

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Одобрено на заседании
Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ
Протокол от 24.04.2023 № 23.4

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине

Атомные электрические станции

название дисциплины

для студентов направления подготовки

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Шифр, название специальности/направления подготовки

образовательная программа

Проектирование и эксплуатация атомных электрических станций

Шифр, название специализации/профиля

Форма обучения: очная

г. Обнинск, 2023 г.

Область применения

Фонд оценочных средств (ФОС) – является обязательным приложением к рабочей программе дисциплины «Атомные электрические станции» и обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.

Цели и задачи фонда оценочных средств

Целью Фонда оценочных средств является установление соответствия уровня подготовки обучающихся требованиям федерального государственного образовательного стандарта.

Для достижения поставленной цели Фондом оценочных средств по дисциплине «Атомные электрические станции» решаются следующие задачи:

- контроль и управление процессом приобретения обучающимися знаний, умений и навыков, предусмотренных в рамках данной дисциплины;
- контроль и оценка степени освоения компетенций, предусмотренных в рамках данной дисциплины;
- обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс в рамках данной дисциплины.

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

В результате освоения ОП бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенций	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
------------------	--------------------------	--

ПК-9	Способен анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, управления и защиты ЯЭУ с целью обеспечения их эффективной и	З-ПК-9 Знать правила и нормы в атомной энергетике, критерии эффективной и безопасной работы ЯЭУ; У-ПК-9 уметь анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, управления и защиты ЯЭУ; В-ПК-9 владеть методами анализа нейтронно-физических и технологических процессов в ЯЭУ
ПК-10	Способен провести оценку ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации и выводе из эксплуатации ядерных энергетических установок, а также при обращении с ядерным топливом и радиоактивными отходами	З-ПК-10 знать критерии ядерной и радиационной безопасности ЯЭУ; У-ПК-10 уметь проводить оценки ядерной и радиационной безопасности ЯЭУ; В-ПК-10 владеть методами оценки ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации ЯЭУ, а также при обращении с ядерным топливом и радиоактивными отходами

ПК-4.2

З-ПК-4.2 Знать: Принципиальная схема атомной станции. Нейтронно-физические измерения и расчеты. Номенклатура нейтронно-физических расчетов. Технологические схемы атомной станции. Технологические регламенты безопасной эксплуатации атомных станций.

У-ПК-4.2 Уметь: Использовать аппаратуру физического контроля. Владеть методиками нейтроннофизических и теплогидравлических измерений. Обрабатывать результаты измерений. Анализировать результаты расчетов и измерений. Владеть методиками обработки нейтронно-физических и тепло-гидравлических измерений. Владеть методиками реакторных расчетов. Применять методы расчета эксплуатационных параметров реакторной установки, эффектов и коэффициентов реактивности. Использовать современные прикладные компьютерные программы по направлениям работ. Эксплуатировать закрепленное оборудование и системы. Работать с персональным компьютером и оргтехникой. Типовые методики выполнения измерений, расчетов и технологических процессов. Физика реактора. Защита от ионизирующих излучений. Культура безопасности. Прикладное программное обеспечение по направлениям деятельности. Эксплуатационные параметры активных зон реакторов. Расчет мощности реакторов по методу теплового баланса. Методы измерения эффектов и коэффициентов реактивности реакторов

В-ПК-4.2 Владеть: Выполнение нейтроннофизических и теплогидравлических измерений. Анализ результатов нейтроннофизических и тепло-гидравлических измерений. Анализ параметров аппаратуры физического контроля. Расчет мощности реакторов по методу теплового баланса.

		Анализ протекания переходных процессов в реакторах. Организация проведения градуировки датчиков систем внутриреакторного контроля. Обработка данных по градуировке датчиков систем внутриреакторного контроля. Анализ работы систем внутриреакторного контроля. Разработка новых и совершенствование действующих технологических процессов и режимов в части своих полномочий. Контроль нейтроннофизических и паспортных характеристик реакторов. Контроль основных эксплуатационных параметров активных зон реакторов. Расчет эксплуатационных параметров активных зон реакторов. Анализ режимов эксплуатации атомной станции. Рекомендации по оптимизации режимов эксплуатации атомной станции. Анализ результатов измерений подкритичности реактора. Организация обработки результатов измерений. Руководство измерением эффектов и коэффициентов реактивности реакторов. Анализ результатов измерений эффектов и коэффициентов реактивности реакторов. Руководство обработкой результатов нейтроннофизических и теплогидравлических измерений. Проведение расчетов по выводу реакторов в критическое состояние. Проведение расследований нарушений в работе атомных станций и в разработке мероприятий по их предупреждению в рамках должностных полномочий
--	--	--

1.2. Этапы формирования компетенций в процессе освоения ОП бакалавриата

Компоненты компетенций, как правило, формируются при изучении нескольких дисциплин, а также в немалой степени в процессе прохождения практик, НИР и во время самостоятельной работы обучающегося. Выполнение и

защита ВКР являются видом учебной деятельности, который завершает процесс формирования компетенций.

