

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**

Утверждено на заседании  
Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Протокол от 28.08.2023 № 23.8

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ  
по дисциплине**

Энергооборудование ядерных энергетических установок

---

*название дисциплины*

Специальность

**14.05.01 Ядерные реакторы и материалы**

---

Образовательная программа

**Ядерные реакторы**

---

*Шифр, название специализации*

Форма обучения: очная

**г. Обнинск 2023 г.**

## **Область применения**

Фонд оценочных средств (ФОС) – является обязательным приложением к рабочей программе дисциплины «Энергооборудование ядерных энергетических установок» 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 «Энергооборудование ядерных энергетических установок» 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

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

Код компетенции	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПК-1	Способен создавать теоретические и математические модели, описывающие нейтронно-физические процессы в реакторах, процессы гидродинамики и теплопереноса в активных зонах или воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды, системы учета, контроля ядерных материалов	З-ПК-1 Знать нейтронно-физические процессы в реакторах, процессы гидродинамики и теплопереноса в активных зонах или воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды, системы учета, контроля ядерных материалов У-ПК-1 Уметь создавать теоретические и математические модели в профессиональной области В-ПК-1 Владеть навыками работы с современными расчетными программными средствами

### 1.2. Этапы формирования компетенций в процессе освоения ОП

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
<b>Текущая аттестация, 7 семестр</b>			
1.	Конструктивное исполнение АЭС	З-ПК-1	Кл1
2.	Оборудование АЭС	З-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	ЛР1
<b>Промежуточная аттестация, 7 семестр</b>			
	экзамен	З-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	Экзаменационный билет
<b>Текущая аттестация, 8 семестр</b>			
1.	Оборудование АЭС	З-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	Кл»
2.	Размещение АЭС	З-ПК-1	ЛР2, ЛР3
<b>Промежуточная аттестация, 8 семестр</b>			
	экзамен	З-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	Экзаменационный билет

## 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
<b>Высокий</b> <i>Все виды компетенций сформированы на высоком уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Творческая деятельность	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> 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
<b>Продвинутый</b> <i>Все виды компетенций сформированы на продвинутом уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Применение знаний и умений в более широких контекстах учебной и профессиональной деятельности, нежели по образцу, большей долей самостоятельности и инициативы	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> 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
<b>Пороговый</b> <i>Все виды компетенций сформированы на пороговом уровне</i>	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
<b>Ниже порогового</b>	Отсутствие признаков порогового уровня: компетенции не сформированы. Студент не в состоянии продемонстрировать обладание компетенциями в стандартных ситуациях.		0-59	Неудовлетворительно/ Незачтено

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	<b>высокий</b>	<b>высокий</b>
	<i>продвинутый</i>	<i>высокий</i>
	<i>высокий</i>	<i>продвинутый</i>
продвинутый	<i>пороговый</i>	<i>высокий</i>
	<i>высокий</i>	<i>пороговый</i>
	<b>продвинутый</b>	<b>продвинутый</b>
	<i>продвинутый</i>	<i>пороговый</i>
	<i>пороговый</i>	<i>продвинутый</i>
пороговый	<b>пороговый</b>	<b>пороговый</b>
ниже порогового	<b>пороговый</b>	<b>ниже порогового</b>
	<b>ниже порогового</b>	-

### 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.

#### 7 семестр

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	Неделя	Балл	
		Минимум*	Максимум**
Текущая аттестация	<b>1-16</b>	<b>36 - 60% от максимума</b>	<b>60</b>
Контрольная точка № 1	<b>7-8</b>	<b>18 (60% от 30)</b>	<b>30</b>
Кл1	8	18	30
Контрольная точка № 2	<b>15-16</b>	<b>18 (60% от 30)</b>	<b>30</b>
ЛР1	15	18	30

<b>Промежуточная аттестация</b>	-	<b>24 – (60% 40)</b>	<b>40</b>
Экзамен	-		
<i>Вопрос 1</i>	-	12	20
<i>Вопрос 2</i>	-	12	20
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

#### 8 семестр

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	Неделя	Балл	
		Минимум*	Максимум**
<b>Текущая аттестация</b>	<b>1-16</b>	<b>36 - 60% от максимума</b>	<b>60</b>
<b>Контрольная точка № 1</b>	<b>7-8</b>	<b>18 (60% от 30)</b>	<b>30</b>
Кл1	8	18	30
<b>Контрольная точка № 2</b>	<b>15-16</b>	<b>18 (60% от 30)</b>	<b>30</b>
ЛР1	15	9	15
ЛР2	16	9	15
<b>Промежуточная аттестация</b>	-	<b>24 – (60% 40)</b>	<b>40</b>
Экзамен	-		
<i>Вопрос 1</i>	-	12	20
<i>Вопрос 2</i>	-	12	20
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

