $I_{ЗП}$, млрд.руб	0,504	0,547
Текущий ремонт $I_{ТР}$, млрд.руб	0,962	0,966
Прочие расходы $I_{ПР}$, млрд.руб	1,684	1,691
Эксплуатация ПЦ $I_{ПЦ}$, млрд.руб	0	0,01745
Итого	10,473	10,554

5.3 Оценка экономического эффекта от внедрения ПЦ

Определим себестоимость отпущенной электроэнергии:

$$C_{Эст} = \frac{I_{АЭС}}{\mathcal{E}_{выр}} = \frac{10,473 \cdot 10^9}{4,48 \cdot 10^9} = 2,338 \text{ руб} / (\text{кВт} \cdot \text{ч});$$

$$C_{Эн} = \frac{I_{АЭС.ППЦ}}{\mathcal{E}_{выр}} = \frac{10,554 \cdot 10^9}{4,649 \cdot 10^9} = 2,270 \text{ руб} / (\text{кВт} \cdot \text{ч}),$$

где $\mathcal{E}_{выр} = 4,48 \cdot 10^9$ – годовая выработка электроэнергии без дополнительного оборудования, $\text{кВт} \cdot \text{ч}$;

$\mathcal{E}_{выр} = 4,649 \cdot 10^9$ – годовая выработка электроэнергии с дополнительным оборудованием, $\text{кВт} \cdot \text{ч}$.

Определим снижение себестоимости электроэнергии после установки дополнительного дисконтирования:

$$\Delta C_{\text{ЭЭ}} = C_{\text{Эст}} - C_{\text{Эн}} = 2,338 - 2,221 = 0,068 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{ч}.$$

5.4 Определение экономического эффекта инженерного решения

Рассчитаем срок окупаемости капиталовложений в дополнительное оборудование с учетом ставки дисконтирования и без.

Без учета дисконтирования:

$$T_{\text{ок}} = \frac{\Delta K_{\text{сн}}}{\Delta C_{\text{ЭЭ}} \cdot \text{Э}_{\text{выр}}} = \frac{1745 \cdot 10^6}{0,068 \cdot 4,649 \cdot 10^9} = 5,5 \text{ лет}.$$

С учетом дисконтирования

Так как установка дополнительного оборудования производится сразу, то капиталовложения в него не дисконтируются, в отличие от экономии за счет сокращения собственных нужд

Составим и решим уравнение относительно $T_{\text{ок}}^D$:

$$\sum_{t=1}^{T_{\text{ок}}^D} \frac{\Delta C_{\text{ЭЭ}} \cdot \text{Э}_{\text{выр}}}{(1+r)^t} - \Delta K_{\text{сн}} = 0,$$

где $r = r_o + r_{\text{риск}} = 0,08 + 0,025 = 0,105$ – ставка дисконтирования;

$r_o = 0,08$ – относительная доходность по государственным облигациям;

$r_{\text{риск}} = 0,025$ – риск;

$$\sum_{t=1}^{T_{\text{ок}}^D} \frac{0,068 \cdot 4,649 \cdot 10^9}{(1+0,105)^t} - 1745 \cdot 10^6 = 0;$$

$$T_{\text{ок}}^D = 8,8 \text{ лет}.$$

В качестве критериев экономической эффективности инвестиций наибольшее распространение получили чистый дисконтированный доход, индекс рентабельности проекта и внутренняя норма доходности проекта.

					ФЮРА.XXXXXXX.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11

Рассчитаем ЧПД:

$$ЧПД = \sum_{t=1}^{30} \frac{D_t}{(1+r)^t} - \Delta K_{сн};$$

$$ЧПД = \sum_{t=1}^{30} \frac{316 \cdot 10^6}{(1+0,105)^t} - 1745 \cdot 10^6 = 1115 \text{ млн.руб.}$$

Проанализируем, как меняется чистый приведенный доход ЧПД за последующие года эксплуатации АЭС.