Этапы формирования компетенции в процессе освоения дисциплины:

- **начальный** этап – на этом этапе формируются знаниевые и инструментальные основы компетенции, осваиваются основные категории, формируются базовые умения. Студент воспроизводит термины, факты, методы, понятия, принципы и правила; решает учебные задачи по образцу;
- **основной** этап – знания, умения, навыки, обеспечивающие формирование компетенции, значительно возрастают, но еще не достигают итоговых значений. На этом этапе студент осваивает аналитические действия с предметными знаниями по дисциплине, способен самостоятельно решать учебные задачи, внося коррективы в алгоритм действий, осуществляя коррекцию в ходе работы, переносит знания и умения на новые условия;
- **завершающий** этап – на этом этапе студент достигает итоговых показателей по заявленной компетенции, то есть осваивает весь необходимый объем знаний, овладевает всеми умениями и навыками в сфере заявленной компетенции. Он способен использовать эти знания, умения, навыки при решении задач повышенной сложности и в нестандартных условиях.

Этапы формирования компетенций в ходе освоения дисциплины отражаются в тематическом плане (см. РПД).

1.3. Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Индикатор достижения компетенции	Наименование оценочного средства текущей и промежуточной аттестации
Текущая аттестация, 7 семестр			
1.	Типы АЭС и их основное оборудование. Выбор параметров. Тепловая экономичность АЭС. Место АЭС в энергосистеме. Регенерация на АЭС. Водно-химический режим в контурах ЯЭУ Реакторные установки. Главный реакторный контур и его вспомогательные системы.	З-ПК-3.1; У-ПК-3.1; В-ПК-3.1	Контрольная работа (комплект вопросов).
2.	Выбор параметров. Тепловая экономичность АЭС. Регенерация на АЭС. Реакторные установки. Главный реакторный контур и его вспомогательные системы. Техническое	З-ПК-3.2; У-ПК-3.2; В-ПК-3.2	Семинарские занятия (типовые задания для семинарских занятий). Методические рекомендации

	водоснабжение. Конденсационные и деаэрационно-питательные установки АС. Схемы конденсато-очистки.		
Промежуточная аттестация, 7 семестр			
	Экзамен	З-ПК-3.1; У-ПК-3.1; В-ПК-3.1 З-ПК-3.2; У-ПК-3.2; В-ПК-3.2	Комплект вопросов к экзамену, экзаменационные билеты.
Текущая аттестация, 8 семестр			
	Турбинные установки. Внутренняя и промежуточная сепарация. Главный реакторный контур и его вспомогательные системы. Конденсационные и деаэрационно-питательные установки АС. Схемы конденсатоочистки. Техническое водоснабжение. Расчет тепловых схем АС.	З-ПК-3.1; У-ПК-3.1; В-ПК-3.1 З-ПК-3.2; У-ПК-3.2; В-ПК-3.2	Контроль выполнения курсового проекта на 8 неделе.
Промежуточная аттестация, 8 семестр			
	Зачет с оценкой	З-ПК-3.1; У-ПК-3.1; В-ПК-3.1 З-ПК-3.2; У-ПК-3.2; В-ПК-3.2	Расчетно-графическая работа (курсовой проект). Публичная защита. Примеры вариантов задания, методические рекомендации.

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Конечными результатами освоения программы дисциплины являются сформированные когнитивные дескрипторы «знать», «уметь», «владеть», расписанные по отдельным компетенциям, которые приведены в п.1.1. Формирование этих дескрипторов происходит в процессе изучения дисциплины по этапам в рамках различного вида учебных занятий и самостоятельной работы.

Выделяются три уровня сформированности компетенций на каждом этапе: пороговый, продвинутый и высокий.

Уровни	Содержательное описание уровня	Основные признаки выделения уровня	БРС, % освоения	ECTS/Пятибалльная шкала для оценки экзамена/зачета
Высокий Все виды компетенций сформированы на высоком уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины	Творческая деятельность	Включает низсостоящий уровень. Студент демонстрирует свободное обладание компетенциями, способен применить их в нестандартных ситуациях: показывает умение самостоятельно принимать решение, решать проблему/задачу теоретического или прикладного характера на основе изученных методов, приемов, технологий	90-100	A/ Отлично/ Зачтено
Продвинутый Все виды компетенций сформированы на продвинутом уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины	Применение знаний и умений в более широких контекстах учебной и профессиональной деятельности, нежели по образцу, большей долей самостоятельности и инициативы	Включает низсостоящий уровень. Студент может доказать владение компетенциями: демонстрирует способность собирать, систематизировать, анализировать и грамотно использовать информацию из самостоятельно найденных теоретических источников и иллюстрировать ими теоретические положения или обосновывать практику применения.	85-89	B/ Очень хорошо/ Зачтено
			75-84	C/ Хорошо/ Зачтено
Пороговый Все виды компетенций сформированы на пороговом уровне	Репродуктивная деятельность	Студент демонстрирует владение компетенциями в стандартных ситуациях: излагает в пределах задач курса теоретически и практически контролируемый материал.	65-74	D/Удовлетворительно/ Зачтено
			60-64	E/Посредственно/ Зачтено
Ниже порогового	Отсутствие признаков порогового уровня: компетенции не сформированы. Студент не в состоянии продемонстрировать обладание компетенциями в стандартных ситуациях.		0-59	Неудовлетворительно/ не зачтено

Оценивание результатов обучения студентов по дисциплине осуществляется по регламенту текущего контроля и промежуточной аттестации.

Критерии оценивания компетенций на каждом этапе изучения дисциплины для каждого вида оценочного средства и приводятся в п. 4 ФОС. Итоговый уровень сформированности компетенции при изучении дисциплины определяется по таблице. При этом следует понимать, что граница между уровнями для конкретных результатов освоения образовательной программы может смещаться.