\* - 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.Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков**

## Форма экзаменационного билета

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

Специальность 14.05.01 «Ядерные реакторы и материалы»  
Образовательная программа «Ядерные реакторы»  
Дисциплина Энергооборудование ядерных энергетических установок

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №\_\_

1. Вопрос для проверки уровня обученности ЗНАТЬ  
.....
2. Вопрос для проверки уровня обученности УМЕТЬ и ВЛАДЕТЬ  
.....

Составитель \_\_\_\_\_  
(подпись)

Р.В.Фомин

Начальник отделения \_\_\_\_\_  
(подпись)

Д.С.Самохин

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

## Критерии и шкала оценивания

Оценка	Критерии оценки
Отлично 36-40	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала;</li><li>- исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал;</li><li>- правильно формулировать определения;</li><li>- продемонстрировать умения самостоятельной работы с литературой;</li><li>- уметь сделать выводы по излагаемому материалу.</li></ul>
Хорошо 30-35	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать достаточно полное знание программного материала;</li><li>- продемонстрировать знание основных теоретических понятий; достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал;</li><li>- продемонстрировать умение ориентироваться в литературе;</li><li>- уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу.</li></ul>
Удовлетворительно 24-29	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать общее знание изучаемого материала;</li><li>- показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины;</li><li>- уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li><li>- знать основную рекомендуемую программой учебную литературу.</li></ul>
Неудовлетворительно 23 и меньше	Студент демонстрирует: <ul style="list-style-type: none"><li>- незнание значительной части программного материала;</li><li>- не владение понятийным аппаратом дисциплины;</li><li>- существенные ошибки при изложении учебного материала;</li><li>- неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li><li>- неумение делать выводы по излагаемому материалу.</li></ul>

**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**

Специальность	<b>14.05.01 «Ядерные реакторы и материалы»</b>
Образовательная программа	<b>«Ядерные реакторы»</b>
Дисциплина	<b>Энергооборудование ядерных энергетических установок</b>

**ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ**

**7 семестр**

1. Принципиальная схема и основное оборудование одноконтурной АЭС.
2. Принципиальная схема и основное оборудование двухконтурной АЭС.
3. Принципиальная схема и основное оборудование трехконтурной АЭС.
4. Состав и назначение принципиальной тепловой схемы АЭС.
5. Основные компоненты АЭС с реактором ВВЭР-1000.
6. Основные компоненты АЭС с реактором РБМК-1000.
7. Конструктивное исполнение реактора ВВЭР-1000.
8. Классификация насосов. Принцип действия и конструкция объемных насосов.
9. Классификация насосов. Принцип действия и конструкция лопаточных насосов.
10. Классификация насосов. Принцип действия и конструкция струйных насосов.
11. Специальные насосы АЭС.
12. Конструкция ГЦН первого контура.
13. Уплотнение силового оборудования. Сальниковые уплотнения.
14. Уплотнение силового оборудования. Дроссельные уплотнения.
15. Уплотнение силового оборудования. Торцевые уплотнения.
16. Назначение и конструкция компенсатора давления.
17. Материалы трубопроводов.
18. Особенности конструктивного исполнения трубопроводов.
19. Классификация арматуры.
20. Назначение и конструкция задвижек.
21. Назначение и конструкция вентиляей.
22. Назначение и конструкция клапанов.
23. Радиационные процессы в первом контуре.
24. Радиолиз водного теплоносителя.
25. Химические процессы в первом контуре.
26. Причины загрязнения теплоносителя.
27. Водный режим реакторов.
28. Очистка водного теплоносителя.
29. Классификация радиоактивных загрязнений.
30. Методы дезактивации.
31. Химический метод дезактивации.
32. Химико-механический метод дезактивации.

33. Электрохимический метод дезактивации.
34. Пароэмульсионный метод дезактивации.
35. Гидродинамический метод дезактивации.
36. Классификация радиоактивных отходов и способы их обезвреживания.
37. Классификация теплообменных аппаратов.
38. Основные конструкционные элементы теплообменных аппаратов.
39. Классификация видов коррозии в теплообменных аппаратах.
40. Общая коррозия в теплообменных аппаратах.
41. Коррозия под напряжением в теплообменных аппаратах.
42. Межкристаллитная коррозия в теплообменных аппаратах.
43. Основные способы борьбы с коррозией в теплообменных аппаратах.

