

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

План одобрен
Ученым советом ИАТЭ НИЯУ МИФИ
Протокол № 25.8 от 25.08.2025

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Физическая теория реакторов
название дисциплины

для студентов специальности

14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Код и название специальности

Образовательная программа
Ядерные реакторы
Шифр, название специализации

Форма обучения: очная

г. Обнинск

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель изучения дисциплины:

Обучить студентов особенностям физической теории различных типов реакторов и методам проведения нейтронно-физических расчётов.

Задачи изучения дисциплины:

- обучение студентов принципиальным основам цепной реакции деления, ее количественным характеристикам и происходящим изменениям в ядерном реакторе, требующим специальных решений при конструировании реактора.
- Дать представление об уравнениях переноса нейтронов и ценности нейтронов среды.
- Научить использовать уравнения кинетики для решения задач в области мощностей таких, которые практически не оказывают влияния на технологические параметры реактора (температуру, давление, положение стержней и т.п.) и для построения реактиметра.
- Формализовать обратные связи на основе коэффициентов реактивности и построение уравнений динамики на основе точечных уравнений кинетики.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ (далее – ОП)

Дисциплина реализуется в рамках профессионального модуля.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

- Ядерная физика
- Теория переноса нейтронов
- Математика

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: «Критерии безопасности и оценка риска».

Дисциплина изучается на 4 курсе в 7 и 8 семестрах.

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

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

Код компетенции	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПК-2	Способен к созданию новых методов расчета современных реакторных установок и физических устройств, методов исследования теплофизических процессов и свойств реакторных материалов и теплоносителей; разработке новых систем преобразования тепловой и ядерной энергии в электрическую, методов и	З-ПК-2 Знать методы исследования и расчета процессов, происходящих в реакторных установках У-ПК-2 Уметь рассчитывать и проводить исследования процессов, протекающих в реакторных установках В-ПК-2 Владеть навыками применения информационных технологий при разработке новых установок, материалов и приборов

	методик оценки количественных характеристик ядерных материалов	
--	--	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Интеллектуальное воспитание	- формирование культуры умственного труда (В11)	Использование воспитательного потенциала дисциплин гуманитарного, естественнонаучного, общепрофессионального и профессионального модуля для формирования культуры умственного труда посредством вовлечения студентов в учебные исследовательские задания, курсовые работы и др.
Профессиональное воспитание	- формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)	1. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за научно-технические достижения России, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности за результаты исследований и их последствия, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечение в реальные научно-исследовательские проекты.
	- формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
	- формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)	1. Использование воспитательного потенциала дисциплин, профессионального модуля для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские курсовые проекты.

		2. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.
	- формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (B20); - формирование способности и стремления следовать в профессии нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения (B21); - формирование творческого инженерного мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (B22)	1. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепления рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
	- формирование культуры информационной безопасности (B23)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования базовых навыков информационной безопасности через изучение последствий халатного отношения к работе с информационными системами, базами данных (включая персональные данные), приемах и методах злоумышленников, потенциальном уроне пользователям.
	- формирование культуры ядерной и радиационной безопасности (B24); - формирование профессиональной ответственности в области разработки, а также	1. Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн.

	применения современных методов, приборов и систем для достижения устойчивого развития мирных ядерных технологий, направленных на улучшение труда и жизни человека (B25); - формирование ответственной позиции по применению ядерных технологий в свете сохранения окружающей среды для будущих поколений (B26)	2. Использование воспитательного потенциала содержания учебных дисциплин «Экология», «Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений», «Ядерные технологии», «Радиационная гигиена», «Атомное право», «Радиационная и экологическая безопасность объектов ЯТЦ» для формирования личной ответственности за соблюдение экологической и радиационной безопасности посредством изучения основополагающих документов по культуре ядерной безопасности, разработанных МАГАТЭ и российскими регулирующими органами, норм и правил обращения с радиоактивными отходами и ядерными материалами. 3. Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин «Информатика», «Принципы обеспечения безопасности АЭС», «Принципы обеспечения безопасности эксплуатации АЭС», «Критерии безопасности и оценки риска», «Ядерные технологии и экология топливного цикла», «Информационные и компьютерные технологии», «Физические основы получения информации», «Информационная безопасность», «Автоматизированная система управления технологическим процессом АЭС», «Системы управления и защиты ядерных энергетических установок» для формирования личной ответственности за соблюдение и обеспечение кибербезопасности и информационной безопасности объектов атомной отрасли через изучение вопросов организации информационной безопасности на объектах атомной отрасли, основных принципов построения системы АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокоэшелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов. 4. Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений», «Ядерные технологии», «Радиационная и экологическая безопасность объектов ЯТЦ», «Техногенные системы и экологический риск», «Безопасное обращение с РАО и ОЯТ», «Радиационная экология» для формирования ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов обеспечения такого уровня безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую
--	--	--

		среду обеспечивает сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработке ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла
--	--	--

5. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ С УКАЗАНИЕМ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА КОНТАКТНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ ЗАНЯТИЙ) И НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Вид работы	Форма обучения (вносятся данные по реализуемым формам)					
	Очная			Заочная		
	Семестр			Курс		
	№ 7	№ 8	Всего	№	№	Всего
Контактная работа обучающихся с преподавателем						
Аудиторные занятия (всего)	48	64	112			
В том числе:						
<i>лекции</i>	32	32	64			
<i>практические занятия</i>	16	16	32			
<i>лабораторные занятия</i>	-	16	16			
Промежуточная аттестация						
В том числе:						
<i>зачет</i>	-	-	-			
<i>экзамен</i>	-	36	36			
Самостоятельная работа обучающихся	60	44	104			
Всего (часы):	108	144	252			
Всего (зачетные единицы):	3	4	7			

6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ

6.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	Виды учебной работы в часах (вносятся данные по реализуемым формам)									
		Очная форма обучения					Заочная форма обучения				
		Лек	Пр	Лаб	Внеауд	СРО	Лек	Пр	Лаб	Внеауд	СРО
1.	Принципы работы ядерного реактора.										
1.1	Мощность и количество делений.	2	0,5	0		3					
1.2	Энерговыделение на единицу массы сожженного топлива.	2	0,5	0		3					
1.3	Накопление радиоактивности при работе реактора.	2	1	0		3					
1.4	Плотность потока нейтронов и его интегральные представления.	2	1	0		3					
2	Цепной процесс деления.										
2.1.	Эффективный коэффициент размножения и реактивность.	2	1	0		3					
2.2.	Расчет $k_{эфф}$ и ρ через скорости процессов.	2	1	0		3					
2.3.	Формула 4-х сомножителей для реакторов на тепловых нейтронах.	2	1	0		3					
2.4	Примеры критических масс и размеров.	0	1	0		3					
4.	Воспроизводство ядерного топлива.										
4.1.	Принципиальная возможность воспроизводства, необходимые и достаточные условия	2	1	0		3					
4.2	Коэффициенты воспроизводства и их связь со временем удвоения развития мощностей.	2	1	0		3					
5.	Обратные связи в реакторе.										
5.1.	Обратные связи атомной электростанции.	2	1	0		3					
5.2	Обратные связи ядерного реактора и их влияние на безопасность реактора.	1	0,5	0		3					
5.3.	Естественные и рукотворные пассивные	1	0,5	0		3					

	обратные связи (защитные свойства реакторов).										
6.	Запас реактивности и его компенсация.										
6.1.	Необходимость иметь запас реактивности.	2	0,5	0		3					
6.2.	Способы компенсации запаса реактивности.	2	0,5	0		3					
7.	Уравнения переноса нейтронов, УПН, и его сопряженное уравнение в операторной форме.										
7.1.	Операторы УПН и сопряженные. Свойства операторов.	2	0	0		3					
7.2.	Теория малых возмущений. Приближенные нахождения коэффициентов чувствительности.	2	2	0		3					
7.3.	Общее, асимптотическое и условно-критическое решения УПН	1	0	0		3					
7.4	Формула обратных часов – связь реактивности и периода реактора.	1	2	0		6					
	Итого за 7 семестр:	32	16	0		60					
9.	Спектр нейтронов для стационарной, гомогенной, бесконечной среды размножающей среды.										
9.1.	Предпосылки к возможностям и практической ценности расчета.	2	0	0		2					
9.2.	Вывод уравнений в групповом представлении. Рекуррентное соотношение.	4	2	0		2					
11.	Вывод уравнения кинетика исходя из баланса «средних» нейтронов.										
11.1	Вывод уравнения кинетика исходя из баланса «средних» нейтронов.	2	0			2					
12.	Аналитические решения уравнений кинетики.										
12.1	Общее решение.	2	0	3		2					
12.2	Одна группа запаздывающих нейтронов.	2	2	3		2					
12.3	Обращенное решение уравнений кинетики.	2	2	2		2					
12.4	Решение УК в приближении скачка на мгновенных нейтронах.	2	2	2		2					

