

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

И.о. заведующий баз. каф.  
«Атомные станции с водо-водяными  
энергетическими реакторами» (АСВВЭР)



Иванченко А. И.  
16.06.2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.13 Системы управления ядерными энергетическими установками  
и атомными электрическими станциями**

**1. Код и наименование специальности:**

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

**2. Специализация:**

Проектирование и эксплуатация атомных станций

**3. Квалификация выпускника: инженер – физик**

**4. Форма обучения: очная**

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

Баз. каф. «Атомные станции с водо-водяными энергетическими реакторами» (АСВВЭР)

**6. Составители программы:**

и.о. зав. базовой каф. «Атомные станции с водо-водяными энергетическими реакторами»  
(АСВВЭР), к.т.н., доц. Иванченко А.И.

**7. Рекомендована:**

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №6 от 14.06.2022 г.

**8. Учебный год: 2026/2027**

**Семестр(ы): А**

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

- формирование понимания нейтронно-физических процессов в ядерном реакторе, способов безопасного управления ЯППУ, приобретение навыков самостоятельной работы, необходимые для использования полученных знаний и умений для изучения других специальных дисциплин и в дальнейшей практической деятельности.

*Задачи учебной дисциплины:*

- подготовка выпускников к проектно-конструкторской и производственно-технологической деятельности в области создания новых материалов и производства изделий, современных технологий обработки материалов и нанотехнологий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства

- подготовка выпускников к эксплуатации и обслуживанию современных высокотехнологичных линий автоматизированного производства с высокой эффективностью, выполнением требований защиты окружающей среды и правил безопасности производства.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Учебная дисциплина Системы управления ядерными энергетическими установками и атомными электрическими станциями относится к вариативной части блока Б1.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-3	Способен выбирать, создавать и использовать оборудование атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, средства измерения теплофизических параметров и автоматизированного управления, защиты и контроля технологических процессов	ПК-3.1	Имеет представление о критериях выбора и создания оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, средств автоматизированного управления, защиты и контроля технологических процессов	<b>Знать:</b> – физические основы регулирования ядерных реакторов; – основные уравнения кинетики мультиплицирующих систем; – основные характеристики подкритических, критических и надкритических мультиплицирующих систем; – основные характеристики быстрых и медленных переходных процессов при положительных скачках реактивности и при скачкообразном введении отрицательной реактивности; – основные сведения о технических средствах управления реактором: поглощающие стержни, жидкостное борное регулирование, регулирование отражателем, спектральное регулирование; – методы определения эффективности органов регулирования и системы управления и защиты; – методы калибровки органов регулирования; – методы контроля за положением стержней управления и защиты; – способы определения состояния реактора по показаниям контрольно-измерительной аппаратуры; – характеристики систем аварийной защиты;  <b>Уметь:</b> – определять состояние реактора
		ПК-3.2	Обладает знаниями об эксплуатационных характеристиках оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок	
ПК-6	Способен анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и	ПК-6.1	Знает нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля,	

алгоритмы контроля, диагностики, управления и защиты в стационарных и нестационарных режимах работы, обеспечивать оптимальные режимы работы ядерного реактора, тепломеханического оборудования и энергоблока АС		диагностики, управления и защиты	<p>(мультиплицирующей системы) по показаниям контрольно-измерительной аппаратуры;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– определять критические характеристики (положение, концентрация и др.) органов регулирования в любой момент времени эксплуатации реактора;</li> <li>– определять и использовать дифференциальные и интегральные характеристики органов регулирования реактора;</li> <li>– рассчитывать эффективность органов регулирования и системы управления и защиты реактора;</li> <li>– определять эффекты реактивности при выводе реактора на рабочую мощность;</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– проведения расчета эффективности и компоновки системы управления и защиты реактора;</li> <li>– решения прямой и обратной задач управления реактором;</li> <li>– пуска и контроля параметров исследовательского ядерного реактора;</li> <li>– контроля параметров нейтронного поля при перемещении подвижных органов регулирования</li> </ul>
---	--	----------------------------------	---

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 6/216.**

**Форма промежуточной аттестации - экзамен**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			А семестр
Аудиторные занятия		96	96
в том числе:	лекции	16	16
	практические	48	48
	лабораторные	32	32
Самостоятельная работа		84	84
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации		36	Экзамен (36 ч)
Итого:		216	216

**13.1. Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Основные определения, терминология.	Терминология в ядерной энергетике. Значимость практической отработки действий оператора управления реактором, понимание и способности анализировать нейтронно–физические и теплотехнические процессы в ядерном реакторе.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258</a>
1.2	Элементы системы контроля и управления реактором.	Реактор и системы контроля и управления. Источники ионизирующих излучений в ядерном реакторе. Регистрация излучений. Ионизационные камеры (ИК) для регистрации нейтронов. Типы	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258</a>