## 8 семестр

1. Назначение и конструкция парогенератора.
2. Регенеративный подогрев теплоносителя.
3. Назначение и конструкция регенеративных подогревателей низкого давления.
4. Назначение и конструкция регенеративных подогревателей высокого давления.
5. Типы регенеративных подогревателей и схемы их включения.
6. Требования к конструкции регенеративных подогревателей.
7. Назначение и конструкция охладителя дренажа.
8. Классификация способов деаэрации. Назначение и конструкция деаэратора.
9. Принцип работы деаэратора.
10. Способы деаэрации воды и конструктивное исполнение деаэраторов.
11. Общие требования, предъявляемые к деаэраторам.
12. Назначение и конструкция сепаратора-перегревателя.
13. Назначение и конструкция сепаратосборника.
14. Назначение и конструкция конденсатосборников.
15. Принцип работы сепараторов-перегревателей.
16. Многоступенчатые турбины. Общие требования к конструкции.
17. Принцип действия турбины.
18. Особенности турбин на насыщенном паре.
19. Особенности турбин на радиоактивном паре.
20. Конструкция турбины. ЦВД.
21. Конструкция турбины. ЦНД.
22. Назначение и необходимость конденсатора.
23. Влияние конденсатора на КПД паросилового цикла.
24. Обеспечение необходимого вакуума в конденсаторе.
25. Деаэрация в конденсаторе.
26. Методы борьбы с присосами в конденсаторе.
27. Состав конденсационной установки.
28. Назначение и конструкция эжектора.
29. Возможные схемы технического водоснабжения АЭС.
30. Причины загрязнения конденсаторов и способы борьбы с загрязнениями.
31. Основные типы охладительных устройств технического водоснабжения.
32. Назначение и конструкция брызгальных бассейнов.
33. Назначение и конструкция прудов-охладителей.
34. Назначение и конструкция градирен.
35. Общие требования к площадке АЭС и генеральному плану.
36. Общие требования к компоновке оборудования в главном корпусе АЭС.
37. Типы компоновок АЭС.
38. Назначение и конструкция защитной оболочки.
39. Компоновка оборудования 1-го контура в гермооболочке.
40. Способы обеспечения естественной циркуляции в первом контуре.

**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**

Специальность	<u>14.05.01 «Ядерные реакторы и материалы»</u>
Образовательная программа	<u>«Ядерные реакторы»</u>
Дисциплина	<u>Энергооборудование ядерных энергетических установок</u>

**Вопросы для коллоквиумов**

**Раздел «Конструктивное исполнение АЭС»**

1. Общая архитектура и классификация ЯЭУ.
2. Энергетические циклы ЯЭУ.
3. Тепловая схема АЭС с реактором ВВЭР-1000.
4. Тепловая схема АЭС с реактором РБМК-1000.
5. Тепловая схема АЭС с реактором БН-600.
6. Основные технические параметры АЭС с реактором ВВЭР-1000.
7. Основные технические параметры АЭС с реактором РБМК-1000.
8. Основные технические параметры АЭС с реактором БН-600.

**Раздел «Оборудование АЭС»**

1. Классификация насосов.
2. Явление кавитации.
3. Конструктивное выполнение уплотнений различного типа.
4. Материалы трубопроводов АЭС.
5. Устройство и принцип действия арматуры.
6. Правила установки и эксплуатации арматуры.
7. Радиационные процессы в контуре.
8. Аппараты для очистки воды, принципы их работы и условия.
9. Основные методы дезактивации оборудования и помещений.
10. Обезвреживание радиоактивных отходов.
11. Основные способы борьбы с коррозией.
12. Требования, предъявляемые к парогенераторам.
13. Гидродинамическое совершенствование парогенераторной установки АЭС с реактором ВВЭР.
14. Типы регенеративных подогревателей и схемы их включения.
15. Способы деаэрации воды и конструктивное выполнение деаэраторов.
16. Сепаратор-пароперегреватель: назначение и устройство.
17. Принцип действия многоступенчатой турбины.
18. Принцип работы конденсатной установки.
19. Развитие современных конденсаторов.
20. Принцип работы эжектора.