13.	Коэффициенты реактивности и их оценка для идеализированного гомогенного реактора.										
13.1	Определение коэффициентов реактивности. Температурные КР.	2	1	2		2					
13.2	Особенности мощностного и доплеровского КР.	2	0	2		4					
14.	Коэффициенты реактивности и запасы реактивности для реакторов ВВЭР, РБМК, БН.										
14.1	Коэффициенты реактивности и запасы реактивности для реакторов ВВЭР, РБМК, БН.	2	0	2		4					
15.	Уравнения динамики реакторов.										
15.1	Общий вид уравнений динамики с использованием коэффициентов реактивности.	2	1	0		4					
15.2	Приближенные уравнения динамики (обратные связи по мощности, приближение мгновенного скачка, приближение без запаздывающих нейтронов.	2	1	0		4					
16.	Аналитические решения задач по динамике реакторов.										
16.1	Медленные процессы – приближение скачка на мгновенных нейтронах.	2	2	0		4					
16.2	Процессы на мгновенных нейтронах.	2	3	0		4					
17.	Анализ реактивностной аварии на 4-ом блоке Чернобыльской АЭС.										
17.	Анализ реактивностной аварии на 4-ом блоке Чернобыльской АЭС.	2	0	0		4					
	Итого за 8 семестр:	32	16	16		44					
	Всего:	64	32	16		68					

Прим.: Лек – лекции, Сем/Пр – семинары, практические занятия, Лаб – лабораторные занятия, СРО – самостоятельная работа обучающихся, Внеауд – внеаудиторные занятия.

6.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

Лекционный курс

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	Принципы работы ядерного реактора.	
1.1.	Мощность и количество делений.	Цепная реакция деления. Баланс нейтронов. Понятие критической массы и критического размера реактора. Работа реактора в энергетическом режиме. Связь мощности и скорости делений. Локальное и пространственное распределение энергии, выделяемой при делении.
1.2.	Энерговыделение на единицу массы сожженного топлива.	Максимальное количество энергии, нормированное на один акт деления ядер, на единицу массы делящихся ядер, на единицу массы топлива, на единицу массы выгруженного топлива.
1.3.	Накопление радиоактивности при работе реактора.	Остаточное энерговыделение (требование резервирования энергопитания ГЦН), невозможность прекращения цепной реакции деления мгновенно. Графики остаточного энерговыделения приближенная формула Ву-Вигнера).
1.4.	Плотность потока нейтронов и его интегральные представления.	Для вычисления различных нейтронно-физических характеристик требуются различные интегральные представления плотности потока нейтронов (спектр нейтронов, количество нейтронов, флюенс нейтронов).
2.	Цепной процесс деления.	
2.1.	Эффективный коэффициент размножения и реактивность.	Качественное описание цепной реакции деления Основные характеристики цепного процесса. Эффективный коэффициент размножения, $k_{эфф}$, и k_{00} (для бесконечно-протяженной среды). Общая запись для гомогенной системы с однокрупными сечениями. Более важно – отличие, $k_{эфф}$ от 1. Понятие реактивности.
2.2.	Расчет $k_{эфф}$ и ρ через скорости процессов.	Наиболее общая формула для расчета $k_{эфф}$ и реактивности. Упрощенный расчет в однокрупном представлении. Оценка предельных значений $k_{эфф}$ и ρ . Примеры расчетных значений $k_{эфф}$ и k_{00} .
2.3.	Формула 4-х сомножителей для реакторов на тепловых нейтронах.	Идеология формулы. Пояснение сомножителей формулы для гомогенной модели. Расчетная формула вероятности избежать резонансного захвата. Влияние гетерогенного расположения материалов на сомножители. Влияние на $k_{эфф}$ водо-уранового отношения. Влияние водоуранового отношения на коэффициент реактивности по температуре теплоносителя.
4.	Воспроизводство ядерного топлива.	
4.1.	Необходимые и достаточные условия возможности расширенного воспроизводства.	Определение расширенного воспроизводства топлива. Возможность воспроизводства топлива в уран-плутониевой и уран-ториевом циклах. Коэффициенты конверсии, воспроизводства и избыточного воспроизводства.
4.2.	Коэффициенты воспроизводства и их связь с временем удвоения развития мощностей. Значения КВ	Допустимые значения отношения макросечения захвата сырьевого материала к макросечению деления делящегося материала. Влияние плотности топлива и обогащения на параметры воспроизводства. Связь времени удвоения мощностей с избыточным коэффициентом воспроизводства.

	на энергетических реакторах.	
5.	Обратные связи.	
5.1.	Обратные связи атомной электростанции.	Определение понятий «обратные связи». Положительные и отрицательные обратные связи, их связь с безопасностью атомной электростанции.
5.2.	Обратные связи ядерного реактора. естественные (пассивные) и их влияние на безопасность реактора.	Определение обратных связей и их описание на примере работающего реактора атомной станции. Непосредственные и сложные (комплексные) обратные связи. Главная причина обратных связей – взаимосвязь технологических параметров и реактивности реактора, как следствие описания эффективного коэффициента размножения. Физические механизмы изменения реактивности при изменении технологических характеристик реактора (плотность, размеры, температура, давление).
5.3	Естественные и рукотворные пассивные обратные связи (защитные свойства реакторов).	Примеры пассивных связей (Допплер-эффект на резонансах U-238; естественная циркуляция и пр.). Проектные и конструкционные решения, влияющие на значение и полярность обратных связей. Примеры наиболее крупных аварий, обусловленных обратными связями (США, СССР, Япония).
6.	Запас реактивности и его компенсация.	
6.1.	Необходимость иметь запас реактивности.	Потеря реактивности при выводе реактора на мощность и его останове, изменение реактивности при выгорании топлива требуют наличия управляемого запаса реактивности.
6.2.	Способы компенсации запаса реактивности.	Компенсация запаса реактивности должна быть управляемой. Оперативный запас реактивности осуществляют с помощью управляемых поглощающих стержней. Управление запасом реактивности при выгорании топлива (управляемая концентрация поглотителя в теплоносителе; выгорающий поглотитель в топливе и материалах ТВС; специальные устройства, построенные на изменениях давления)
7.	Уравнения переноса нейтронов, УПН, и его сопряженное уравнение в операторной форме.	
7.1.	Операторы УПН и сопряженные. Свойства операторов.	Записываются уравнения переноса и сопряженное условно-критическое в операторной форме. Рассмотрен физический смысл операторов. Показано и доказано, что сопряженные операторы обладают замечательным свойством – возможностью «изменения последовательности интегрирования».
7.2.	Теория малых возмущений. Приближенные нахождения коэффициентов чувствительности.	Идеология малых возмущений позволяет находить коэффициенты чувствительности, для которых дается определение, область применений и ограничения. КЧ могут относиться к различным интегральным параметрам (характеристикам) реактора – реактивности, коэффициентам воспроизводства, обогащению и составу топлива и пр. Точные, и приближенные и совсем грубые оценки КЧ.
7.3.	Общее, асимптотическое и условно-критическое решения УПН	Приводится общее решение УПН и его анализ. Получено асимптотическое решение УПН, которое позволяет вычислить период (асимптотический) реактора. Рассмотрена идеология условно критического УПН – решение проблемы