		камер, принцип действия и режимы их работы. Устройство ИК для регистрации нейтронов. Выбор места для установки ИК. Диапазоны измерения плотности потока нейтронов. Градуировка нейтронных детекторов. Датчики прямой зарядки. Принцип действия, конструкция, преимущества и недостатки. Состав, назначение, функции. Датчики контроля температуры. Типы, недостатки и преимущества. Термопары, их погрешности.	
1.3	Контролируемые параметры ядерного реактора.	Период реактора. Связь периода с реактивностью. Мгновенное значение периода. Схема измерения периода. Реактиметр. Система внутриреакторного контроля. Назначение, состав, характеристики. Аппаратура контроля нейтронного потока.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258</a>
1.4	Реактивность реактора. Методы и органы воздействия.	Методы изменения реактивности. Регулирование реактивности стержнями. Особенности применения поглощающих стержней. Эффективность стержня поглотителя. Зависимость эффективности стержня от глубины погружения. Изменение реактивности реактора при перемещении стержня. Эффект интерференции стержней. Методы градуировки поглотителей. Метод разгона. Реактивностные параметры реактора.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258</a>
1.5	Исполнительные органы СУЗ.	Система регулирования реактора. Компенсирующие и регулирующие стержни. Аварийные стержни. Требования ПБЯ к органам СУЗ. Стержни СУЗ реактора РБМК. Стержни СУЗ реактора ВВЭР-440. Стержни СУЗ реактора ВВЭР-1000. Борное регулирование и его особенности. Характер изменения концентрации борной кислоты в первом контуре при водообмене. Эффективность борной кислоты. Выгорающие поглотители. Назначение, задачи, способы размещения. Гомогенные выгорающие поглотители. Блокированные выгорающие поглотители.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258</a>
1.6	Контроль герметичности оболочек (КГО).	Причины и типы нарушений герметичности оболочек твэлов. Методы контроля КГО. Работа реактора на мощности. Контроль тепловой мощности. Определение текущего энергозапаса. Особенности конструкций твэлов реактора ВВЭР-1000 и РБМК-1000. Нагрузки, влияющие на работоспособность твэлов и изменение его характеристик. Особенности растрескивания сердечников твэлов и влияющие на него факторы. Максимальные линейные нагрузки на твэлы и достижение глубоких выгораний. Накопление и выход газообразных ПД.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258</a>
1.7	Контроль распределения энерговыделения по активной зоне реактора.	Контроль за распределением энерговыделения. Контроль тепловой мощности реактора. Ксеноновые колебания в реакторе ВВЭР-1000. Управление аксиальным распределением энерговыделения. Останов, остаточное тепловыделение в реакторе.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258</a>
1.8	Аварийные ситуации и режимы. Аварийная защита.	Причины аварий в ядерных реакторах. Причина непреднамеренного повышения мощности реактора. Аварии с нарушением теплоотвода. Парациркониевая реакция. Аварийные ситуации и аварийные режимы. Системы аварийной защиты. Аварийные защиты реактора ВВЭР-1000. Системы аварийного отвода теплоты.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258</a>
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Основные определения, терминология.	Терминология в ядерной энергетике. Значимость практической отработки действий оператора управления реактором, понимание и способности	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258</a>

		анализировать нейтронно–физические и теплотехнические процессы в ядерном реакторе.	
2.2	Элементы системы контроля и управления реактором.	Реактор и системы контроля и управления. Источники ионизирующих излучений в ядерном реакторе. Регистрация излучений. Ионизационные камеры (ИК) для регистрации нейтронов. Типы камер, принцип действия и режимы их работы. Устройство ИК для регистрации нейтронов. Выбор места для установки ИК. Диапазоны измерения плотности потока нейтронов. Градуировка нейтронных детекторов. Датчики прямой зарядки. Принцип действия, конструкция, преимущества и недостатки. Состав, назначение, функции. Датчики контроля температуры. Типы, недостатки и преимущества. Термопары, их погрешности.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258</a>
2.3	Контролируемые параметры ядерного реактора.	Период реактора. Связь периода с реактивностью. Мгновенное значение периода. Схема измерения периода. Реактиметр. Система внутриреакторного контроля. Назначение, состав, характеристики. Аппаратура контроля нейтронного потока.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258</a>
2.4	Реактивность реактора. Методы и органы воздействия.	Методы изменения реактивности. Регулирование реактивности стержнями. Особенности применения поглощающих стержней. Эффективность стержня поглотителя. Зависимость эффективности стержня от глубины погружения. Изменение реактивности реактора при перемещении стержня. Эффект интерференции стержней. Методы градуировки поглотителей. Метод разгона. Реактивностные параметры реактора.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258</a>
2.5	Исполнительные органы СУЗ.	Система регулирования реактора. Компенсирующие и регулирующие стержни. Аварийные стержни. Требования ПБЯ к органам СУЗ. Стержни СУЗ реактора РБМК. Стержни СУЗ реактора ВВЭР-440. Стержни СУЗ реактора ВВЭР-1000. Борное регулирование и его особенности. Характер изменения концентрации борной кислоты в первом контуре при водообмене. Эффективность борной кислоты. Выгорающие поглотители. Назначение, задачи, способы размещения. Гомогенные выгорающие поглотители. Блокированные выгорающие поглотители.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258</a>
2.6	Контроль герметичности оболочек (КГО).	Причины и типы нарушений герметичности оболочек твэлов. Методы контроля КГО. Работа реактора на мощности. Контроль тепловой мощности. Определение текущего энергозапаса. Особенности конструкций твэлов реактора ВВЭР-1000 и РБМК-1000. Нагрузки, влияющие на работоспособность твэлов и изменение его характеристик. Особенности растрескивания сердечников твэлов и влияющие на него факторы. Максимальные линейные нагрузки на твэлы и достижение глубоких выгораний. Накопление и выход газообразных ПД.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258</a>
2.7	Контроль распределения энерговыделения по активной зоне реактора.	Контроль за распределением энерговыделения. Контроль тепловой мощности реактора. Ксеноновые колебания в реакторе ВВЭР-1000. Управление аксиальным распределением энерговыделения. Останов, остаточное тепловыделение в реакторе.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258</a>
2.8	Аварийные ситуации и режимы. Аварийная защита.	Причины аварий в ядерных реакторах. Причина непреднамеренного повышения мощности реактора. Аварии с нарушением теплоотвода. Парациркониевая реакция. Аварийные ситуации и аварийные режимы. Системы аварийной защиты.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29258</a>