## 21. Основные типы охлаждающих устройств оборотных систем водоснабжения.

### **Раздел «Размещение АЭС»**

1. Размещение АЭС и оборудования в здании.
2. Компоновка оборудования в главном корпусе АЭС.
3. Защитная оболочка: назначение и конструкция.
4. Компоновка оборудования 1 контура в гермооболочке.
5. Проектные аварии на АЭС с ВВЭР-1000.

### **Критерии оценки:**

1. уровень освоения студентом материала, предусмотренного учебной программой;
2. полнота и правильность ответа, степень осознанности, понимания изученного;
3. обоснованность, четкость, краткость изложения ответа.

### **Шкала оценивания:**

Каждому студенту задается 3 вопроса в произвольном порядке из списка вопросов к коллоквиуму. Каждый вопрос оценивается от 0 до 10 баллов.

7-10 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который :

- владеет методологией данной дисциплины, знает определения основных понятий;
- полно раскрывает содержание теоретических основ вопроса.

4-6 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- допустил незначительные неточности при изложении материала, не искажающие содержание ответа по существу вопроса.

1-3 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- владеет методологией данной дисциплины, знает определения основных понятий;
- раскрывает содержание не всех теоретических основ вопроса;

0 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- имеет пробелы в знаниях основного учебного материала по дисциплине, не может дать четкого определения основных понятий;

- не обладает достаточным объемом знаний.

**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**

Специальность	<u>14.05.01 «Ядерные реакторы и материалы»</u>
Образовательная программа	<u>«Ядерные реакторы»</u>
Дисциплина	<u>Энергооборудование ядерных энергетических установок</u>

**Комплект заданий для лабораторных работ 7 семестр**

**Лабораторная работа №1.**

**Определение критической конфигурации и измерение нейтронно-физических характеристик реактора БН-350.**

В процессе выполнения лабораторной работы должны определить и измерить следующие характеристики реактора:

- Критическую конфигурацию реактора (то есть загрузку топлива, или концентрацию топлива/поглотителя, или уровень заливки замедлителя);
- Измерить характеристики (скорости) движения органов СУЗ, их полные веса и градуировочные кривые (дифференциальную/интегральную);
- Провести калибровку нейтронной мощности;
- Измерить коэффициенты реактивности.
- 

Ход работы:

1. Перед началом работы внимательно изучить панель управления, назначение всех ключей и приборов.
2. Введите АЗ на верхний концевик. Придумайте способы провоцирования падения АЗ (их не менее 2).
3. Определите время падения АЗ.
4. Определите рабочие скорости движения АР и КП и скорости их падения по сигналу АЗ.
5. При выполнении работы все свои действия (перемещение стержней СУЗ, изменение уставок, загрузку ТВС, оценка критичности, и т.д.) обязательно фиксируйте в оперативном журнале.

Порядок действий при пуске следующий.

6. Установить органы регулирования в рабочее положение: АЗ- взвести на ВК, АР- взвести на ВК или в среднее положение, КП- взвести на ВК.
7. Установить уставку защиты АЗ по мощности на два-три порядка выше текущего уровня гальванометра и в дальнейшем передвигать ее вверх в соответствии с ростом текущей мощности.
8. Активизировать уставку защиты АЗ по периоду (F3), теперь она равна 20 сек (встроенное значение логики- всегда 10 сек).
9. Установить мощность источника нейтронов (от  $10^3$  до  $10^7$ ).