		нахождения реактивности из решения УПН.
7.4	Формула обратных часов – связь реактивности и периода реактора.	Дан вывод уравнения обратных часов - связи реактивности реактора и периода. Показано, что значение периода изменяется после возмущения и после переходного периода в случае точеного уравнения кинетики устанавливается асимптотическое значение. Эти свойства наглядно интерпретируются приближением с одной группой запаздывающих нейтронов.
8.	Односкоростное, стационарное уравнение переноса нейтронов.	
8.1.	Пространственные распределения плотности потока нейтронов и ценности в плоском и цилиндрическом реакторах (гомогенный и «слоеный» реактор). Геометрический и материальный параметры.	УПН существенно упрощается в диффузионном приближении. Записываются решения пространственного распределения для указанных геометрий. Вводится понятия геометрического и материального параметров. Рассматривается два подхода к решению нахождения критических размеров – при заданном составе реактора и при заданных размерах. Изучается нахождения условий с максимальной (на примере реактора – источника нейтронов для радиационной терапии онкозаболеваний) и минимальной утечками нейтронов. Дается таблица расчетных значений критических масс и размеров ядерных реакторов с замедлителями.
8.2.	Эффективность отдельных поглощающих стержней. Эффективность системы стержней (приближение парной интерференции).	Подход к приближенному вычислению эффективности отдельного поглощающего стержня. Зависимость эффективности стержня от его геометрического расположения в активной зоне. Физическое рассмотрение интерференционных эффектов и их значимости в зависимости от геометрии и размеров активной зоны. Практический способ учета интерференционных эффектов используя подход «парной интерференции».
8.3.	Эффективности системы стержней и их зависимость от режима работы реакторов АЭС.	Дается описание и назначение систем стержней для энергетических реакторов ВВЭР, РБМК, БН и изменения их эффективности в течение кампании между перегрузками.
9.	Спектр нейтронов для стационарной, гомогенной, бесконечной среды размножающей среды.	
9.1	Предпосылки к возможностям и практической ценности расчета.	Для расчета спектра нейтронов можно использовать решения УПН при неизменных значениях всех характеристик реактора от времени и пространства.
9.2	Вывод уравнений в групповом представлении. Рекуррентное соотношение.	Для нахождения спектра нейтронов в упрощенном варианте УПН представляют в виде системы дифференциальных уравнений, записанных для энергетических групп нейтронов. При этом возникает необходимость «выдумывать» макроскопические сечения, которые адекватно описывают переход нейтронов из данной группы в другие (сечение увода, сечение перевода из группы в группу, сечение замедление). Оказывается, что такую систему уравнений можно решить рекуррентным способом.
10.	Вывод уравнений кинетики с использованием нестационарного уравнения	

переноса нейтронов и сопряженного условно-критического уравнения.		
10.1	Необходимость уравнений, связывающих только плотность потока нейтронов и реактивность со временем.	Общее решение УПН позволяет получить мгновенные (и затем асимптотические) значения периода реактора для данного исходного состояния реактора. Однако состояние реактора обычно изменяется во времени. Поэтому задача состоит в получении зависимости количества нейтронов (мощности) в функции реактивности (в общем случае меняющейся).
10.2	Совместное решение прямого и сопряженного уравнений для получения интегральных параметров. Физический смысл интегральных параметров.	Подробно рассмотрен алгоритм вывода точечного уравнения кинетики, основанный на совместном решении уравнения переносанейтронов в операторной форме и сопряженного (уравнения ценности). Сопоставление эффективных интегральных параметров с физическими (доля ЗН, время жизни мгновенных нейтронов, количество предшественников ЗН).
10.3	Разделение переменных и ограничения применения точечного уравнения кинетики.	Разделение временных и пространственно-энергетических переменных позволяет получить уравнения кинетики. Приближение ограничивает приложение точечного уравнения кинетики – реактивность не более половины доли ЗН.
11.	Вывод уравнения кинетика исходя из баланса «средних» нейтронов.	
11.1	Вывод уравнения кинетика исходя из баланса «средних» нейтронов.	В основе вывода – определения доли ЗН, времени жизни мгновенных нейтронов, $k_{эфф}$ и реактивности
12.	Аналитические решения уравнений кинетики.	
12.1	Общее решение.	Решение уравнений кинетики находит с помощью преобразований Лапласа. Особо подробно рассмотрено решение с одной группой ЗН. Для 6-ти групп ЗН показаны графики зависимости периода от реактивности.
12.2	Одна группа запаздывающих нейтронов.	Аналитические решения уравнений кинетики рассматриваются для ряда конкретных случаев. Стационарное состояние реактора (получение формулы обратного умножения). Разгон реактора на мгновенных нейтронах (роль запаздывающих нейтронов). Решение уравнений кинетики с одной группой запаздывающих нейтронов (дает качественное понимание о поведении реактора в простейшем аналитическом представлении). Рассматриваются также решения с 6-ю группами запаздывающих нейтронов (уравнение обратных часов), приближенное решение с использованием идеологии «скачка на мгновенных нейтронах» и обращенное решение уравнений кинетики (реактиметры).
12.3	Обращенное решение уравнений кинетики.	ОРУК – получен исходя из точечного уравнения кинетики. Особенно отмечается неизбежность пространственного эффекта. Важно, что в случае работы реактора на энергетических уровнях мощности и допустимых возмущениях реактивности, можно пренебречь источником нейтронов и производной мощности по времени.
12.4	Решение УК в приближении скачка на	Приближение требует подробного рассмотрения, поскольку его использование продуктивно для

	мгновенных нейтронах.	аналитических решений уравнений динамики при медленных переходных процессах.
13.	Коэффициенты реактивности и их оценка для идеализированного гомогенного реактора.	
13.1	Определение коэффициентов реактивности. Температурные КР.	Вводится понятие коэффициентов реактивности. Рассматриваются возможности расчета коэффициентов реактивности для идеализированного гомогенного реактора. Выделены составляющие температурного коэффициента реактивности, связанные с изменением плотности и размеров реактора, с изменением средней температуры нейтронного газа и с Доплер эффектом. Рассматривается зависимость реактивности от изменений плотности реактора за счет внешнего давления.
13.2	Особенности мощностного и доплеровского КР.	При определении МКР, как частной производной – он оказывается нулевым. Вводится понятие асимптотического МКР, который является взвешенной суммой всех коэффициентов реактивности и имеющий смысл только при отрицательном его значении. Для делящихся нуклидов к как правило сечение радиационного захвата меньше, чем сечение деления. Казалось бы, для этого случая Доплер-эффект должен быть положителен. Показано, что и для делящихся нуклидов Доплер-эффект чаще всего отрицателен.
14.	Коэффициенты реактивности и запасы реактивности для реакторов ВВЭР, РБМК, БН.	
14.1	Коэффициенты реактивности и запасы реактивности для реакторов ВВЭР, РБМК, БН.	Даны описания используемых в литературе коэффициентов реактивности для отечественных энергетических реакторов. Обращено внимание на различную трактовку при описании реакторов на тепловых и на быстрых нейтронах.
15.	Уравнения динамики реакторов.	
15.1	Общий вид уравнений динамики с использованием коэффициентов реактивности.	Рассмотрен алгоритм построения уравнений кинетики с обратными связями – уравнений динамики. Для реализации к уравнениям кинетики необходимо добавить уравнение, описывающее зависимость реактивности реактора с учетом изменения его характеристик и, следовательно, реактивности. При этом возникает требование к записи уравнений, связывающих характеристик реактора с его мощностью.
15.2	Приближенные уравнения динамики (обратные связи по мощности, приближение мгновенного скачка, приближение без запаздывающих нейтронов).	При очень медленных изменениях мощности (малые возмущения реактивности) можно подучить аналитические решения зависимости мощности от времени с учетом обратных связей по мощности реактора. При этом используется понятие асимптотического мощностного коэффициента реактивности, связанного со всеми коэффициентами реактивности. Существенное упрощение уравнений динамики дает приближение скачка на мгновенных нейтронах. Показано, что возможность аналитических решений тем приемлемей, чем меньше теплоемкость системы. Ряд задач по динамике можно решить аналитически, когда реактивность, вводимая в реактор, превышает

		долю запаздывающих нейтронов.
16.	Аналитические решения задач по динамике реакторов.	
16.1	Медленные процессы – приближение скачка на мгновенных нейтронах.	Рассматривается решение задач по зависимости мощности реактора во времени при обратной связи по мощности, по обратной связи по мощности и потере реактивности из-за выгорания топлива.
16.1	Процессы на мгновенных нейтронах.	Подробно рассматривается решение уравнения динамики в приближениях без ЗН, без потери тепловой энергии (адиабатические условия) и обратной связи по средней температуре всего реактора.
17.	Анализ реактивностной аварии на 4-ом блоке Чернобыльской АЭС.	
17.1	Анализ реактивностной аварии на 4-ом блоке Чернобыльской АЭС.	Рассмотрены нейтронно-физические причины аварии – положительный выбег реактивности при введении поглощающих стержней в активную зону реактора, положительный паровой эффект реактивности, малая скорость введения поглощающих стержней в активную зону реактора. Отмечено основное нарушение регламента – работа реактора с недопустимым количеством стержней в активной зоне