Уровень сформированности компетенции	Текущий контроль	Промежуточная аттестация
высокий	высокий	высокий
	продвинутый	высокий
	высокий	продвинутый
продвинутый	пороговый	высокий
	высокий	пороговый
	продвинутый	продвинутый
	продвинутый	пороговый
	пороговый	продвинутый
пороговый	пороговый	пороговый
ниже порогового	пороговый	ниже порогового
	ниже порогового	-

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

- Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.
- Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.
- Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.
- Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:
 - контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 8 неделю учебного семестра.
 - контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку

мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 9 по 16 неделю учебного семестра.

- Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	Неделя	Балл	
		Минимум*	Максимум**
Текущая аттестация	1-16	36 - 60% от максимума	60
7 семестр			
Контрольная точка № 1	7-8	18 (60% от 30)	30
<i>Контрольная работа</i>	8	18	30
Контрольная точка № 2	15-16	18 (60% от 30)	30
<i>Контроль семинарских занятий</i>	15	18	30
Промежуточная аттестация	-	24 – (60% 40)	40
<i>Экзамен</i>	-	24	40
ИТОГО		60	100
8 семестр			
Промежуточный контроль выполнения КП	6	18	30
Защита КП	10	42	70
ИТОГО		60	100

* - Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается, в противном случае обучающийся должен ликвидировать появившуюся академическую задолженность по текущей или промежуточной аттестации. Минимальное количество баллов за текущую аттестацию, в т.ч. отдельное оценочное средство в ее составе, и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

4. Шкала оценки образовательных достижений

Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущей и промежуточной аттестации

Сумма баллов	Оценка по 4-х балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоения учебной дисциплины
90-100	5- «отлично»/ «зачтено»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе,

			последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы
85-89	4 - «хорошо»/«зачтено»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос
75-84		C	
70--74		D	
65-69	3 - «удовлетворительно»/«зачтено»	D	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала
60-64		E	
0-59	2 - «неудовлетворительно»/«не зачтено»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине

5. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Направление подготовки	14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»
Образовательная программа	«Проектирование и эксплуатация атомных станций»
Дисциплина	Атомные электрические станции

Вопросы к контрольной работе

1. Ядерные энергетические установки (ЯЭУ). Типы ЯЭУ. Требования, предъявляемые к основному оборудованию ЯЭУ разных типов.
2. Какие типы теплоносителей используются в ЯЭУ? Основные характеристики водного теплоносителя.
3. Основные требования, предъявляемые к теплоносителям ЯЭУ. Основные характеристики газовых теплоносителей.
4. Что такое термический к.п.д. цикла? В каких случаях можно записать его выражение через начальную и конечную температуры цикла? Какие параметры влияют на величину к.п.д. цикла?
5. Что такое регенерация теплоты в рабочих циклах? Как она осуществляется технически?
6. До какой температуры можно нагреть питательную воду за счет регенеративного подогрева? Как выбирают ее оптимальную величину?
7. Что такое степень регенерации? Что такое энергетический коэффициент? Приведите необходимые пояснения.
8. Запишите выражение термического к.п.д. цикла с регенерацией через термический к.п.д. цикла без регенерации. Условие повышения термического к.п.д. цикла с регенерацией. Дайте необходимые пояснения.
9. Выбор и обоснование начальных параметров рабочего цикла для ЯЭУ с реактором типа РБМК.
10. Выбор и обоснование начальных параметров рабочего цикла для ЯЭУ с реактором типа ВВЭР.

11. Выбор и обоснование начальных параметров рабочего цикла для ЯЭУ с реактором БН-600.
12. Выбор конечных параметров рабочих циклов. Дать необходимые комментарии и пояснения.
13. Показатели тепловой экономичности: коэффициенты полезного действия, удельные расходы теплоты и пара.
14. Графики электрических и тепловых нагрузок. Коэффициенты наполнения графиков.
15. Графики электрических нагрузок. Энергосистемы. Место АЭС в покрытии графиков электрических нагрузок.
16. Обоснование необходимости использования регенеративного подогрева в циклах ЯЭУ.
17. Оптимальные параметры регенеративного подогрева при произвольном числе регенеративных подогревателей в технологической схеме ЯЭУ.
18. Особенности водно-химического режима 1 контура ВВЭР.

Контрольная работа предполагает рассмотрение одного/двух вопросов по контролируемым темам и представляется, как правило, в письменной форме.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Направление подготовки	14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»
Образовательная программа	«Проектирование и эксплуатация атомных станций»
Дисциплина	Атомные электрические станции

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Выбор и обоснование начальных и конечных параметров рабочего цикла для АЭС с разными типами реакторов.
2. Обоснование необходимости использования регенеративного подогрева в схемах АЭС. Влияние степени регенерации и числа регенеративных подогревателей на к.п.д. цикла с регенерацией.
3. Оптимальное число регенеративных подогревателей в схемах ЯЭУ. Оптимальные параметры регенеративного подогрева при произвольном числе подогревателей в тепловой схеме.
4. Реакторная установка ВВЭР-1000. Состав, основные технические характеристики.
- 5 Система компенсации давления блока с реактором типа ВВЭР-1000; назначение, состав, принцип работы.
- 6 Система подпитки-продувки блока ВВЭР-1000; назначение, состав, принцип работы.
- 7 Система аварийного охлаждения активной зоны ВВЭР-1000 – пассивная часть. Назначение, состав, принцип работы.
- 8 Система аварийного и планового расхолаживания ВВЭР-1000. Назначение, состав, принцип работы.
- 9 Система аварийного ввода бора ВВЭР-1000. Назначение, состав, принцип работы.
- 10 Спринклерная система ВВЭР-1000. Назначение, состав, принцип работы.
- 11 Система аварийной питательной воды парогенераторов блока ВВЭР-1000. Назначение, состав, принцип работы.