10. Установить температуру входа теплоносителя, рекомендуемое значение  $T=350-400^{\circ}\text{C}$  (облегченный вариант) или  $T=200^{\circ}\text{C}$  (усложненный).
11. Начать процедуру набора критической массы. Зафиксировать реперное значение тока камеры  $I_0$ . Нанести на график ОУ значение  $ОУ_0=1$  или  $ТОУ_0=1000$ . Определить, исходя из требований безопасности, порцию начальной загрузки топлива  $п_{ТВС-1}$ . Загрузить порцию топлива  $п_{ТВС-1}$ . Вычислить умножение  $У$   $п_{ТВС-1}$ , обратное умножение ОУ  $п_{ТВС-1}$ , нанести  $ТОУ$   $п_{ТВС-1}$  на график. Проведя прямую линию между двумя экспериментальными значениями, определить экстраполированное значение критической загрузки  $п_{ТВС-1-Экст.}$
12. Повторять процедуры загрузки порций топлива, соблюдая требования безопасности (до  $K_{эфф}=0.95-0.98$ , т.е.  $У=30-50$ , или  $ОУ=0.02-0.05$ ). Примечание. При  $ОУ=0.1$  или  $ТОУ=100$  изменить масштаб графика по оси ОУ в десять раз (иначе точки сливаются).
13. При  $K=0.95-0.98$  ( $У=30-50$ ,  $ОУ=0.02-0.05$ ) провести следующие регламентные процедуры:
- Зафиксировать обратное умножение в состоянии реактора, которое будет основным для этой процедуры (например  $ОУ_{0z}=0.020$ ,  $ТОУ=20$ );
  - Погружать компенсирующий орган в зону с шагом 20%, на каждом шаге делать остановку, измерять обратное умножение (например,  $ОУ_{20z}=0.022$ ,  $ОУ_{40z}=0.024$ ,  $ОУ_{60z}=0.026$ ,  $ОУ_{80z}=0.028$ ,  $ОУ_{100z}=0.030$ ). Построить график  $ОУ(ZкП)$  в единицах ОУ с началом отсчета  $ОУ_{0z}=0.020$ .
  - Переопределить или перенести начало отсчета оси ОУ, назначив ее началом значение  $ОУ_{0z}=0.000$ . Измерив интегральную кривую можно нанести значения ОУ стержня прямо на точку  $п_{ТВС}$  и  $ОУ=0.02$ , где начинались измерения.
  - Продифференцировать интегральную кривую.
  - Подготовить нормировку оси ОУ в абсолютных единицах  $\beta_{эфф}$ . Эту нормировку можно будет сделать после измерения разгона реактора на асимптотическом периоде.
  - Вернуть КП в исходное положение на «ВК».
  - Провести такое же измерение для АР/РР в точке  $Z=50\%$  и  $Z=100\%$ . Построить интегральную и дифференциальную кривые. Вернуть АР/РР в исходное положение на «ВК»
  - Проведите измерение полной эффективности АЗ методом сброса.
  - Провести калибровку нейтронной мощности.
14. После окончания измерений при  $K=0.96-0.98$  необходимо закончить процедуру набора критической массы. Загрузку последних ТВС проводить по особой процедуре.
15. Погрузить КП в зону до НК. Измерить ток камеры, вычислить ОУ, нанести его на график.
16. По кривой ОУ оценить, сможем ли мы погрузить ТВС без критичности.
17. Загрузить следующую ТВС, наблюдая за периодом. Измерить ток камеры, вычислить ОУ и нанести значение ОУ на график. Оценить расстояние до критичности.
18. Шагами по 20% извлекать КП. Измерить ток камеры, вычислить ОУ и нанести значение ОУ на график. Если период разгона в переходном процессе увеличивается - критичность не достигнута.
19. Когда период стабилизировался в районе  $T=40-70$  сек., то реактор почти критичен. Медленно и осторожно вывести источник из реактора по 1 декаде. Движением КП установите реактор в точно критическое состояние (это значит мощность не растет, период  $T=+9999$ ) и зафиксируйте это состояние (особенно КП) в журнале.
20. Переведите реактор в слегка надкритическое состояние разгона (с помощью движения  $\Delta Z$  КП) с периодом 300сек, зафиксируйте новое положение КП, дождитесь пока период станет почти постоянным  $T_{асс}$ . По формуле асимптотического периода измерьте чему равен  $\Delta Z$  КП в долях  $\beta_{эфф}$ . Проведите калибровку  $\Delta Z$  КП  $=\Delta\beta_{эфф} =\Delta ОУ$  из предыдущих измерений. Проведите эту процедуру для периода 100 сек, затем 50 сек. Запишите эти соотношения. Теперь можно перекалибровать кривые эффективности КП и РР в шкалу \$ или  $\beta_{эфф}$ .
21. При достижении мощности 0.1% от номинала установите задатчик расхода на 80%. При достижении мощности 1% (вы переходите в т.н. энергетический диапазон, где работают все эффекты реактивности). Замедлите разгон до периода 100 сек. Подготовьте задатчик мощности автоматического регулятора мощности (АРМ) на 20%.
22. При достижении мощности 20% от номинала остановите разгон и стабилизируйте мощность. Включите АРМ. Убедитесь, что АРМ «подхватил» управление.

23. Придумайте, как измерить коэффициенты реактивности реактора по параметрам температура теплоносителя ( $\partial\rho/\partial T$ ), мощность ( $\partial\rho/\partial W$ ) выгорание ( $\partial\rho/\partial B$ ). Осуществите измерение этих эффектов.

Повторите процедуру пуска в усложненном варианте при температуре теплоносителя  $T=200$  0С и придумайте как загрузить последний пакет.