		Аварийные защиты реактора ВВЭР-1000. Системы аварийного отвода теплоты.	
<b>3. Лабораторные занятия</b>			
3.1	Контролируемые параметры ядерного реактора.	Лабораторная работа №1. Нейтронно-физический расчет изменения макроконстант элементарной ячейки при выгорании топлива.	-
3.2	Реактивность реактора. Методы и органы воздействия	Лабораторная работа №2. Изучение характеристик элементарных ячеек ядерных реакторов	-
3.3	Исполнительные органы СУЗ.	Лабораторная работа №3. Изучение изменения характеристик элементарных ячеек ядерных реакторов при разогреве реактора и выходе на мощность.	-
3.4	Контроль герметичности оболочек (КГО).	Лабораторная работа №4. Изучение эффекта стационарного отравления реактора ксеноном-135	-
3.5	Аварийные ситуации и режимы. Аварийная защита.	Лабораторная работа №5. Изучение вклада различных нуклидов в энерговыделение в топливе и его изменения в процессе работы реактора.	-

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Основные определения, терминология.	2	6		8	16
2.	Элементы системы контроля и управления реактором.	2	6		8	16
3.	Контролируемые параметры ядерного реактора.	2	6	6	12	26
4.	Реактивность реактора. Методы и органы воздействия.	2	6	6	12	26
5.	Исполнительные органы СУЗ.	2	6	8	12	28
6.	Контроль герметичности оболочек (КГО).	2	6	6	12	26
7.	Контроль распределения энерговыделения по активной зоне реактора.	2	6		8	16
8.	Аварийные ситуации и режимы. Аварийная защита.	2	6	6	12	26
	Контроль					36
	Итого:	16	48	32	84	216

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами.

На практических занятиях необходимо уметь решать задачи и анализировать решение, на устных опросах обучаемый должен уметь продемонстрировать полученные на лекциях и практических занятиях знания, умения и навыки, отвечать на поставленные вопросы, поддерживать дискуссию по существу вопроса.

Методическое обеспечение аудиторной работы: учебно-методические пособия для студентов, учебники и учебные пособия, электронные и Интернет-ресурсы.

Методическое обеспечение самостоятельной работы: учебно-методические пособия по организации самостоятельной работы, контрольные задания и тесты в бумажном и электронном вариантах, тестирующие системы, дистанционные формы общения с преподавателем. Контроль самостоятельной работы реализуется с помощью опросов, тестов, вопросов по темам заданий и т.д.

## 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Владимиров, Владимир Иванович Физика ядерных реакторов: практические задачи по их эксплуатации / В. И. Владимиров. — 5-е изд., перераб. и доп.. — Москва: URSS, 2009. — 478 с.: ил.: 23 см.. — Библиогр.: с. 477-478.
2.	АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта / С. А. Андрущенко [и др.]. — Москва: Логос, 2010. — 604 с
3.	Дементьев Б.А. Кинетика и регулирование ядерных реакторов. М.: ЭА, 1986. 272 с.
4.	Овчинников Ф.Я., Семенов В.В. Эксплуатационные режимы водо–водяных энергетических реакторов. М.: ЭА, 1988.
5.	Баклушин, Рудольф Петрович. Эксплуатационные режимы АЭС : учебное пособие / Р. П. Баклушин. — 2-е изд., перераб. и доп.. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2012. — 530 с.: ил.— ISBN 978-5-383-00641-2.
6.	Аминов Р.З., Хрусталева В.А., Духовенский А.С., Осадчий А.И. АЭС с ВВЭР: режимы, характеристики, эффективность. М.: ЭА, 1990. 264 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
7.	Динамика ядерных реакторов / Колесов В.Ф., Леппик П.А., Павлов С.П. и др.; Под ред. Шевелева Я.В. М.: ЭА, 1990. 518 с.
8.	Мухин, К. Н. Экспериментальная ядерная физика [Текст]: учебник : в 3 т. Т. 2: Физика ядерных реакций. — Москва: Лань, 2009. — 336 с.:
9.	Прикладное программное обеспечение для проведения лабораторных работ по курсу «Физика ядерных реакторов». Описание: г. Обнинск: ЭНИЦ «Моделирующие системы», 2012.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
10.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ.
11.	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Электронный университет ВГУ
12.	<a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a> – ЭБС «Лань»
13.	<a href="https://www.studentlibrary.ru">https://www.studentlibrary.ru</a> – ЭБС «Консультант студента»
14.	<a href="https://urait.ru">https://urait.ru</a> – Образовательная платформа «ЮРАЙТ»
15.	<a href="https://rucont.ru">https://rucont.ru</a> - Информационно-телекоммуникационная система «Контекстум»