Практические/семинарские занятия

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	Принципы работы ядерного реактора.	
1.1.	Мощность и количество делений.	Работа реактора в энергетическом режиме. Связь мощности и скорости делений. Локальное и пространственное распределение энергии, выделяемой при делении.
1.2.	Энерговыведение на единицу массы сожженного топлива.	Максимальное количество энергии, нормированное на различные величины.
1.3.	Накопление радиоактивности при работе реактора.	Остаточное энерговыведение. Графики остаточного энерговыведения.
1.4.	Плотность потока нейтронов и его интегральные представления.	Использование интегральных представлений плотности потока нейтронов для вычисления скоростей реакций, количества нейтронов, флюенса.
2.	Цепной процесс деления.	
2.1.	Эффективный коэффициент размножения и реактивность.	Эффективный коэффициент размножения, $k_{эфф}$, и k_{00} (для бесконечно-протяженной среды). Общая запись для гомогенной системы с однокрупными сечениями. Реактивность.
2.2.	Расчет $k_{эфф}$ и ρ через скорости процессов.	Упрощенный расчет в однокрупном представлении. Оценка предельных значений $k_{эфф}$ и ρ .
2.3.	Формула 4-х сомножителей для реакторов на тепловых нейтронах.	Влияние гетерогенного расположения материалов на сомножители. Влияние на $k_{эфф}$ водо-уранового отношения. Влияние водоуранового отношения на коэффициент реактивности по температуре теплоносителя.
2.4	Примеры критических масс и размеров.	Примеры критических масс и размеров для реакторов цилиндрической, сферической и прямоугольной формой

3.	Изменение нуклидного состава топлива при работе реактора	
3.1.	Односкоростные дифференциальные уравнения для расчета состава тяжелых ядер в функции времени и их решения.	Аналитические решения для основных тяжелых ядер. Примеры зависимости количеств нуклида в функции времени для разных типов реактора.
3.2.	Динамика состава осколков деления во время работы реактора.	Приближенное решение для данного нуклида при использовании кумулятивного выхода. Количество и радиоактивность осколков деления после окончания работы реактора. Примеры интегральных характеристик и зависимость их значений от времени после останова реактора.
3.3.	Глубина выгорания топлива.	Определение глубины выгорания (зависимость и причины). Единицы измерения глубины выгорания и их связи. Основные соотношения между мощностью, глубиной выгорания, временем нахождения топлива в реакторе.
3.4.	Переходные процессы при отравлении реактора ядрами самария и ксенона, а также при изменениях концентрации непуния.	Стационарные количества ядер цепочек и зависимость от плотности потока нейтронов. Количества ядер (отравление) в функции времени при быстром изменении мощности при поддержании постоянным нового уровня мощности и изменение мощности без ее поддержания. Различные сценарии.
4.	Воспроизводство ядерного топлива.	
4.1.	Необходимые и достаточные условия возможности расширенного воспроизводства.	Определение расширенного воспроизводства топлива. Коэффициенты конверсии, воспроизводства и избыточного воспроизводства.
4.2.	Коэффициенты воспроизводства и их связь со временем удвоения развития мощностей.	Допустимые значения отношения макросечения захвата сырьевого материала к макросечению деления делящегося материала. Связь времени удвоения мощностей с избыточным коэффициентом воспроизводства.
5.	Обратные связи.	
5.1.	Обратные связи атомной электростанции.	Положительные и отрицательные обратные связи, их связь с безопасностью атомной электростанции.
5.2.	Обратные связи ядерного реактора, естественные (пассивные) и их влияние на безопасность реактора.	Непосредственные и сложные (комплексные) обратные связи. Физические механизмы изменения реактивности при изменении технологических характеристик реактора (плотность, размеры, температура, давление).
5.3.	Естественные и рукотворные пассивные обратные связи (защитные свойства реакторов).	Примеры пассивных связей (Допплер-эффект на резонансах U-238; естественная циркуляция и пр.). Проектные и конструкционные решения, влияющие на значение и полярность обратных связей.
6.	Запас реактивности и его компенсация.	
6.1.	Необходимость иметь запас реактивности.	Потеря реактивности при выводе реактора на мощность и изменение реактивности при выгорании топлива и останове реактора требуют наличия управляемого запаса реактивности.

6.2.	Способы компенсации запаса реактивности.	Оперативный запас реактивности осуществляют с помощью управляемых поглощающих стержней. Управление запасом реактивности при выгорании топлива.
7	Уравнения переноса нейтронов, УПН, и его сопряженное уравнение в операторной форме.	
7.2.	Теория малых возмущений. Приближенные нахождения коэффициентов чувствительности.	Решение задач по нахождению коэффициентов чувствительности эффективного коэффициента размножения, эффективности поглощающего стержня, коэффициента воспроизводства к вариациям макроскопических сечений в грубом приближении, не принимая во внимание ценность нейтронов. Рассмотрение (обсуждение) вопроса о возможных погрешностях грубого приближения.
7.4	Формула обратных часов – связь реактивности и периода реактора.	Решение задач на основе уравнения обратных часов по нахождению реактивности по измеренному (заданному) периоду реактора в приближении одной и шести групп запаздывающих нейтронов. Алгоритм решения и решение инверсной задачи – нахождение периода реактора по заданной реактивности.
8.	Односкоростное, стационарное уравнение переноса нейтронов.	
8.1.	Пространственные распределения плотности потока нейтронов и ценности в плоском и цилиндрическом реакторах (гомогенный и «слоеный» реакторы).	УПН существенно упрощается в диффузионном приближении. Записываются решения пространственного распределения для указанных геометрий. Вводится понятия геометрического и материального параметров. Рассматривается два подхода к решению нахождения критических размеров – при заданном составе реактора и при заданных размерах. Изучается нахождение условий с максимальной (на примере реактора – источника нейтронов для радиационной терапии онкозаболеваний) и минимальной утечками нейтронов. Дается таблица расчетных значений критических масс и размеров ядерных реакторов с замедлителями.
8.2.	Эффективность отдельных поглощающих стержней. Эффективность системы стержней (приближение парной интерференции).	Подход к приближенному вычислению эффективности отдельного поглощающего стержня. Зависимость эффективности стержня от его геометрического расположения в активной зоне. Физическое рассмотрение интерференционных эффектов и их значимости в зависимости от геометрии и размеров активной зоны. Практический способ учета интерференционных эффектов используя подход «парной интерференции».
8.3.	Эффективности системы стержней и их зависимость от режима работы реакторов АЭС.	Дается описание и назначение систем стержней для энергетических реакторов ВВЭР, РБМК, БН и изменения их эффективности в течение кампании между перегрузками.
9.	Спектр нейтронов для стационарной, гомогенной, бесконечной среды размножающей среды.	
9.2.	Вывод уравнений в групповом представлении.	Для нахождения спектра нейтронов в упрощенном варианте УПН представляют в виде системы дифференциальных уравнений, записанных для

	Рекуррентное соотношение.	энергетических групп нейтронов. При этом возникает необходимость «выдумывать» макроскопические сечения, которые адекватно описывают переход нейтронов из данной группы в другие (сечение увода, сечение перевода из группы в группу, сечение замедления). Оказывается, что такую систему уравнений можно решить рекуррентным способом.
12.	Аналитические решения уравнений кинетики.	
12.2	Одна группа запаздывающих нейтронов.	Задачи на основе решений уравнений кинетики с одной группой запаздывающих нейтронов (стационарное состояние, разгон на мгновенных нейтронах, вычисления асимптотических периодов). Сравнение результатов расчета поведения мощности реактора во времени с одной и 6-ю группами ЗН. Необходимость использования среднего значения постоянной распада в функции введенной реактивности.
12.3	Обращенное решение уравнений кинетики.	Используя ОРУК найти сценарий непрерывного введения реактивности для получения заданной последовательности вывода реактора на мощность.
12.4	Решение УК в приближении скачка на мгновенных нейтронах.	Решение задач по временному поведению мощности при введении реактивности, зависящей от времени.
16.	Аналитические решения задач по динамике реакторов.	
16.1	Медленные процессы – приближение скачка на мгновенных нейтронах.	Решение задачи о темпе потери мощности без ее регулирования с различными значениями обратной связи по мощности.
16.2	Процессы на мгновенных нейтронах.	Подробно рассматривается решение уравнения динамики в приближениях без ЗН, без потери тепловой энергии (адиабатические условия) и обратной связи по средней температуре всего реактора. Влияние учета запаздывающих нейтронов.