### Контрольные вопросы.

1. Как должны быть связаны рабочая скорость движения стержней регулирования (КП и РР) и их вес для выполнения правил ядерной безопасности (ПБЯ-РУ АЭС)?
2. Правильно ли реализован проект БН-350 с точки зрения ПБЯ-РУ АЭС?
3. Каково должно быть время падения АЗ (ПБЯ-РУ АЭС)?
4. Зачем на каждом шаге из измерений рассчитывается вес 1-й ТВС?
5. Как должны соотноситься между собой веса ТВС и компенсирующего органа для безопасной реализации загрузки «по 1 ТВС» вблизи критического состояния?
6. Почему вблизи критического состояния при загрузке последней ТВС период разгона достигает почти 20сек или менее, хотя критичности (после релаксации переходного процесса) еще нет?
7. Как определить по приборам БЩУ наступление истинного критического состояния?
8. Какой вид кривой эффективности органов(разновидность) измеряется в подкритическом состоянии, почему?
9. Как обеспечивается безопасность?
10. Какие кривые эффективности(разновидность) можно измерять в критическом состоянии?
11. Интегральная градуировочная характеристика.
12. Дифференциальные градуировочная характеристика.
13. Коэффициенты реактивности.
14. Поведение критического реактора на разных уровнях мощности с учетом обратных связей.
15. Условие устойчивости работы ядерного реактора.

### Критерии оценки:

Показатели оценки	Критерии оценки	Баллы (max)
Предварительный опрос	-раскрытие вопроса; - названия и определения; - формулировка понятий и категорий; - использование дополнительной литературы и иных материалов и др.	5
Соблюдение требований к оформлению	- правильное оформление ссылок на используемую литературу; - грамотность и культура изложения; - владение терминологией и понятийным аппаратом проблемы; - соблюдение требований к объему оперативного журнала и графиков обратного умножения; - культура оформления.	5
Правильность выполнения заданий	-правильность и правильная последовательность выполнения заданий изложенных в методическом описании.	15
Обоснование выбранных действий	- продемонстрировать знаний программного материала; - изложить теоретический материал; - продемонстрировать умения работы с литературой; - выводы по излагаемому материалу.	5

### Шкала оценивания:

18-30 баллов – лабораторная работа зачтена;

0-17 баллов – отчет по лабораторной работе отдается на доработку.

## ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Специальность	<u>14.05.01 «Ядерные реакторы и материалы»</u>
Образовательная программа	<u>«Ядерные реакторы»</u>
Дисциплина	<u>Энергооборудование ядерных энергетических установок</u>

### Комплект заданий для лабораторных работ 8 семестр

#### Лабораторная работа №2.

Работа ЯЭУ с реактором ВВЭР-1000 при заклинивании и поломке ГЦН, а также при закрытии ГПЗК.

В процессе выполнения лабораторной работы студенты должны провести моделирование предложенных режимов работы ЯЭУ и провести анализ переходных процессов, возникающих при каждом режиме:

- Заклинивание ГЦН;
- Закрытие главного парового запорного клапана (ГПЗК);
- Поломка ГЦН.

Ход работы:

#### Заклинивание ГЦН

1. Загрузить задание: «D05 1 of 4 MCP jam».
2. Настроить для отображения графики зависимостей следующих параметров:
  - Нейтронная мощность N\_POWER;
  - Позиция пакета 10 УС YS05S32;
  - Давление в ПГ-1 YB10P10;
  - Уровень в ПГ-1 YB10L14;
  - Давление в ПГ-2 YB20P10;
  - Уровень в ПГ-2 YB20L14;
  - Давление в реакторе YC00P01;
  - Давление в ГПП (2С) RC11P01;
  - dP ГЦН-1 YA10P18;
  - dP ГЦН-2 YA20P18.
3. Установить масштаб времени «Scale set – 0,2»;
4. Запустить симулятор;
5. Провести наблюдение за реакцией симулятора на заклинивание ГЦН-2 и изменением параметров указанных в п.2;
6. По прошествии 60 секунд остановить симулятор;
7. Сохранить полученные графики зависимостей и дисплеи CPS, 1С, ТАВ, 3Д;
8. Повторить пункты 1-7 при заблокированном сигнале АЗ «dP RCP < 2,5» (остановить симулятор по прошествии 6 минут после заклинивания ГЦН).
- 9.