- 12 Система продувки и дренажей парогенератора ВВЭР-1000. Назначение, состав, принцип работы.
- 13 Паропроводы острого пара двухконтурной ЯЭУ и защита ПГ и второго контура от превышения давления.
- 14 Реакторная установка РБМК-1000. Состав, основные технические характеристики. Схема КМПЦ.
- 15 Схема металлоконструкций реактора типа РБМК-1000.
- 16 Газовый контур РБМК-1000. Назначение, состав, принцип работы.
- 17 Система продувки и расхолаживания РБМК-1000. Назначение, состав, принцип работы.
- 18 Система аварийного охлаждения реактора РБМК-1000. Назначение, состав, принцип работы.
- 19 Система локализации аварий РБМК-1000. Назначение, состав, принцип работы.
- 20 Конденсационная установка. Назначение, состав и принципиальная схема.
- 21 Необходимость отсоса неконденсирующихся газов из конденсатора.
- 22 Схема включения основных эжекторов.
- 23 Система технического водоснабжения. Типы систем технического водоснабжения. Основные потребители технической воды.
- 24 Влияние температуры охлаждающей воды и кратности охлаждения на давление в конденсаторе.
- 25 Включение конденсатных насосов и БОУ в схему ЯЭУ.
- 26 Система основного конденсата. Схемы слива конденсата греющего пара, их сравнение между собой.
- 27 Деаэратор, назначение, типы деаэраторов, принцип термической деаэрации. Схема обвязки деаэратора.
- 28 Система питательной воды.
- 29 Испарители в схемах АЭС.
- 30 Вентиляционные установки. Основы проектирования вентиляции.
- 31 Теплофикационная установка АЭС.
- 32 Обращение с твердыми радиоактивными отходами на АЭС.
- 33 Обращение с жидкими радиоактивными отходами на АЭС.
- 34 Обращение с газообразными радиоактивными отходами на АЭС.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Пример экзаменационного билета

Направление подготовки	14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»
Образовательная программа	«Проектирование и эксплуатация атомных станций»
Дисциплина	Атомные электрические станции

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №__

1. Реакторная установка ВВЭР-1000. Состав, основные технические характеристики
2. Газовый контур РБМК-1000. Назначение, состав, принцип работы.
3. Задача

Составитель _____ В.И. Слободчук
(подпись)

Руководитель образовательной программы _____ С.Т. Лескин
(подпись)

«____» _____ 20 ____ г.

Примечание.

Задачи для экзаменационных билетов аналогичные тем, которые приведены в разделе «Комплект типовых заданий для семинарских занятий».

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Направление подготовки	14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»
Образовательная программа	«Проектирование и эксплуатация атомных станций»
Дисциплина	Атомные электрические станции

Типовые задания для семинарских занятий

Задача №1.

В результате изменения условий эксплуатации реактора типа ВВЭР-1000 средняя температура теплоносителя на выходе из реактора уменьшилась на 5°C при неизменной тепловой мощности. Как изменится термический К.П.Д. цикла, если:

- а) расход теплоносителя не изменился;
- б) расход теплоносителя увеличился в 1,5 раза.

Принять, что в исходном состоянии средний подогрев теплоносителя по а.з. составлял 30°C .

Задача №2.

Оцените изменение расхода пара на турбоустановку энергоблока с реактором ВВЭР-1000 при уменьшении степени регенерации на 29%. Тепловая мощность не меняется.

Принять: давление в деаэраторе $P_d = 0,7 \text{ МПа} = \text{const}$, давление в ПГ $P_0 = 6,5 \text{ МПа} = \text{const}$, давление в конденсаторе $P_k = 0,004 \text{ МПа} = \text{const}$, температура конденсата после конденсатора $t_k = 30^{\circ}\text{C}$ продувка ПГ $p = 0,01$, температура

питательной воды в номинальном режиме $T_{пв}=230^{\circ}\text{C}$, температура острого пара $t_0=280^{\circ}\text{C}$.

Задача №3.

Оценить качественно изменение паропроизводительности энергоблока с реактором типа РБМК-1000 при изменении давления в барабан-сепараторах $\frac{D}{D_0} = f(P_{bc})$.

Принять постоянными: расход циркуляции $D_{ц}$ в контуре многократной принудительной циркуляции (КМПЦ), относительный расход продувки КМПЦ в системе продувки и расхолаживания (СПИР) $p = \frac{D_{спир}}{D}$, Тепловую мощность реактора Q_m . Считать также постоянными энтальпии питательной воды $h_{нв}$ и возвращаемой в КМПЦ воды продувки h_{np} . Считать любой рассматриваемый режим с измененным давлением стационарным.

Задача №4.