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	Физический расчет ядерного реактора на тепловых нейтронах: учебное пособие для вузов / В. И. Бойко [и др.]; Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2009. — 504 с.:

## 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

1. активные и интерактивные формы проведения занятий;

2. компьютерные технологии при проведении занятий;
3. презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;
4. специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;
5. разбор конкретных ситуаций при постановке целей и задач к разработке прикладных программ, при выборе программного обеспечения по установленным критериям, при разработке программ по предусмотренным алгоритмам и метода.

Для самостоятельной работы используется ЭБС Университетская библиотека online - [www.lib.vsu.ru](http://www.lib.vsu.ru) - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины – Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

Дистанционные образовательные технологии (ДОТ) применяются с использованием образовательного портала «Электронный университет ВГУ».

### 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лаборатория (для проведения занятий семинарского типа, текущего контроля и промежуточной аттестации. Установка для регистрации альфа-излучения различных источников (измерений скорости счета альфа-частиц в воздухе лаборатории при нормальных условиях).	г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 30
Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, текущего контроля и промежуточной аттестации Специализированная мебель, учебный стенд для изучения основ программирования цифровых процессоров, учебный стенд для изучения моделирования экспериментальных сигналов и их обработки в реальном масштабе времени с помощью микроконтроллеров, учебный стенд для моделирования цифровой обработки сигналов в измерительных системах физического эксперимента, учебный стенд для изучения автоматизации измерений с помощью ЭВМ и программно-управляемых модульных систем, учебный стенд для изучения цифровой регистрации событий, измерения амплитудных и временных распределений, интерфейсов передачи данных в ЭВМ, учебный стенд для изучения основ компьютерной томографии, учебный стенд для изучения много-параметрических и корреляционных измерений в ядерной физике на базе МК. РС IBM	г. Воронеж, площадь Университетская, дом 1, ауд. 506П
Компьютерный класс, аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, помещение для самостоятельной работы Специализированная мебель, компьютеры (системные блоки Intel Pentium-IV, мониторы LG FLATRON L17428-8F) (30 шт.) с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета Microsoft Windows 7, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019 LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: <a href="https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/">https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/</a> ) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: <a href="https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses">https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses</a> )	г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 40/5

### 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Основные определения, терминология.	ПК-3 ПК-6	ПК-3.1 ПК-3.2	Устный опрос, перечень вопросов к экзамену
2.	Элементы системы контроля и управления		ПК-6.1	



№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	реактором.			
3.	Контролируемые параметры ядерного реактора.			
4.	Реактивность реактора. Методы и органы воздействия.			
5.	Исполнительные органы СУЗ.			
6.	Контроль герметичности оболочек (КГО).			
7.	Контроль распределения энерговыделения по активной зоне реактора.			
8.	Аварийные ситуации и режимы. Аварийная защита.			
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен			Перечень вопросов к экзамену Пункт 20.2	

## 20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

#### Перечень вопросов для устного опроса:

1. Типичные источники и счетчики нейтронов, используемые при пуске ядерного реактора (ЯР).
2. Вид кривой обратного счета при "удачном" расположении счетчиков.
3. Умножение, подкритичность. Может ли подкритичность превышать единицу.
4. Связь между установившимися параметрами и параметрами источника.
5. Как ведет себя плотность потока нейтронов в подкритический и критический ЯР при наличии источников и после его удаления.
6. При какой подкритичности на время установления существенно влияет время запаздывания нейтронов.
7. Как по изменению подкритичной мощности и высвобождаемой реактивности определить подкритичность ЯР при его пуске.
8. Что произойдет с ЯР при очередном освобождении реактивности, если в предыдущем освобождении такой же реактивности подкритическая мощность возросла в два раза.
9. Эффективная доля запаздывающих нейтронов; от чего зависит ценность запаздывающих нейтронов; чему равно время запаздывания для урана–235 и плутония–239.
10. Усредненное время жизни поколения нейтронов в ЯР.
11. Как изменяется ценность запаздывающих нейтронов с уменьшением размеров активной зоны; в каком случае ценность фотонейтронов сравнима с ценностью запаздывающих.
12. Поведение ЯР при реактивности, равной эффективной доле запаздывающих нейтронов; чему равна реактивность при работе ЯР на постоянном уровне мощности.
13. Как ведет себя соотношение плотностей запаздывающих и мгновенных нейтронов при введении положительной и отрицательной реактивности; что происходит быстрее: увеличение или уменьшение плотности потока нейтронов при одинаковом по абсолютному значению скачке реактивности (положительном и отрицательном).
14. Чем определяется скорость спада мощности ЯР через две–три минуты после его перевода в подкритическое состояние.