### **Заккрытие главного парового запорного клапана (ГПЗК)**

1. Загрузить задание: «Rated state operation»;
2. Настроить для отображения графики зависимостей следующих параметров:
  - Нейтронная мощность N\_POWER;
  - Позиция пакета 10 УС YS05S32;
  - Давление в ПГ-1 YB10P10;
  - Уровень в ПГ-1 YB10L14;
  - Расход питательной воды через ПГ-1 RL71F01;
  - Положение атмосферного клапана ПГ-1 (БРУ-А) TX50S05;
  - Температура горячей нитки 1-ой петли YA11T01;
  - Температура холодной нитки 1-ой петли YA12T01;
3. Установить масштаб времени «Scale set – 0,2»;
4. Запустить симулятор;
5. На 10-ой секунде закрыть вручную ГПЗК TX50S06;
6. Провести наблюдение за реакцией симулятора на закрытие ГПЗК и изменением параметров указанных в п.2;
7. По прошествии 150 секунд остановить симулятор;
8. Сохранить полученные графики зависимостей и дисплеи CPS, 1С, ТАВ, ЗД.

### **Поломка ГЦН**

1. Загрузить задание: «Rated state operation»;
2. Настроить для отображения графики зависимостей следующих параметров:
  - Нейтронная мощность N\_POWER;
  - Позиция пакета 10 УС YS05S32;
  - Давление в ПГ-1 YB10P10;
  - Уровень в ПГ-1 YB10L14;
  - Давление в ПГ-2 YB20P10;
  - Уровень в ПГ-2 YB20L14;
  - Расход питательной воды через ПГ-1 RL71F01;
  - Расход питательной воды через ПГ-2 RL72F01;
  - Температура горячей нитки 1-ой петли YA11T01;
  - Температура холодной нитки 1-ой петли YA12T01;
  - Температура горячей нитки 2-ой петли YA21T01;
  - Температура холодной нитки 2-ой петли YA22T01;
3. Установить масштаб времени «Scale set – 0,2»;
4. Запустить симулятор;
5. На 10-ой секунде отключить вручную ГЦН-2 YD20D01;
6. Провести наблюдение за реакцией симулятора на закрытие ГЦН-2 и изменением параметров указанных в п.2;
7. По прошествии 300 секунд остановить симулятор;
8. Сохранить полученные графики зависимостей и дисплеи CPS, 1С, ТАВ, ЗД;
9. Осуществить возврат реактора на номинальную мощность:
  - Запустить вручную ГЦН-2;
  - Дождаться возникновения сигнала «L SG2 > 39.5»;
  - После установления уровня, давления и расхода на всех ПГ на одном значении. Давление в реакторе поддерживать 4-мя нагревателями;
  - Начать разбавление борной кислоты. Открыть клапаны ТВ10S17, ТВ10S26, ТВ10S24 и запустить насос ТВ10D02;
  - Отключить насос ТВ10D02 при  $C_b = 7,69$ . Пакет №10 УС перевести в положение 79. Отключить АРМ. Начать разбавление теплоносителя чистой водой из бака ТК70S14. Открыть клапаны ТК70S14, ТК70S11.
  - После заполнения бака ТК70S14. Открыть клапан ТВ30002 для сброса теплоносителя в бак ТВ30B02;

- На мощности 99%. Включить АРМ. ТК70S14, ТК70S11 закрыть.

### Лабораторная работа №3.

#### Работа ЯЭУ с реактором ВВЭР-1000 при поломке ПН, закрытии регулирующего клапана турбины и при останове реактора.

В процессе выполнения лабораторной работы студенты должны провести моделирование предложенных режимов работы ЯЭУ и провести анализ переходных процессов, возникающих при каждом режиме:

- Поломка питательного насоса;
- Закрытие регулирующих клапанов турбины;
- Останов реактора и вывод на мощность.

Ход работы:

#### Поломка питательного насоса

1. Загрузить задание: «D04 trip of 1 out of 2 FWP».
2. Настроить для отображения графики зависимостей следующих параметров:
  - Нейтронная мощность N\_POWER;
  - Позиция пакета 10 УС YS05S32;
  - Значение смещения OFFSET;
  - Тепловая мощность реактора T\_POWER;
  - Величина реактивности REACTIVITY;
  - Давление в реакторе YC00P01;
  - Давление в ГПП (2С) RC11P01;
  - Давление в компенсаторе давления YP10L01;
  - Уровень в ПГ-1 YB10L14;
  - Уровень в ПГ-2 YB20L14;
  - Уровень в ПГ-3 YB30L14;
  - Положение регулировщика уровня ПГ-1 RL71S02.
3. Установить масштаб времени «Scale set – 0,2»;
4. Запустить симулятор;
5. Провести наблюдение за реакцией симулятора на отключение ПН RL31D01 и изменением параметров указанных в п.2;
6. По прошествии 8 минут провести процедуру возврата реактора на мощность;
7. Сохранить полученные графики зависимостей и дисплеи CPS, 1С, TAB, 3D.
- 8.