Таблица 8 – Значения чистого приведённого дохода за последующие года эксплуатации

год	ЧПД, млн.руб.	год	ЧПД, млн.руб.	год	ЧПД, млн.руб.
1	-1459	11	261,9	21	895,9
2	-1200	12	357,3	22	931
3	-965,7	13	443,6	23	962,8
4	-753,7	14	521,7	24	991,6
5	-561,8	15	592,4	25	1018
6	-388,1	16	656,4	26	1041
7	-230,9	17	714,3	27	1063
8	-88,73	18	766,7	28	1082
9	39,98	19	814,1	29	1099
10	156,5	20	857,1	30	1115

Представим график зависимости ЧПД от времени.

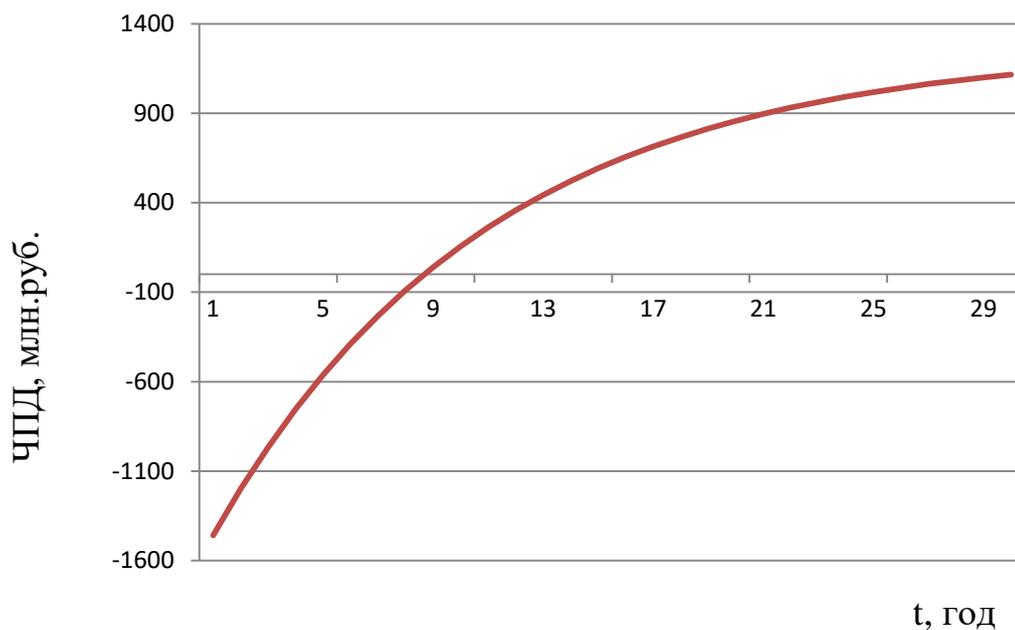


Рис. 16 – Зависимость чистого приведенного дохода от времени

Индекс рентабельности проекта

В соответствии с этим критерием лучший проект обеспечивает максимальное значение индекса рентабельности проекта. Индекс рентабельности инвестиционного привлекательного проекта должен быть больше единицы.

$$РП = \frac{\sum_{t=1}^{30} \frac{D_t}{(1+r)^t}}{\Delta K_{сн}};$$

$$РП = \frac{\sum_{t=1}^{30} \frac{316 \cdot 10^6}{(1+0,105)^t}}{1745 \cdot 10^6} = 1,639.$$

Внутренняя норма доходности

ВНД определяется как значение ставки дисконтирования r , при которой выполняется равенство:

$$\Delta K_{сн} = \sum_{t=1}^{30} \frac{D_t}{(1+r)^t} ;$$

$$1745 \cdot 10^6 = \sum_{t=1}^{30} \frac{316 \cdot 10^6}{(1+r)^t} \rightarrow r = 0,1799 .$$

Экономический смысл ВНД следующий: значение ВНД соответствует действительной эффективной доходности инвестиций в проект с учетом фактора времени. Обычно проект считается экономически эффективным, если ВНД превышает действующее на момент оценки значение ставки по депозитам надежного банка.

Сведем все экономические показатели в таблицу 9.

Таблица 9 – Экономические показатели проекта

$T_{ок}$, лет	5,5
$T_{ок}^D$, лет	8,8
РП	1,639
ВНД	0,1799

Анализ:

В результате технико-экономического расчета определен срок окупаемости капиталовложений, направленных на увеличение тепловой экономичности АЭС. Срок окупаемости с учетом ставки дисконтирования составил 8,8 лет, что говорит об эффективном вложении средств в модернизацию.