Лабораторные занятия

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Название лабораторной работы
12.	Аналитические решения уравнений кинетики.	
12.1	Общее решение.	Л.р. 1 "Уравнение точечной кинетики без учета обратных связей. Ввод реактивности в критический реактор"
12.2	Одна группа запаздывающих нейтронов.	Л.р. 2 "Уравнение точечной кинетики без учета обратных связей. Ввод нейтронного импульса в критический реактор"
12.3	Обращенное решение уравнений кинетики.	Л.р. 3 "Уравнение точечной кинетики без учета обратных связей. Ввод нейтронного импульса в подкритический реактор"
12.4	Решение УК в приближении скачка на мгновенных нейтронах.	Л.р. 4 "Уравнение точечной кинетики без учета обратных связей. Ввод источника нейтронов в критический реактор" Л.р. 5 "Уравнение точечной кинетики без учета обратных связей. Ввод реактивности в подкритический реактор с источником"

7. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Презентации курса;
2. Научные труды ИБРАЭ РАН URL: <http://www.ibrae.ac.ru/pubs/151/> (дата обращения 25.06.2018)
3. Электронный учебно-методический комплекс дисциплины «Физическая теория ядерных реакторов» <http://redu.iate.obninsk.ru>

8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

8.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Индикатор достижения компетенции	Наименование оценочного средства текущей и промежуточной аттестации
Текущий контроль, 7 семестр			
1.	Принципы работы ядерного реактора.	З-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2	Контрольная работа 1
2.	Цепной процесс деления.	З-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2	
3.	Изменение нуклидного состава топлива при работе реактора	З-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2	Контрольная работа 2
4.	Воспроизводство ядерного топлива.	З-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2	
5.	Обратные связи.	З-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2	Контрольная работа 3
6.	Запас реактивности и его компенсация.	З-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2	
Промежуточный контроль, 7 семестр			
	зачет	З-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2	Вопросы к зачету
Текущий контроль, 8 семестр			
1.	Уравнения переноса нейтронов, УПН, и его сопряженное уравнение в операторной форме.	З-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2	Контрольная работа 1
2.	Односкоростное, стационарное уравнение переноса нейтронов.	З-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2	
3.	Спектр нейтронов для стационарной, гомогенной, бесконечной среды размножающей среды.	З-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2	Контрольная работа 2
4	Вывод уравнений кинетики с использованием нестационарного уравнения переноса нейтронов и сопряженного условно-критического уравнения.	З-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2	
5	Вывод уравнения кинетика исходя из баланса «средних» нейтронов.	З-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2	Контрольная работа 1

6	Аналитические решения уравнений кинетики.	З-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2	Контрольная работа 1, Лабораторная работа 1-5
7	Коэффициенты реактивности и их оценка для идеализированного гомогенного реактора.	З-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2	Контрольная работа 1
8	Коэффициенты реактивности и запасы реактивности для реакторов ВВЭР, РБМК, БН.	З-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2	Контрольная работа 1
Промежуточный контроль, 8 семестр			
	Экзамен		Экзаменационный билет

8.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

8.2.1. Экзамен 8 семестр

а) типовые вопросы:

1. Качественный вывод уравнений кинетики. Основная переменная – количество нейтронов, количество делений, мощность.
2. Формула обратного умножения.
3. Использование формулы обратного умножения при контроле за набором критмассы.
4. Решение точечного уравнения кинетики без учета запаздывающих нейтронов.
5. Возможность управления цепной реакцией без наличия запаздывающих нейтронов.
6. Решение точечного уравнения кинетики в приближении одной группы запаздывающих нейтронов (общий вид).
7. Частный случай решения при введении в критический реактор (без источника) реактивности.
8. Решение точечного уравнения кинетики с учетом одной группы запаздывающих нейтронов при введении в критический реактор нейтронного импульса.
9. Обращенное решение точечного уравнения кинетики. Реактиметры.
10. Пространственный эффект и способы его учета.
11. Решение точечного уравнения кинетики с одной группой запаздывающих нейтронов в приближении мгновенного скачка (дифференциальная и интегральная формы).
12. Температурный коэффициент реактивности для гомогенного реактора. Составляющая, связанная с изменениями размеров и плотности ядер в активной зоне реактора в В2 – приближении.
13. Температурный коэффициент реактивности для гомогенного реактора. Составляющая, связанная с зависимостью средней энергии тепловых нейтронов от температуры активной зоны в приближении формулы 4-х сомножителей.
14. Температурный коэффициент реактивности для гомогенного реактора. Составляющая, связанная с доплер-эффектом. Изменения средних сечений поглощения нейтронов в зависимости от концентрации ядер данного нуклида и температуры.
15. Особенность доплер-эффект для делящегося нуклида.
16. Особенности мощностного коэффициента реактивности. Асимптотический мощностной коэффициент реактивности.
17. Коэффициенты реактивности для реакторов типа ВВЭР.
18. Коэффициенты реактивности для реакторов типа РБМК.
19. Коэффициенты реактивности для реакторов типа БН.
20. Запас реактивности и его компенсация.
21. Дифференциальные уравнения динамики реакторов при обратных связях по температуре топлива и теплоносителя.
22. Дифференциальные уравнения динамики реакторов при обратных связях по мощности.

23. Уравнения динамики реакторов при обратных связях по мощности в приближении скачка на мгновенных нейтронах.
24. дифференциальные уравнения динамики реакторов при обратных связях по температуре топлива и теплоносителя в приближении скачка на мгновенных нейтронах.
25. Уравнение динамики в приближении мгновенного скачка. Решение для случая обратной связи по мощности и наличии потери реактивности из-за выгорания топлива.
26. Решение уравнения динамики при введении в реактор реактивности $\rho > \beta_{\text{эфф}}$ (приближение Нордгейма-Фукса). Зависимость мощности от реактивности. Зависимость мощности, реактивности и выделившейся энергии от времени.
27. Качественное описание поведения мощности реактора во времени при введении положительной реактивности и обратной связи по мощности (положительной и отрицательной).
28. Качественное описание поведения мощности реактора во времени при введении отрицательной реактивности и обратной связи по мощности (положительной и отрицательной).
29. Авария на IV блоке Чернобыльской АЭС. Причины аварии, связанные с особенностями нейтронно-физических характеристик активной зоны РБМК. Мероприятия, реализованные на реакторах РБМК после аварии.

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

В критерии оценки знаний по экзамену входят:

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

в) описание шкалы оценивания:

Оценка	Критерии оценки
Отлично 36-40	Студент должен: - продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала; - исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал; - правильно формулировать определения; - продемонстрировать умения самостоятельной работы с литературой; - уметь сделать выводы по излагаемому материалу.
Хорошо 30-35	Студент должен: - продемонстрировать достаточно полное знание программного материала; - продемонстрировать знание основных теоретических понятий; достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал; - продемонстрировать умение ориентироваться в литературе; - уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу.
Удовлетворительно 25-29	Студент должен: - продемонстрировать общее знание изучаемого материала; - показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины; - уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; - знать основную рекомендуемую программой учебную литературу.
Неудовлетворительно	Студент демонстрирует:

24 и меньше	- незнание значительной части программного материала; - не владение понятийным аппаратом дисциплины; - существенные ошибки при изложении учебного материала; - неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; - неумение делать выводы по излагаемому материалу.
-------------	--

8.2.2. Зачет 7 семестр

а) типовые вопросы:

1. Прямые и сопряженные операторы и их свойства.
2. Физический смысл уравнения для ценности нейтронов.
3. Общее, асимптотическое и условно-критическое решения УПН.
4. Уравнение обратных часов. Алгоритм вывода.
5. Физический смысл и способы вычисления средних (однотрупповых сечений взаимодействия нейтронов с ядрами).
6. Формализм вычисления коэффициентов чувствительности. «Прямой» способ вычисления малых возмущений.
7. Приближенные и грубые способы оценки коэффициентов чувствительности.
8. Вывод односкоростного стационарного уравнения переноса нейтронов.
9. Пространственные распределения плотности потока нейтронов и ценности в плоском гомогенном и «слоеном» реакторе.
10. Пространственные распределения плотности потока нейтронов и ценности в цилиндрическом реакторе.
11. Оценка эффективности отдельных поглощающих стержней.
12. Оценка эффективности системы поглощающих стержней (приближение парной интерференции).
13. Упрощенное уравнение переноса нейтронов для решения спектральной задачи.
14. Уравнение переноса в групповом представлении.
15. Групповые константы увода, перевода, замедления нейтронов и их физический смысл.
16. Аналитическое решение группового уравнения переноса нейтронов для гомогенной бесконечной среды в случае изотропного рассеяния нейтронов. Возможность реализации решения рекуррентным алгоритмом.
17. «Транспортная» поправка к сечениям рассеяния.
18. Получение уравнения кинетики из прямого и сопряженного уравнений переноса нейтронов. Алгоритм вывода.
19. Необходимость введения предположения о возможности разделения переменных.
20. Точечное уравнение кинетики и его интегральные параметры.
21. Область применения точечных уравнений кинетики. Зависимость условий применения от способа введения реактивности.
22. Энерговыделение на единицу массы сожженного топлива.
23. Плотность потока нейтронов и его интегральные представления.
24. Накопление радиоактивности при работе реактора.
25. Эффективный коэффициент размножения и реактивность.
26. Расчет $k_{эфф}$ и ρ через скорости процессов.
27. Формула 4-х сомножителей для реакторов на тепловых нейтронах.
28. Влияние гетерогенного расположения на значение множителей формулы 4-х сомножителей.
29. Предельные значения $k_{эфф}$ и ρ .
30. Понятие критической массы и критического размера реактора.
31. Формула вычисления скоростей протекания ядерных реакций.
32. Утечка нейтронов из реактора.
33. Причины изменения нуклидного состава топлива при работе реактора.