#### Закрытие регулирующих клапанов турбины

1. Загрузить задание: «Closure of turbine stop-valve»;
2. Настроить для отображения графики зависимостей следующих параметров:
  - Нейтронная мощность N\_POWER;
  - Тепловая мощность реактора T\_POWER;
  - Позиция пакета 10 УС YS05S32;
  - Концентрация борной кислоты TV30Q01;
  - Значение смещения OFFSET;
  - Величина реактивности REACTIVITY;
  - Давление в реакторе YC00P01;
  - Давление в компенсаторе давления YP10L01;
  - Давление в ГПП (2С) RC11P01;
  - Уровень в ПГ-1 YB10L14;
  - Уровень в ПГ-2 YB20L14;
  - Уровень в ПГ-3 YB30L14;
  - Положение регулировщика уровня ПГ-1 RL71S02.
3. Установить масштаб времени «Scale set – 0,2»;

4. Запустить симулятор;
5. На 30-ой секунде происходит закрытие клапана RA11S03;
6. Провести наблюдение за реакцией симулятора на закрытие регулирующего клапана и изменением параметров указанных в п.2;
7. Сохранить полученные графики зависимостей и дисплеи CPS, 1С, ТАВ, 3D.

#### **Останов реактора и вывод на мощность**

1. Загрузить задание: « Hot shutdown and startup without failures at ВОС»;
2. Настроить для отображения графики зависимостей следующих параметров:
  - Нейтронная мощность N\_POWER;
  - Тепловая мощность реактора T\_POWER;
  - Позиция пакета 10 УС YS05S32;
  - Концентрация борной кислоты TV30Q01;
  - Значение смещения OFFSET;
  - Величина реактивности REACTIVITY;
  - Давление в реакторе YC00P01;
  - Давление в компенсаторе давления YP10L01;
  - Давление в ГПП (2С) RC11P01;
  - Уровень в ПГ-1 YB10L14;
  - Уровень в ПГ-2 YB20L14;
  - Уровень в ПГ-3 YB30L14;
  - Положение регулировщика уровня ПГ-1 RL71S02.
3. Установить масштаб времени «Scale set – 0,2»;
4. Запустить симулятор;
5. Провести наблюдение за реакцией симулятора на закрытие регулирующего клапана и изменением параметров указанных в п.2;
6. Сохранить полученные графики зависимостей и дисплеи CPS, 1С, ТАВ, 3D;
7. Провести процедуру возврата реактора на мощность:
  - Начать извлечение пакетов УС.
  - Пакеты УС 1-9 извлечены из активной зоны. Пакет УС 10 в положении 70. Провести разбавление теплоносителя чистой водой. Открыть клапаны ТК70S14 и ТК70S11.
  - Достигнуть МКУ. (примерная концентрация бора  $C_b=6,94$ . Нейтронная мощность  $10^{-5}\%$ .)
  - Достигнуть уровня мощности 35,3%. (примерная концентрация бора  $C_b=6,81$ ). Закрыть клапаны ТК70S14 и ТК70S11. Включить АРМ для пакета УС 10.
  - Клапаны БРУ-К закрыть вручную. Регулирующие клапаны турбины перевести в автоматический режим.
  - Достигнуть мощности 98 %.

#### **Критерии оценки:**

<b>Показатели оценки</b>	<b>Критерии оценки</b>	<b>Баллы (max)</b>
Предварительный опрос	- раскрытие вопроса; - названия и определения; - формулировка понятий и категорий; - использование дополнительной литературы и иных материалов и др.	3
Соблюдение требований к оформлению	- грамотность и культура изложения; - владение терминологией и понятийным аппаратом проблемы; - культура оформления.	3
Правильность выполнения заданий	- правильность и правильная последовательность выполнения заданий изложенных в методическом описании.	6

Обоснование выбранных действий	<ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать знаний программного материала;</li><li>- изложить теоретический материал;</li><li>- продемонстрировать умения работы с литературой;</li><li>- выводы по излагаемому материалу.</li></ul>	5
--------------------------------------	---	---

**Шкала оценивания:**

9-15 баллов – лабораторная работа зачтена;

0-8 баллов – отчет по лабораторной работе отдается на доработку.