15. Игруют ли роль запаздывающие нейтроны при работе ЯР на стационарном уровне мощности; чему равны эффективный коэффициент размножения и реактивность в этом случае.
16. Перечислите регламентные режимы эксплуатации ЯР и их определяющие характеристики.
17. Реактивность, пределы регулирования ЯР по реактивности, запас реактивности.
18. Подкритичность на мгновенных нейтронах.
19. Динамика изменения мощности при мгновенном изменении реактивности от нулевого значения в положительную и отрицательную стороны.
20. Связь подкритичности и умножения; как ведет себя ЯР с плутониевым топливом при реактивности равной или большей  $+0.003$ .
21. Как изменить реактивность от нулевого значения (регламент), чтобы увеличить/снизить мощность в течение определенного промежутка времени и поддерживать ее затем на постоянном уровне.
22. Как ведет себя начальная скорость увеличения плотности потока нейтронов по мере приближения ЯР к критичности.
23. Как ведет себя время установления при приближении к критичности, чему оно равно при Кэфф. равном единице; чему равен период реактора при работе на постоянном уровне мощности.
24. Указать характерное значение запаса реактивности; потери реактивности за счет температурного и мощностного эффектов, за счет накопления продуктов деления равновесной концентрации, за счет выгорания и шлакования для быстрых и тепловых ЯР.
25. Функция линейного отклика, что она определяет.
26. Указать три основных вида регулирования реактивности; чем осуществляется активный и пассивный способ компенсации реактивности.
27. Физический вес (компенсирующая способность) регулирующего стержня; условие, которому должен удовлетворять физический вес всех компенсирующих стержней в ЯР без выгорающих поглотителей.
28. Дифференциальная характеристика компенсирующего стержня и единицы ее измерения.
29. Допустимая скорость высвобождения реактивности.
30. Как определить допустимый шаг перемещения компенсирующего стержня при работающей и неработающей пусковой аппаратуре; как определить допустимую скорость подъема компенсирующего стержня.
31. Для чего служит стержень автоматического регулирования, какому условию должен удовлетворять его физический вес, какое его положение в активной зоне является рабочим. Какому условию должен удовлетворять физический вес стержней аварийной защиты.
32. Из чего складывается изменение запаса реактивности с момента известного критического положения компенсирующих стержней до момента очередного пуска ЯР.
33. Что может произойти если текущая концентрация борной кислоты отличается от расчетной при пуске ЯР.
34. Из какого расчета определяется топливных кассет (ТК) в первой, третьей и следующих партиях при загрузке "свежей" активной зоны; начиная с какого момента загрузку ведут по одной ТК; какому условию должна удовлетворять скорость погружения ТК в технологический канал.
35. На какие диапазоны разбивается интервал мощности при пуске ЯР.
36. Из какого условия выбирается скорость высвобождения реактивности при пуске ЯР; способы увеличения безопасности пуска ЯР.
37. После какого положения компенсирующих стержней можно и каким образом сократить время пуска ЯР.
38. Как определить скорость погружения компенсирующего стержня, обеспечивающую постоянство мощности ЯР при увеличении реактивности с постоянной скоростью.
39. Каким должен быть физический вес стержня автоматического регулирования при эффективной доле запаздывающих нейтронов  $0,007$ , чтобы он, находясь в рабочем положении, мог компенсировать быстрое увеличение реактивности, приводящее к скачку мощности на  $20\%$  от текущего значения.
40. Указать шаг подъема и время выдержки регулировочной кассеты ЯР ВВЭР-440 в неконтролируемом диапазоне мощности.
41. Указать основные условия ядерной безопасности при пуске ЯР; в каком случае при пуске можно увеличить скорость высвобождения реактивности выше регламентной; какой прибор первым регистрирует выход ЯР на минимальный контролируемый уровень мощности.
42. Перечислить основные составляющие системы управления и защиты (СУЗ) реактора ВВЭР.

43. Причины появления и последствия сигналов аварийной защиты первого рода в реакторах ВВЭР; какова скорость движения стержней СУЗ вниз "самоходом" для ВВЭР.

44. Как определить скорость ввода отрицательной реактивности при движении стержней СУЗ вниз.

45. Указать предупредительные и аварийные уставки аварийной защиты реакторов ВВЭР в различных диапазонах мощности.

46. Сколько групп стержней СУЗ ЯР ВВЭР–440 и с какой скоростью опускаются в активную зону по предупредительной уставке; чем определяется эффективность групп стержней СУЗ.

47. Указать диапазоны нейтронной мощности при пуске ЯР и регистрирующие камеры, используемые в них.

48. Как определить запас реактивности ЯР при известных температуре активной зоны, концентрации борной кислоты и всех опущенных группах стержней СУЗ; из какого условия выбирается пусковая группа стержней СУЗ.