34. Аналитические решения односкоростных дифференциальных уравнений для нахождения состава тяжелых ядер в функции времени.
35. Приближенная связь между изменением реактивности и вариацией составляющих формулу для реактивности.
36. Динамика состава осколков деления во время работы реактора.
37. Приближенные решения накопления осколков деления в функции времени с использованием кумулятивного выхода.
38. Оценка радиоактивности данного осколка деления после останова реактора.
39. Отравление реактора ядрами 135-ым изотопом ксенона при резком изменении мощности и его значения.
40. Стационарное отравление реактора 135-ым изотопом ксенона.
41. Глубина иодной ямы в зависимости от плотности потока нейтронов.
42. Отравление реактора ядрами 149-ым изотопом самария при резком изменении мощности и его значения.
43. Оценка времени достижения стационарного отравления изотопом самария.
44. Количество ядер самария после останова реактора.
45. «Прометиевая смерть» реактора.
46. Поведение реактивности во времени после останова реактора.
47. Принципиальная возможность воспроизводства делящихся ядер.
48. Необходимые и достаточные условия расширенного воспроизводства делящихся ядер.
49. Коэффициенты конверсии и воспроизводства.
50. Связь коэффициентов воспроизводства с временем удвоения развития ядерной энергетики.
51. Влияние плотности топлива на коэффициент воспроизводства.
52. Обратные связи на АЭС и в реакторе. Примеры.
53. Естественные и рукотворные обратные связи в ядерном реакторе.
54. Что такое запас реактивности.
55. Основные причины необходимости иметь запас реактивности.
56. Способы компенсации запаса реактивности.
57. Недостатки создания запаса реактивности введением в активную зону реактора поглощающих стержней.
58. Выгорающие поглотители – в качестве запаса реактивности.

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

В критерии оценки знаний по зачету входят:

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

в) описание шкалы оценивания:

Оценка	Критерии оценки
Отлично 36-40	Студент должен: - продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала; - исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал; - правильно формулировать определения; - продемонстрировать умения самостоятельной работы с литературой;

	- уметь сделать выводы по излагаемому материалу.
Хорошо 30-35	Студент должен: - продемонстрировать достаточно полное знание программного материала; - продемонстрировать знание основных теоретических понятий; достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал; - продемонстрировать умение ориентироваться в литературе; - уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу.
Удовлетворительно 25-29	Студент должен: - продемонстрировать общее знание изучаемого материала; - показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины; - уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; - знать основную рекомендуемую программой учебную литературу.
Неудовлетворительно 24 и меньше	Студент демонстрирует: - незнание значительной части программного материала; - не владение понятийным аппаратом дисциплины; - существенные ошибки при изложении учебного материала; - неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; - неумение делать выводы по излагаемому материалу.

8.2.4 Контрольная работа №1 7 семестр

а) типовые задания - образец:

Вариант 0

1. Электрическая мощность АЭС 1ГВт. Какая масса осколков деления накапливается в топливе за один год работы? Насколько отличается масса осколков от массы разделившихся ядер? При делении выделяется 200 МэВ энергии. КПД=32%.
2. В результате радиационного захвата нейтронов ядрами ^{238}U образуется нестабильное ядро ^{239}U с достаточно коротким периодом полураспада. В конце-концов устанавливается равновесное отношение количества ядер ^{239}U к количеству ядер ^{238}U . Каково это равновесное отношение в плотности потока нейтронов $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Период полураспада ядер ^{239}U равен 23.5 минуты. Сечение радиационного захвата нейтронов ядрами ^{238}U равно 2,7 барна.
3. В надкритический ($\rho_0 = 0.5\beta_{\text{эфф}}$) ввели отрицательную реактивность ρ_1 такую, что эффективный коэффициент размножения стал равным $k_{\text{эфф}} = 0.99$. Найдите значение $k_{\text{эфф}}$ надкритического реактора и введенную реактивность в единицах $\beta_{\text{эфф}}$ ($\beta_{\text{эфф}} = 0.65\%$).

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

В критерии оценки знаний на контрольной работе входят:

1. знание теоретического материала;
2. умение применить данные знания при решении практических задач;
3. обоснованность, четкость, краткость изложения ответа;
4. умение проанализировать полученный результат.

в) описание шкалы оценивания:

Задача 1 оценивается в 6 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

Задача 2 оценивается в 7 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

Задача 3 оценивается в 7 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

Вариант 0

1. Известно, что в реакторе, работающем на мощности 3200 МВт, за время кампании исчезли 4% тяжелых ядер. Полная загрузка реактора 66 тонн топлива в виде обогащенной (5%) двуокиси урана (UO_2). Какова выработка энергии за кампанию (Дж). Какова длительность кампании (год). Какова глубина выгорания топлива, выраженная в единицах МВт-сут/кг. В одном акте деления выделяется энергия 200 МэВ.
2. Реактор находился на мощности T лет. Надо найти отношение количеств двух осколков деления (N_1/N_2), если эти осколки деления имеют следующие характеристики: кумулятивные выходы равны соответственно $\xi_1 = 0,5\%$ и $\xi_2 = 3,5\%$, сечения поглощения равны $\sigma_1 = 5000$ барн и $\sigma_2 = 50$ барн, постоянные распада равны $\lambda_1 = 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ и $\lambda_2 = 10^{-9} \text{ с}^{-1}$. Искомое отношение вычислить для двух значений плотностей потока нейтронов и времен работы реактора, равных соответственно $\Phi_1 = 10^{14} \text{ н/см}^2 \text{ с}$, $T_1 = 3$ года и $\Phi_2 = 5 \cdot 10^{11} \text{ н/см}^2 \text{ с}$, $T_2 = 0,03$ года.
3. Сколько времени потребуется, чтобы в реакторе со свежим топливом с плотностью потока нейтронов $10^8 \text{ н/см}^2 \text{ с}$ накопилась концентрация ядер ^{149}Sm равная 0,99 от асимптотической. Сечение поглощения нейтронов ядрами ^{149}Sm считать равной $6 \cdot 10^4$ барн.

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

В критерии оценки знаний на контрольной работе входят:

1. знание теоретического материала;
2. умение применить данные знания при решении практических задач;
3. обоснованность, четкость, краткость изложения ответа;
4. умение проанализировать полученный результат.

в) описание шкалы оценивания:

Задача 1 оценивается в 6 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

Задача 2 оценивается в 7 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

Задача 3 оценивается в 7 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

8.2.6 Контрольная работа №2 7 семестр

а) типовые задания - образец:

Вариант 0

1. Оцените зависимость значений избыточного коэффициента воспроизводства от отношения количеств ядер ^{239}Pu к количеству ядер ^{238}U для случая отсутствия утечки нейтронов. Принять, что 10% рождающихся нейтронов поглощается вне топлива, что сечение захвата нейтронов и сечения деления не зависят от обогащения топлива.
2. Оцените необходимый запас реактивности при заданной глубине выгорания топлива 5% тяжелых ядер, длительности нахождения топлива в реакторе 3 года, считая скорость потери реактивности постоянной, и темп потери обусловлен только уменьшением количества делящихся ядер (потеря реактивности из-за накопления осколков деления компенсируется накоплением делящихся ядер плутония).

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

В критерии оценки знаний на контрольной работе входят:

1. знание теоретического материала;
2. умение применить данные знания при решении практических задач;
3. обоснованность, четкость, краткость изложения ответа;
4. умение проанализировать полученный результат.

в) описание шкалы оценивания:

Задача 1 оценивается в 10 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

Задача 2 оценивается в 10 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

8.2.7 Контрольная работа №3 7 семестр

а) типовые задания - образец:

Вариант 0

1. Выведите формулу чувствительности $k_{\text{эфф}}$ к макроскопическому сечению поглощения. Примените ее для вычисления потери реактивности, обусловленной максимальным стационарным отравлением ядрами ксенона.
2. Используя шестигрупповые данные для урана-235 и заданный период удвоения мощности (35 с и 100 с) найдите реактивность реактора.
3. Рассчитайте групповое макросечение замедления и его вклад в макросечение увода при замедлении на ядрах водорода в зависимости от ширины энергетической группы. Рассмотреть область энергий вблизи 100 эВ (микросечения взять из справочников).