Оцените изменение температуры воды во всасывающем коллекторе ГЦН контура МПЦ АЭС с реактором типа РБМК, а также давления в основном конденсаторе турбоустановки:

а) при скачкообразном изменении влажности окружающего воздуха от 60% до 80%. Относительный предел испарительного охлаждения воды считать равным 7°C . Считать справедливой зависимость температуры смоченного термометра от влажности воздуха φ :

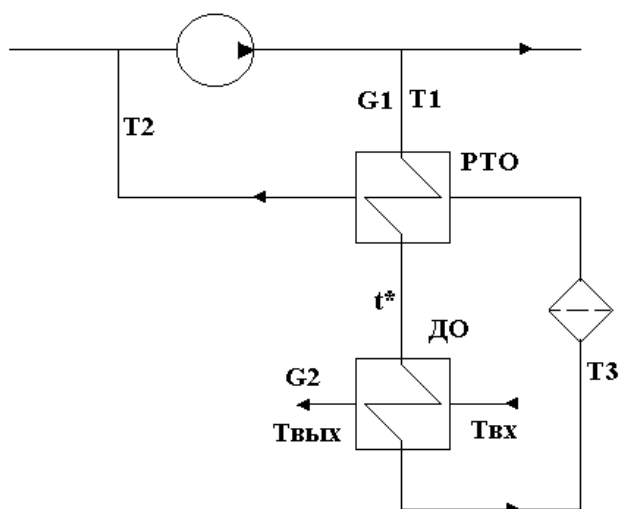
$$t_{см} = t_{возд} - \frac{100 - \varphi}{240} (t_{возд} + 10), ^{\circ}\text{C}$$

Принять температуру окружающего воздуха $t_{возд}=15^{\circ}\text{C}$.

б) при повышении давления в деаэраторе на $0,1 \text{ МПа}$. Считать, что автоматика АСУ ТП перерегулировку параметров не производит.

Принять: Исходное давление в деаэраторе равно $0,7 \text{ МПа}$, среднее паросодержание на выходе ТК равно 14.5%.

Задача №5.



Для изображенной схемы байпасной очистки теплоносителя найти в общем случае значение температуры T_2 , а также отношение расходов G_1/G_2 , считая заданными величины G_1 , t_1 , t_3 . Принять, что площади теплообмена РТО и ДО отличаются в « m » раз $\left(F_{PTO}/F_{DO} = m\right)$; осредненные коэффициенты теплопередачи при противоточном движении теплоносителя в этих теплообменниках равны между собой: $k_{PTO} = k_{DO}$, а температурные напоры в доохладителе ДО равны:

- на входе по охлаждающей воде 20°C ;
- на выходе 30°C .

Задача №6.

Определить качественно потерю $\Delta N_{эл}$ выработки электроэнергии на АЭС при отключении одного циркуляционного насоса (ЦН) технической воды, идущей на охлаждение конденсаторов турбин. Считать, что на конденсаторы каждой турбины работает по 2 ЦН; всего турбин на АЭС – n шт.

Рассмотреть варианты:

- а) перераспределение расходов тех. воды по конденсаторам не производится;
- б) производится перераспределение тех. воды с обеспечением одинаковых ее расходов по всем конденсаторам АЭС.

Рассчитать количественно отношение $\frac{\Delta N_{эл}^{a)}}{\Delta N_{эл}^{б)}}$ для $n=2$; $n=4$; $n=6$. Считать потерю расхода на блоке из 2-х ЦН при останове одного насоса 50%. Расход пара на турбину считать постоянным.

Задача №7.

Оцените изменение термического КПД цикла на АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 при переходе к активной зоне без гидравлического профилирования (при прочих равных условиях, в частности при сохранении запаса Δt_3 до кипения во всех кассетах и общего расхода теплоносителя па а.з.). Гидравлическое профилирование осуществляется по критерию одинакового подогрева во всех кассетах активной зоны. Необходимые параметры взять как для серийного блока В-320.

Задача №8.

Оцените изменение термического КПД цикла на АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 в предположении затрат на собственные нужды энергоблока при замене циркониевых оболочек твэлов $\lambda_{\text{тв}} = 20,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$, на оболочки с $\lambda = 10 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$ (при прочих равных условиях и сохранении критичности зоны). Считать при этом, что лимитирующим мощность реактора параметром является температура топлива. Температуру внутренней поверхности циркониевой оболочки на уровне середины активной зоны принять равной $t_1 = 370^\circ\text{C}$, коэффициент теплоотдачи равен $2 \cdot 10^4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$, Температура теплоносителя на входе в а.з. 290°C .

Методические указания к проведению семинарских занятий.

Семинарские занятия призваны закрепить и дополнить материал лекционного курса. С темами семинаров целесообразно ознакомить студентов на первом занятии. Это позволит им планомерно готовиться к занятиям в соответствии с календарным графиком. Успешное выполнение плана семинарских занятий позволит студентам подготовиться к промежуточной аттестации – экзамену по курсу АЭС.

Общие методические рекомендации.

1. Студент должен отчетливо представлять, что курс «Атомные электростанции» базируется на знаниях, ранее полученных в курсах Техническая термодинамика, Механика жидкости и газа, Тепломассообмен в энергетическом оборудовании, Физика ядерных реакторов, Ядерные энергетические реакторы, Парогенераторы и теплообменники АЭС.

2. При подготовке к семинарским занятиям студенты должны повторить материалы из соответствующих разделов дисциплин, указанных выше, а также материалы предыдущих разделов курса АЭС.