49. Какой диапазон разогрева активной зоны ЯР с точки зрения ядерной безопасности опасен при пуске; что происходит с реактивностью при охлаждении активной зоны при отрицательном температурном коэффициенте реактивности.

50. Указать признаки нарушения режима естественной циркуляции теплоносителя.

51. Какие стержни используются для регулирования высотных полей в ЯР РБМК–1000(1500); с какой скоростью вводятся стержни в его активную зону при срабатывании аварийной защиты по сигналам пятого рода.

52. По какой причине ограничен нижний предел оперативного запаса реактивности; в чем измеряется оперативный запас реактивности в ЯР РБМК–1000(1500); какова скорость ввода отрицательной реактивности в данном ЯР при срабатывании системы аварийной защиты по сигналам пятого рода.

53. К чему приводит увеличение паросодержания в активной зоне ЯР РБМК–1000(1500) на номинальной мощности; в каком случае допускается отключение системы аварийного охлаждения в ЯР РБМК–1000(1500).

54. Перечислить хронологию допущения ошибок и нарушений, а также их содержание и последствия, оперативным персоналом при развитии событий, приведших к аварии на четвертом блоке Чернобыльской АЭС; перечислить основные технические решения, принятые для повышения безопасности эксплуатации реакторов типа РБМК.

#### **Критерии оценивания устного опроса:**

- полнота и правильность ответа;
- степень осознанности, понимания изученного;
- языковое оформление ответа.

Обучающему засчитывается результат ответа при устном опросе, если обучающийся дает развернутый ответ, который представляет собой связное, логически последовательное сообщение на заданную тему, показывает его умение применять определения, правила в конкретных случаях. И не засчитывается, если обучающийся обнаруживает незнание большей части соответствующего вопроса, допускает ошибки в формулировке определений и правил, искажающие их смысл, беспорядочно и неуверенно излагает материал.

## **20.2. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: вопросы к экзамену.

Для оценивания результатов обучения используются следующие показатели

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом дисциплины;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 4) умение применять теоретические знания и умения на практике, решать практические задачи с использованием умений и навыков, полученных в процессе обучения.

#### **Перечень вопросов к экзамену:**

1. Основные понятия и определения ТАР
2. Структурная схема автоматического контроля. Структурная схема автоматического регулирования. Отличие системы автоматического управления от системы ручного регулирования

3. Структурная схема автоматического управления. Структурная схема замкнутая. Структурная схема разомкнутая. Структурная схема с обратной связью
4. Что такое возмущающие воздействия, входные и выходные сигналы САУ
5. В чем состоит различие разомкнутой и замкнутой САУ числом оборотов электродвигателя? Поясните назначение элементов этих САУ
6. Как классифицируются САУ по принципу действия? Приведите примеры таких САУ
7. Цели и принципы управления. Типовая функциональная схема САУ
8. Классификация САУ работы автоматических систем регулирования
9. Элементарные звенья и их соединения. Качество движения систем автоматики
10. Свойства объектов управления. Классификация автоматических регуляторов
11. Регуляторы прерывистого (дискретного) действия. Регуляторы непрерывного действия
12. Регуляторы прямого действия. Регуляторы косвенного действия
13. Выбор типа регуляторов и параметров его настройки
14. Магнитные пускатели. Магнитные усилители
15. Задающие устройства. Первичные преобразователи и их классификация. Исполнительные устройства. Регулирующие органы
16. Основные понятия автоматических и автоматизированных систем
17. Общие принципы организации автоматизированного управления на АЭС. Система управления и защиты реактора
18. Автоматическое регулирование уровня воды в парогенераторе
19. Автоматическое управление и защита турбоустановок
20. Автоматическое регулирование конденсатора
21. Автоматическое регулирование регенеративных подогревателей
22. Автоматическое регулирование давления в деаэраторе
23. Автоматическое регулирование уровня воды в деаэраторе
24. Автоматическое регулирование редукционно-охладительных установок
25. Общие принципы организации АСУ энергоблока

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при решении практических задач	Отлично
Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении практических задач	Хорошо
Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении практических задач	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	Неудовлетворительно

## Пример контрольно-измерительного материала (КИМ)

УТВЕРЖДАЮ

И.о. заведующий баз. каф.  
«Атомные станции с водо-водяными  
энергетическими реакторами» (АСВВЭР)  
\_\_\_\_\_ Иванченко А. И.

Направление подготовки:

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг.

Дисциплина: Б1.В.13 Системы управления ядерными энергетическими установками и атомными электрическими станциями

Вид контроля: Экзамен.

### Контрольно-измерительный материал №1

1. Физико-химические основы процесса коагуляции; показатели качества фильтрата после процесса объемной коагуляции.
2. Сущность борного регулирования реактивности и особенности ВХР первого контура АЭС с ВВЭР.