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

В критерии оценки знаний на контрольной работе входят:

1. знание теоретического материала;
2. умение применить данные знания при решении практических задач;
3. обоснованность, четкость, краткость изложения ответа;
4. умение проанализировать полученный результат.

в) описание шкалы оценивания:

Задача 1 оценивается в 10 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

Задача 2 оценивается в 10 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

Задача 3 оценивается в 10 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

8.2.8 Контрольная работа №1 8 семестр

а) типовые задания - образец:

Вариант 0

1. Вычислите и сравните критические массы сферического и цилиндрического реактора (при отношении высоты цилиндра к его радиусу 0,2; 0,8; 1,0 и 2,0).
2. Вычислите отношение критической массы топлива цилиндра минимального объема к критической массе топлива сферического реактора.
3. Полагая материальный параметр для реакторов разной формы одинаковым, найдите форму реактора с максимальной утечкой нейтронов.

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

В критерии оценки знаний на контрольной работе входят:

1. знание теоретического материала;
2. умение применить данные знания при решении практических задач;
3. обоснованность, четкость, краткость изложения ответа;
4. умение проанализировать полученный результат.

в) описание шкалы оценивания:

Задача 1 оценивается в 10 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

Задача 2 оценивается в 10 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

Задача 3 оценивается в 10 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

8.2.9 Контрольная работа №2 8 семестр

а) типовые задания - образец:

Вариант 0

1. Установлено, что количество нейтронов растет в реакторе по экспоненциальному закону: $n(t) = n(0) \exp(\omega t)$ с периодом удвоения мощности $T_2 = 20$ с. В приближении одной группы запаздывающих нейтронов найдите $c(t)$ и вычислите отношение $c(t)/n(t)$ при следующих значениях параметров: $\lambda = 0,07 \text{ с}^{-1}$; $\Lambda = 1 \cdot 10^{-4} \text{ с}$; $\beta = 0,64\%$. Вычислите также $c(t)/n(t)$ для стационарного состояния реактора.
Указание. Используйте интегральную форму уравнения для $c(t)$.
2. В реактор была введена реактивность $0,05\beta$. К моменту времени t^* мощность реактора достигла 1000 Вт. Используя приближение мгновенного скачка, найдите мощность реактора в момент времени $t^* + 500$ с, если в момент времени t^* в реактор начали вводить дополнительно линейно во времени реактивность $\alpha\beta \text{ с}^{-1}$. Рассмотрите два случая $\alpha_1 = 0$ и $\alpha_2 = 1 \cdot 10^{-5}$.

Среднее значение постоянной распада запаздывающих нейтронов $\lambda = 0,1 \text{ с}^{-1}$.

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

В критерии оценки знаний на контрольной работе входят:

1. знание теоретического материала;
2. умение применить данные знания при решении практических задач;
3. обоснованность, четкость, краткость изложения ответа;
4. умение проанализировать полученный результат.

в) описание шкалы оценивания:

Задача 1 оценивается в 10 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

Задача 2 оценивается в 10 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

Вариант 0

1. С помощью обращенного решения уравнения кинетики для реактора нашли реактивность равную $\rho/\beta = 0,01$. В приближении одной группы запаздывающих нейтронов найдите период удвоения мощности реактора и вклад в измеряемую реактивность, вносимую составляющей содержащей производную количества нейтронов по времени, полагая, что доля запаздывающих нейтронов 0,64%, постоянная распада запаздывающих нейтронов равна $0,07\text{с}^{-1}$ и $\Lambda = 10^{-3}\text{с}$.

2. Реактор с источником ($q = 5 \cdot 10^8 \text{ н/с}$) находится в подкритическом состоянии. Каковы будут показания реактиметра в двух случаях. (1). В программное обеспечение реактиметра не введена составляющая, содержащая источник нейтронов (ρ_1/β). (2). В программном обеспечении имеется составляющая, содержащая источник нейтронов (ρ_2/β). Расчеты (ρ_1/β) и (ρ_2/β) надо выполнить в приближении обращенного решения уравнений кинетики, используя следующие данные: $\nu = 2,4$; $\beta = 4 \cdot 10^{-3}$; мощность реактора 10Вт; для получения энергии 1Дж необходимо $3,1 \cdot 10^{10}$ делений.

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

В критерии оценки знаний на контрольной работе входят:

1. знание теоретического материала;
2. умение применить данные знания при решении практических задач;
3. обоснованность, четкость, краткость изложения ответа;
4. умение проанализировать полученный результат.

в) описание шкалы оценивания:

Задача 1 оценивается в 10 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

Задача 2 оценивается в 10 баллов, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

8.2.11 Лабораторные работы

а) типовые задания - образец:

Л.р. 1 "Уравнение точечной кинетики без учета обратных связей. Ввод реактивности в критический реактор"

Ход работы:

1. Задайте долю запаздывающих нейтронов, соответствующую U^{235} , время жизни нейтрона и поток нейтронов (программа автоматически произведет расчет числа нейтронов) для теплового реактора (например, ВВЭР).

2. На примере нескольких кривых изучите поведение реактора при вводе положительной и отрицательной реактивности (реактивность задается в долях β , построить по 4 кривых). Обратите внимание на то, как влияют мгновенные и запаздывающие нейтроны на поведение реактора.
3. Изучите влияние величины среднего времени жизни нейтрона на поведение реактора (3 кривые).
4. Рассмотрите, как влияет величина β на поведение реактора (4 кривые).
5. Повторите пункты 2 и 4 для случая, когда вводимая реактивность выражена в единицах $\Delta K/K$.
6. Смоделируйте разгон реактора без учета запаздывающих нейтронов.
7. Подготовьте индивидуальный отчет по работе. Отчет должен содержать: графические зависимости поведения реактора для различных вариантов расчета (можно дать качественное представление кривых, но с соблюдением масштаба и значений по осям); данные, по которым были получены кривые; также отчет должен содержать систематизированные результаты расчетов и аргументированные выводы из их сопоставления и анализа.

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

Показатели и критерии оценки лабораторных работ:

4-5 баллов:

- правильное выполнение лабораторной работы в соответствии с методикой, корректное применение полученных знаний на практике, своевременная сдача отчета, правильные ответы на вопросы во время защиты лабораторной работы.

3-4 баллов:

- правильное выполнение лабораторной работы в соответствии с методикой, хорошее знание теоретической базы, в целом верная постановка целей и задач, решение основных задач, своевременная сдача отчета.

1-2 баллов:

- слабое знание теории, несвоевременное выполнение работы, несвоевременная защита работы, незнание ответов на вопросы преподавателя.

0 баллов:

- невыполнение работы.

в) описание шкалы оценивания:

3-5 баллов – лабораторная работа зачтена;

0-2 – баллов – лабораторная работа отдается на доработку.

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

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы студентов.

Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

Текущий контроль осуществляется два раза в семестр:

7 семестр

контрольная точка № 1 (контрольная работа 1) и контрольная точка № 2 (контрольная работа 2, 3).

8 семестр

контрольная точка № 1 (контрольная работа 1) и контрольная точка № 2 (контрольная работа 2, лабораторная работа 1-3).

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

7 семестр

Вид контроля	Этап рейтинговой системы Оценочное средство	Балл	
		Минимум	Максимум
Текущий	Контрольная точка № 1	12	20
	Контрольная работа 1	12	20
	Контрольная точка № 2	24	40
	Контрольная работа 2	12	20
	Контрольная работа 3	12	20
Промежуточный	Зачет	24	40
	Вопрос 1	12	20
	Вопрос 2	12	20
ИТОГО по дисциплине		60	100

8 семестр

Вид контроля	Этап рейтинговой системы Оценочное средство	Балл	
		Минимум	Максимум
Текущий	Контрольная точка № 1	25	40
	Контрольная работа 1	10	20
	Лабораторная работа 1-5	15	20
	Контрольная точка № 2	11	20
	Контрольная работа 2	11	20
Промежуточный	Экзамен	24	40
	Вопрос 1	12	20
	Вопрос 2	12	20
ИТОГО по дисциплине		60	100

Определение бонусов и штрафов

Бонусы: поощрительные баллы студент получает к своему рейтингу в конце семестра за активную и регулярную работу на занятиях, за 5 баллов

По Положению бонус (премиальные баллы) не может превышать **5 баллов**.

Штрафы: за несвоевременную сдачу реферата максимальная оценка может быть снижена на 20 %;

при повторном написании контрольной работы максимальная оценка может быть снижена на 20 % .

Процедура оценивания знаний, умений, владений по дисциплине включает учет успешности по всем видам заявленных оценочных средств.