3. При выполнении заданий на семинарских занятиях рекомендуется использовать справочные материалы.

4. Задания, выданные на семинарских занятиях, необходимо выполнять в полном объеме, с необходимыми пояснениями.

5. Полученные результаты нужно проанализировать и при необходимости провести их обсуждение.

Семинарские занятия целесообразно начинать с обсуждения темы занятия. При этом необходимо сформулировать цель и задачи данного занятия. Провести опрос студентов по теоретической части, связанной с рассматриваемой задачей. Рассмотрим пример.

Задание.

Оцените изменение расхода пара на турбоустановку энергоблока с реактором ВВЭР-1000 при уменьшении степени регенерации на 29%. Тепловая мощность реактора не меняется.

Принять: давление в деаэраторе $P_d = 0,7 \text{ МПа} = \text{const}$, давление в ПГ $P_0 = 6,5 \text{ МПа} = \text{const}$, давление в конденсаторе $P_k = 0,004 \text{ МПа} = \text{const}$, температура конденсата после конденсатора $t_k = 30^\circ\text{C}$ продувка ПГ $p = 0,01$, температура питательной воды в номинальном режиме $T_{\text{пв}} = 230^\circ\text{C}$, температура острого пара $t_0 = 280^\circ\text{C}$.

Перед тем, как приступить к выполнению данного задания, рекомендуется рассмотреть (вместе со студентами группы) следующие вопросы.

1). Что такое регенеративный подогрев? Для чего он используется? Как осуществляется технически регенеративный подогрев?

2). Что такое степень регенерации? Что такое энергетический коэффициент? Оптимальные параметры регенеративного подогрева при произвольном числе регенеративных подогревателей в схеме.

3). Состав системы регенеративного подогрева блока с реактором ВВЭР-1000. Температура питательной воды в номинальном режиме работы турбоустановки.

4) Что такое продувка парогенератора? Для чего она используется?

5) Влияние начального давления рабочего тела на термический к.п.д. цикла. От чего еще зависит термический к.п.д. цикла?

После этого рассматривается тепловая схема турбоустановки, рассчитывается степень регенерации в номинальном режиме работы блока. Далее рассматривается режим с уменьшением степени регенерации по условию задания. Оцениваются новые характеристики регенеративного подогрева. После этого следует проанализировать, какой реальной ситуации может соответствовать рассматриваемое снижение степени регенерации.

Далее рассматриваем, как и на что повлияет рассматриваемое снижение степени регенерации. Определяется новый расход пара на турбоустановку при заданных в условии параметрах. После определения нового расхода необходимо проанализировать изменение мощности турбоустановки, связанное с изменением паропроизводительности.

Проанализировать полученные результаты. Ответить на вопросы. Подвести итог занятия. Обсудить тему следующего семинарского занятия.

Пример решения задачи.

С учетом исходных данных определяем степень регенерации в номинальном режиме работы

$$\sigma_0 = (t_{п.в.} - t_K) / (t_0 - t_K) = 0,76.$$

При уменьшении степени регенерации на 29% получаем «новое» значение степени регенерации σ_1 .

$$\sigma_1 = 0,76 * 0,29 = 0,5396.$$

Соответственно, «новое» значение температуры питательной воды будет равно

$$t_{п.в.1} = t_K + (t_0 - t_K) * \sigma_1 = 164,9^{\circ}\text{C}$$

Данная температура соответствует температуре насыщения при давлении в деаэраторе. Таким образом, уменьшение степени регенерации на 29% соответствует режиму работы с отключением регенеративных подогревателей высокого давления.

Т.к. по условию мощность реактора остается постоянной, то для парогенератора (тепловая мощность) можно записать следующее соотношение:

$$D_0 * (h'' - h_{п.в.0}) + D_{пр} * (h' - h_{п.в.0}) = D_1 * (h'' - h_{п.в.1}) + D_{пр} * (h' - h_{п.в.1}).$$

Введем обозначения: $h'' - h_{п.в.0} = \Delta h_0$; $h'' - h_{п.в.1} = \Delta h_1$.

Тогда можно записать:

$$D_0 / D_1 = \Delta h_1 / \Delta h_0 + p * (h_{п.в.0} - h_{п.в.1}) / \Delta h_0,$$

где $p = D_{пр} / D_0$ – относительная величина продувки.

Табличные значения: $h_{п.в.0} = 944,6$ кДж/кг; $h_{п.в.1} = 700,4$ кДж/кг;

$h'' = 2779$ кДж/кг; $h' = 1241$ кДж/кг.

Используя эти данные, получаем

$$D_0 / D_1 \approx 1,134.$$

Таким образом, при номинальном режиме паропроизводительность парогенератора была примерно на 13% выше.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Направление подготовки	14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»
Образовательная программа	«Проектирование и эксплуатация атомных станций»
Дисциплина	Атомные электрические станции

**Примеры заданий для выполнения
расчетно-графической работы (курсовой проект)**

Разработать проект АЭС с энергоблоком электрической мощностью $N_э$ МВт (тепловой мощностью реактора N_T , МВт). Паропроизводительная установка – двухконтурная с водо-водяным реактором под давлением (одноконтурная с водо-графитовым реактором типа РБМК, трехконтурная с реактором на быстрых нейтронах). В рабочем цикле предусмотрен промежуточный перегрев пара (высокотемпературный перегрев пара).