Преподаватель \_\_\_\_\_  
подпись \_\_\_\_\_ расшифровка подписи \_\_\_\_\_

### **21. Фонд оценочных средств, рекомендуемых к использованию в ходе проверки остаточных знаний (оценке достижения результатов освоения дисциплины)**

#### Тест

- 1) При отключении любого турбопитательного насоса допустимый уровень мощности составляет:  
А) *50% номинальной.*  
Б) 70% номинальной.  
В) 25% номинальной.  
Г) 45% номинальной.
- 2) Коэффициент готовности  $K_g$  — это  
А) *вероятность того, что восстанавливаемое устройство будет работоспособно в любой произвольно выбранный момент времени.*  
Б) величина определяющая, восстановление устройства будет работоспособно в некий произвольный выбранный момент времени.
- 3) Энергетический диапазон характеризуется значением нейтронных потоков  
А) *0,1% — 120% номинального потока*  
Б) 10% — 120% номинального потока  
В) 0,1% — 100% номинального потока  
Г) 1% — 100% номинального потока

4) Система внутриреакторного контроля (СВРК) – это

*А) это система контроля ядерного реактора, которая даёт сведения о параметрах и характеристиках активной зоны, необходимых для обеспечения проектного технологического режима эксплуатации активной зоны ядерного реактора.*

Б) это система контроля АЭС, которая даёт сведения о параметрах и характеристиках второго контура, необходимых для обеспечения проектного технологического режима эксплуатации АЭС.

5) Основная задача СВРК?

*А) восстановление поля энерговыделения в объёме активной зоны для обеспечения безопасной эксплуатации ядерного топлива.*

Б) восстановление поля энерговыделения в турбогенераторе для обеспечения безопасной эксплуатации реактора.

6) Система управления и защиты реактора предназначена для управления реактором при его пуске, работе на мощности, плановом или аварийном останове реактора в следующих режимах (выберите несколько вариантов ответа):

А) пуск реактора из подкритического состояния;

Б) вывод реактора на заданный уровень мощности;

В) работа реактора в энергетическом (рабочем) диапазоне;

Г) регламентная или аварийная остановка реактора;

*Д) все вышеперечисленные.*

7) В состав СУЗ входят следующие подсистемы (системы) (выберите несколько вариантов ответа):

А) система аварийной и предупредительной защиты, ускоренной предупредительной защиты, устройство разгрузки и ограничения мощности;

Б) аппаратура контроля нейтронного потока;

В) автоматический регулятор мощности;

Г) система группового и индивидуального управления органами регулирования, контроля положения органов регулирования, силового управления приводами СУЗ

*Д) все вышеперечисленные.*

8) Срабатывание ПЗ-1 инициируется при возникновении любого из следующих условий (выберите несколько вариантов ответа):

*А) период разгона реактора в любом из диапазонов измерения уровня нейтронного потока менее 20 с.;*

*Б) увеличение плотности потока нейтронов в любом из диапазонов её измерения выше заданной оператором уставки;*

*В) увеличение давления теплоносителя над активной зоной более 172 кгс/см<sup>2</sup>;*

*Г) увеличение температуры теплоносителя в любой из горячих ниток ГЦК более чем на 3 °С от номинального значения;*

*Д) увеличение давления в главном паровом коллекторе более 70 кгс/см<sup>2</sup>;*

*Е) снижение частоты на трех из четырех секциях электропитания работающих ГЦН менее 49 Гц – разгрузка до N=90% Nдоп;*

9) Условия работы защиты ПЗ-2 (выберите несколько вариантов ответа):

*А) повышение уровня плотности потока нейтронов в диапазоне источника (пусковом диапазоне) выше заданной уставки;*

*Б) увеличение давления теплоносителя над активной зоной более 165 кгс/см<sup>2</sup>;*

*В) падение одного органа регулирования СУЗ;*

*Г) незакрытое состояние арматуры ТК70S11 или ТК70S14;*

*Д) все вышеперечисленные.*

10) Система АЗ и ПЗ предусматривает:

*А) сигнализацию первопричины АЗ (ПЗ) на БЩУ, ее фиксацию в УВС и на щите СУЗ;*

*Б) сигнализацию и фиксацию в УВС последовательности появления сигналов;*

*В) сигнализацию неисправности щита СУЗ и панелей УКТС-СУЗ;*

*Г) шунтирование входных сигналов АЗ (ПЗ) в зависимости от режимов работы РУ;*

*Д) все вышеперечисленные.*

11) Сигналы АЗ, ПЗ-1 и ПЗ-2 поступают в панели ПФС. Панель ПАК2 выдает сигналы (выберите несколько вариантов ответа):

*А) на падение органов регулирования СУЗ в активную зону реактора (АЗ);*

*Б) перемещение ОР СУЗ вниз с рабочей скоростью (20 мм/с) для снижения мощности РУ (ПЗ-1);*

*В) запрет перемещения органов регулирования вверх (ПЗ-2).*

*Г) отсутствие сигнала на перемещение органов регулирования вниз.*

12) Функции ПТК АЗ-ПЗ (выберите несколько вариантов ответа):

*А) автоматический контроль текущих значений технологических и нейтронно-физиче-ских параметров реактора в проектных диапазонах;*

Б) отключение силовых вводов СУЗ по переменному току и по постоянному току (отключение силовых трансформаторов СУЗ и батарей).

В) запрет перемещения органов регулирования вверх (ПЗ-2).

Г) хранение информации в оперативном, суточном и долговременном архивах и вы-вод архивных данных на отображение и регистрацию;

13) Комплекс АKNП обеспечивает (выберите несколько вариантов ответа):

А) формирование дискретных сигналов превышения заданных значений  $P$  и  $T$ ;

Б) формирование сигнала переключения диапазонов измерения;

В) аналоговое представление на экране блока отображения информации о значении  $P$  и  $T$ , а также значений пороговых уставок по всем каналам;

Г) калибровку измерительных каналов в ручном режиме;

14) На БЩУ предусматривается постоянное присутствие следующего эксплуатационного персонала (выберите несколько вариантов ответа):

А) ведущий инженер управления турбиной;

Б) инженер спектрометрист;

В) старший инженер;

Г) все вышеперечисленные.

15) Оперативный персонал обеспечивает управление энергоблоком в следующих режимах (выберите несколько вариантов ответа):

А) пуск энергоблока;

Б) останов энергоблока;

В) режим нормальной эксплуатации, включая переходные процессы;

Г) планово-предупредительный ремонт (ППР);

Д) все вышеперечисленные.

#### Вопросы с развернутым ответом

1) К чему приводит выход из строя различных подсистем СУЗ.

Например, отказ подсистемы аварийной защиты реактора может привести к разрушению активной зоны, а ложное срабатывание аварийной защиты — к остановке реактора. Отказ системы регулирования мощности реактора не оказывает влияния на безопасную работу энергоблока, так как при этом можно перейти на ручное управление, а только снижает экономичность. Поэтому требования к надежности аварийной защиты выше, чем требования к надежности регулирования мощности, а требования к надежности



аварийной защиты по отказам жестче, чем по ложным срабатываниям. При расчете и проектировании системы управления и защиты ядерного энергетического реактора необходимо учитывать требования по надежности, предъявляемые к таким системам.

## 2) Резервный щит управления – это

предусмотренное проектом специально оборудованное помещение (размещенное территориально отдельно от БЩУ), предназначенное в случае отказа БЩУ для:

- надежного перевода РУ в подкритическое расхищенное состояние;
- поддержания её сколь угодно долго в этом состоянии;
- приведения в действие систем безопасности;
- получения надежной информации о состоянии реактора.

3) Местные щиты управления предназначены: для контроля и управления отдельными агрегатами и вспомогательным оборудованием энергоблока. Местные щиты, как правило, конструктивно состоят из одной или нескольких панелей. На панелях устанавливаются коммутационные аппараты, обеспечивающие подачу силового электропитания для контролируемого оборудования либо схем управления, защит и блокировок. Кроме того, на панелях местных щитов располагаются световые табло и индикаторы, характеризующие режимы работы контролируемого оборудования, а также обеспечивающие предупредительную или аварийную сигнализацию, при отклонении рабочих параметров от регламентных значений. На панелях местных щитов управления размещаются контрольно-измерительные приборы, позволяющие операторам контролировать рабочие характеристики систем и агрегатов, а также логические элементы, на которых частично или полностью реализуются технологические защиты, блокировки и сигнализация.

4) Электроприемники собственных нужд АЭС подразделяются на три группы по требованиям к надежности электропитания (в пределах I категории по ПУЭ):

1) I группа - потребители, не терпящие перерыва ни при каких режимах, включая полное исчезновение напряжения переменного тока от рабочих и резервных трансформаторов собственных нужд энергоблока, связанных с сетью энергосистемы, либо допускающие перерыв на доли секунды с последующим обязательным восстановлением питания и длительным надежным электроснабжением даже после срабатывания аварийной защиты реактора;

2) II группа – потребители, допускающие перерыв питания на время до десятков секунд с последующим обязательным восстановлением питания после срабатывания аварийной защиты;

3) III группа - потребители первой категории, не предъявляющие особых требований к надежности питания.

5) Оборудование и устройства АСУТП, системы и элементы АЭС делятся в части влияния на безопасность на четыре класса, перечислите их:

К классу 1 относятся ТВЭЛы и элементы АЭС, отказы которых являются исходными событиями, приводящими при проектном функционировании системы безопасности к повреждению тепловыделяющих элементов с превышением установленных для проектных аварий пределов.

К классу 2 относятся элементы, отказы которых являются исходными событиями, приводящими к повреждению тепловыделяющих элементов в пределах, установленных для проектных аварий, при проектном функционировании систем безопасности с учетом нормируемого для проектных аварий количества отказов в них, а также элементы систем безопасности, отказы которых приводят к невыполнению этими системами своих функций.

К классу 3 относятся: элементы систем, важных для безопасности, не вошедшие в классы 1 и 2; элементы, содержащие радиоактивные вещества, выход которых в окружающую среду (включая производственные помещения АС) при отказах превышает санитарно-гигиенические нормативы; элементы, выполняющие контрольные функции радиологической защиты персонала и населения.

К классу 4 относятся элементы нормальной эксплуатации АС, не влияющие на безопасность и не вошедшие в классы 1, 2 или 3.