Энергоблок с реактором типа ВВЭР.

Параметры первого контура:

- давление в первом контуре	P_1 , МПа
- температура теплоносителя на входе в активную зону	$T_{вх}$, °C
- температура теплоносителя на выходе из активной зоны (подогрев по активной зоне)	$T_{вых}$, ($\Delta T_{аз}$), °C

Параметры рабочего контура:

- давление острого пара	P_2 , МПа
- температура питательной воды	$T_{п.в.}$, °С
- температура промежуточного перегрева	$T_{пп}$, °С
- перепад давления в СПП	$\Delta P_{СПП}$, МПа
- давление в деаэраторе	P_d , МПа
- давление в конденсаторе	P_k , МПа
- мощность теплофикационной установки	$N_{ТФУ}$, ГДж/час
- температурный график сетевой воды	$t_{вх}/t_{вых}$, °С

Энергоблок с реактором типа РБМК:

-давление пара перед турбиной	P_0 , МПа;
-температура питательной воды	$t_{п.в.}$, °С;
- температура промперегрева	$t_{п.п.}$, °С;
- перепад давления в промперегревателе	ΔP , МПа;
- давление в деаэраторе	P_d , МПа;
- давление в конденсаторе	P_k , МПа;
- мощность теплофикационной установки	$Q_{тфу}$, ГДж/час;
- температурный график сетевой воды	$t_{вх}/t_{вых}$, °С.

Значение параметров в исходных данных приводятся в таблицах вариантов задания, выбираются самостоятельно или по рекомендации консультанта-преподавателя.

Особенности тепловой схемы конкретного варианта согласуются с консультантом-преподавателем индивидуально. Корректировка вариантов заданий на курсовое проектирование проводится ежегодно.

Примеры вариантов задания на курсовое проектирование представлены ниже.

Энергоблок с реактором типа ВВЭР.

Вариант	1	2	3	4	5
P_0	6.3	6.0	5.5	5.8	6.5
$t_{п.в.}$	230	235	230	235	230
$t_{п.п.}$	$t_s^{гп} - 20$	$t_s^{гп} - 15$	$t_s^{гп} - 20$	$t_s^{гп} - 30$	$t_s^{гп} - 25$
ΔP	задается отдельно	задается отдельно	задается отдельно	задается отдельно	задается отдельно
P_d	выбирается самостоят.	выбирается самостоят.	выбирается самостоят	выбирается самостоят	выбирается самостоят
P_k	задается отдельно	задается отдельно	задается отдельно	задается отдельно	задается отдельно

N_{Σ}	1000	500	600	1000	1000
N_T	Может быть задано как альтернатива N_{Σ}				
$Q_{\text{тфу,}}$	50	60	70	80	90
$t_{\text{вх}}/t_{\text{вых}}$	70/120	70/130	65/120	65/125	70/140

Энергоблок с реактором типа РБМК

Вариант	6	7	8	9	10
P_0	7.0	6.8	6.5	7.0	6.5
$t_{\text{п.в.}}$	160	167	178	188	160
$t_{\text{п.п.}}$	$t_s^{\text{rp}} - 20$	$t_s^{\text{rp}} - 15$	$t_s^{\text{rp}} - 20$	$t_s^{\text{rp}} - 30$	$t_s^{\text{rp}} - 25$
ΔP	задается отдельно	задается отдельно	задается отдельно	задается отдельно	задается отдельно
P_d	выбирается самостоят.	выбирается самостоят.	выбирается самостоят	выбирается самостоят	выбирается самостоят
P_k	задается отдельно	задается отдельно	задается отдельно	задается отдельно	задается отдельно
N_{Σ}	1000	500	800	1200	1000
N_T	Может быть задано как альтернатива N_{Σ}				
$Q_{\text{тфу,}}$	90	100	80	70	50
$t_{\text{вх}}/t_{\text{вых}}$	90/140	85/145	90/150	85/155	90/160

А. Расчетно-пояснительная записка и графическая часть.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать:

1. Титульный лист.
2. Задание на курсовой проект.
3. Введение, в котором дается краткое описание состояния и перспективы развития данного типа АЭС.
4. Описание принятой тепловой схемы.
5. Порядок расчета тепловой схемы.
6. Обоснование применяемых величин (расходы пара на эжекторы, уплотнения, отопительная установка, утечка пара и воды и т.д.)
7. Расчетную часть по определению основных потоков пара и воды в элементах тепловой схемы, а также основные показатели тепловой экономичности машзала (турбоустановки) и АЭС в целом.
8. Иллюстрация: расчетная схема АЭС, h-s диаграмма процесса расширения пара в турбине

9.Таблицу, куда сводятся все данные по параметрам отдельных потоков пара и воды тепловой схемы

10.Небольшое заключение, в котором обсуждаются достоинства и недостатки рассмотренного проекта

11. Список используемой литературы при выполнении проекта (ссылки на литературу должны быть в тексте).

Графическая часть проекта выполняется в виде презентации в электронной форме с соблюдением необходимых требований, предъявляемых к чертежам и схемам. Графическая часть курсового проекта включает: развернутую тепловую схему, которая должна давать полное представление о технологическом процессе на АЭС с указанием основного оборудования; реактор и его вспомогательные системы, парогенератор, турбина с системой регенерации, очистные установки питательной воды, конденсатно-питательная система, дренажные насосы и т. д.

Б. Общие методические указания по выполнению курсового проекта.

2.1.Перед началом проектирования необходимо ознакомиться с проектами существующих и проектируемых АЭС данного типа, оценить их достоинства и недостатки

2.2. На основании индивидуального задания, а также с учетом типа реактора, принятого типа парогенератора необходимо составить расчетную схему турбоустановки и АЭС и согласовать её с преподавателем - консультантом. Схема турбоустановки выбирается в соответствии с теоретическими соображениями по выбору параметров отборов и разбивки подогрева питательной воды по ступеням. В проекте может быть принята и стандартная тепловая схема турбоустановки, но она должна быть обоснована. При разработке тепловой схемы необходимо обратить внимание на вопросы надежности и безопасности работы АЭС, уменьшение капитальных затрат.

2.3. Строится процесс расширения пара в турбине в $h-s$ диаграмме, где наносятся основные параметры отборов, которые сводятся в таблицу. При необходимости внутренние относительные КПД отсеков турбины оцениваются.

2.4. Определяются расходы пара и воды на отдельные элементы расчетной схемы в следующей последовательности:

а) рассчитываются внешние потребители тепла (обычно тепловая мощность бойлерной установки принимается из общих соображений или задается преподавателем-консультантом);

б) определяются потери рабочего тела и расход добавочной воды;

в) определяются расходы пара протечек и уплотнений турбины (этими величинами или задаются, или принимают на основе заводского расчета турбины);

г) определяются необходимые напоры насосов питательного и конденсатного трактов;

д) при определении параметров отборного пара на подогреватели регенеративной системы необходимо учитывать гидравлические потери в паропроводах от турбины до подогревателя;

е) при расчете регенеративных подогревателей поверхностного типа необходимо задаться перепадом температур между греющей и подогреваемой средами;

ж) для элементов схемы составляются уравнения материальных и тепловых балансов, и решается система уравнений;

з) составляется энергетический баланс турбины и определяется расход пара на турбоустановку и ее элементы;

и) определяется расход электроэнергии на собственные нужды машзала;

к) определяются основные показатели тепловой экономичности турбоустановки (КПД брутто, нетто и удельный расход тепла).

При расчете для всех размерных величин единицы размерности принимаются в стандартной системе единиц (СИ).

2.5. По рассчитанным величинам расхода пара и воды на элементы тепловой схемы, а также с учетом давления в конденсатно-питательном тракте осуществляется подбор основного тепломеханического оборудования, т.е. ПНД, ПВД, деаэрактор, насосы питательные, конденсатные и др.

2.6. Оцениваются потери тепла в реакторной установке, трубопроводах первого и второго контуров, парогенераторе и т.д. Определяются показатели тепловой экономичности энергоблока.

2.7. Результаты расчетов вместе с таблицами, графиками и схемами оформляются в виде расчетно-пояснительной записки. Расчетно-пояснительная записка предоставляется консультанту для проверки. После положительного заключения консультанта студент допускается до защиты проекта.

Для проведения контрольных работ, экзамена и зачета используются дополнительные материалы в виде схем основных технологических систем энергоблоков с реакторами типа ВВЭР-1000 и РБМК-1000. Эти схемы используются при ответах на вопросы, связанные с описанием работы конкретных систем энергоблоков и служат для оценивания навыков использования лекционного материала для описания конкретного оборудования энергоблоков. Ниже представлен список схем основных технологических систем, используемых в качестве оценочных средств.

1. Принципиальная технологическая схема блока с реактором типа ВВЭР-1000.
2. Принципиальная технологическая схема блока с реактором типа РБМК-1000.
3. Компоновка основного технологического оборудования блока с реактором типа ВВЭР-1000.
4. Система компенсации давления блока с реактором типа ВВЭР-1000.
5. Система подпитки-продувки блока с реактором типа ВВЭР-1000.

6. Система аварийного охлаждения активной зоны ВВЭР-1000 – пассивная часть.
7. Система аварийного и планового расхолаживания ВВЭР-1000.
8. Система аварийного ввода бора ВВЭР-1000.
9. Спринклерная система ВВЭР-1000.
10. Система локализации аварий ВВЭР-1000: гермооболочка.
11. Система аварийной питательной воды парогенераторов блока ВВЭР-1000.
12. Система продувки и дренажей парогенератора ВВЭР-1000.
13. Паропроводы острого пара двухконтурной ЯЭУ и защита ПГ и второго контура от превышения давления.
14. Реакторная установка РБМК-1000. Схема КМПЦ.
15. Схема металлоконструкций реактора типа РБМК-1000.
16. Газовый контур РБМК-1000.
17. Контур охлаждения каналов СУЗ и КОО.
18. Система продувки и расхолаживания РБМК-1000.
19. Система аварийного охлаждения реактора РБМК-1000.
20. Система локализации аварий РБМК-1000.
21. Схема включения основных эжекторов.
22. Схема включения БОУ и конденсатных насосов: блок с реактором типа ВВЭР-1000.
23. Схема включения БОУ и конденсатных насосов: блок с реактором типа РБМК-1000.
24. Система основного конденсата блока с реактором типа ВВЭР-1000.
25. Система основного конденсата блока с реактором типа РБМК-1000.
26. Схема обвязки деаэратора.
27. Схема системы питательной воды ВВЭР-1000.
28. Схемы испарительных установок.
29. Схема теплофикационной установки