Контрольная работа проводится на практических занятиях и включают задачи по предыдущим разделам. Баллы формируются согласно критериям.

По окончании освоения дисциплины проводится промежуточная аттестация в виде зачета(экзамена), что позволяет оценить совокупность приобретенных в процессе обучения компетенций. При выставлении итоговой оценки применяется балльно-рейтинговая система оценки результатов обучения.

Зачет(экзамен) предназначен для оценки работы обучающегося в течение всего срока изучения дисциплины и призван выявить уровень, прочность и систематичность полученных обучающимся теоретических знаний и умений приводить примеры практического использования знаний (например, применять их в решении практических задач), приобретения навыков самостоятельной работы, развития творческого мышления.

Оценка сформированности компетенций на зачете(экзамене) для тех обучающихся, которые пропускали занятия и не участвовали в проверке компетенций во время изучения дисциплины, проводится после индивидуального собеседования с преподавателем по

пропущенным или не усвоенным обучающимся темам с последующей оценкой самостоятельно усвоенных знаний на зачете(экзамене).

8.4. 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»	E	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			
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

9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

а) основная учебная литература:

1. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта : науч. издание / С. А. Андрущечко [и др.]. - М. : Логос, 2010. (150 экз)
2. Физика и эксплуатационные режимы реактора ВВЭР-1000 [Электронный ресурс] : монография / В. И. Белозеров [и др.]. - Москва : НИЯУ МИФИ, 2014. [Режим доступа http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=pdf&P21DBN=BOOK&path=book-mephi/Belozarov_Fizika_i_ekspluatatsionnye_rezhimy_reaktora_VVER-1000_2014&page=1&Z21ID=1064A5E5E9HIP5M0T0I013 29.05.2015]
3. Савандер, В.И. Физическая теория ядерных реакторов [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / В. И. Савандер, М. А. Увакин. - Москва: НИЯУ МИФИ. Ч.2 : Теория возмущений и медленные нестационарные процессы. - [Б. м.], 2013. [Режим доступа

б) дополнительная учебная литература:

1. Основы теории и методы расчета ядерных реакторов. Под редакцией Г.А. Батя. Москва, Энергоиздат, 1982. (149 экз)
2. Ганев И.Х. Физика ядерных реакторов. Москва, Энергоатомиздат, 1992.
3. Фейнберг С.М., Шихов С.Б., Троянский В.Б. Теория ядерных реакторов. В 2-х томах. М.: Атомиздат, 1970. (95 экз)
4. Белл Д., Глестон С. Теория ядерных реакторов. Атомиздат, 1974. (10 экз)
5. Марчук Г.И. Методы расчета ядерных реакторов. Госатомиздат, 1961.
6. Вейнберг А., Вигнер Е. Физическая теория ядерных реакторов. ИЛ, 1961. (1 экз)

10. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» (ДАЛЕЕ - СЕТЬ «ИНТЕРНЕТ»), НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<http://ibooks.ru/>
<http://e.lanbook.com/>
<http://www.biblio-online.ru/>
<http://kuperbook.biblioclub.ru>
<http://www.studentlibrary.ru>
<http://library.mephi.ru>

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Планомерная организация последовательности различных видов аудиторных занятий (лекций и практических занятий) в сочетании с внеаудиторной работой студента. При изложении разделов (тем) указание на связь с учебным материалом других дисциплин учебного плана, а также практическими приложениями к технологии жидкометаллических теплоносителей. Систематические индивидуальные консультации. Стимулирование использования в процессе обучения компьютерной техники и информационных технологий.

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии.
Практические занятия	При подготовке к практическим занятиям повторить основные понятия по темам лекционных занятий задания. Решая поставленные задания, предварительно понять, какой теоретический материал нужно изучить. При возникновении трудностей с решением или пониманием сформулировать и задать вопросы преподавателю
Лабораторные занятия	При подготовке к лабораторным работам следует ознакомиться с методическими руководствами по работе с изучаемыми программными комплексами. Важно внимательно ознакомиться с функционалом и возможностями данных комплексов. При защите лабораторных работ важно детально разбираться в теоретических аспектах ПК.

Доклад	Поиск литературы и составление библиографии, использование от 3 до 5 научных работ, изложение мнения авторов и своего суждения по выбранному вопросу; изложение основных аспектов проблемы. Ознакомиться со структурой и оформлением доклада.
Реферат	Поиск литературы и составление библиографии, использование от 3 до 5 научных работ, изложение мнения авторов и своего суждения по выбранному вопросу; изложение основных аспектов проблемы. Ознакомиться со структурой и оформлением реферата.
Коллоквиум	Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам и др.
Индивидуальное домашнее задание	При выполнении индивидуальных заданий необходимо сначала прочитать теорию и изучить примеры по каждой теме. Решая конкретную задачу, предварительно следует понять, что требуется от Вас в данном случае, какой теоретический материал нужно использовать, наметить общую схему решения. Если Вы решали задачу «по образцу» рассмотренного на аудиторном занятии или в методическом пособии примера, то желательно после этого обдумать процесс решения и попробовать решить аналогичную задачу самостоятельно.
Подготовка к зачету	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, перечень ресурсов сети интернет. Дополнительно к изучению конспектов лекций необходимо пользоваться учебниками по ядерным технологиям. Вместо «заучивания» материала важно добиться понимания изучаемых тем дисциплины. При подготовке к зачету нужно освоить теорию: разобрать определения всех понятий, рассмотреть примеры и самостоятельно решить несколько типовых задач из каждой темы. При решении задач всегда необходимо комментировать свои действия и не забывать о содержательной интерпретации.
Подготовка к экзамену	При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, задачи практических занятий, рекомендуемую литературу и интернет источники. Вместо «заучивания» материала важно добиться понимания изучаемой дисциплины.

12. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ (ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ)

12.1. Перечень информационных технологий

– Использование электронных презентаций при проведении лекционных и практических занятий.

12.2. Перечень программного обеспечения

- Программы, демонстрации видео материалов (проигрыватель «Windows Media Player»).
- Программы для демонстрации и создания презентаций («Microsoft Power Point»).

13. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Учебная аудитория на 20 мест с мультимедийным оборудованием, программное обеспечение для компьютерных презентаций. Доска. Лабораторные работы проводятся в дисплейном классе 2-321.

14. ИНЫЕ СВЕДЕНИЯ И (ИЛИ) МАТЕРИАЛЫ

14.1. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

№ пп	Наименование темы дисциплины	Вид занятий (лекция, семинары, практические занятия)	Количество ак. ч.	Наименование активных и интерактивных форм проведения занятий
1	Принципы работы ядерного реактора.	лекции /практические занятия	12	Лекция, лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач
2	Цепной процесс деления.	лекции /практические занятия	10	Лекция, лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач
3	Изменение нуклидного состава топлива при работе реактора	лекции /практические занятия	12	Лекция, лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач
4	Воспроизводство ядерного топлива.	лекции /практические занятия	6	Лекция, лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач
5	Обратные связи.	лекции /практические занятия	6	Лекция, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных
6	Запас реактивности и его компенсация.	лекции /практические занятия	5	Лекция, лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач
7	Уравнения переноса нейтронов, УПН, и его сопряженное уравнение в операторной форме.	Лекции/практические занятия	17	Лекция, лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач
8	Односкоростное, стационарное уравнение переноса нейтронов.	Лекции/практические занятия	18	Лекция, лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач
9	Спектр нейтронов для стационарной, гомогенной, бесконечной среды размножающей среды.	лекции /практические занятия	8	Лекция, лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач
10	Вывод уравнений кинетики с использованием нестационарного уравнения переноса нейтронов и	лекции	8	Лекция

	сопряженного условно-критического уравнения.			
11.	Вывод уравнения кинетика исходя из баланса «средних» нейтронов.	лекции	1	Лекция, лекция-беседа
12.	Аналитические решения уравнений кинетики.	лекции /практические занятия	15	Лекция, лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач
13.	Коэффициенты реактивности и их оценка для идеализированного гомогенного реактора.	лекции	2	Лекция
14	Коэффициенты реактивности и запасы реактивности для реакторов ВВЭР, РБМК, БН.	лекции	1	Лекция
15.	Уравнения динамики реакторов.	лекции	2	Лекция
16.	Аналитические решения задач по динамике реакторов.	лекции /практические занятия	6	Лекция, лекция-беседа, диспут, визуальный семинар с разбором конкретных задач
17.	Анализ реактивностной аварии на 4-ом блоке Чернобыльской АЭС.	лекции	2	лекция-беседа

12.2. Краткий терминологический словарь

АЭС- атомная электростанция

СЦР – самоподдерживающаяся цепная реакция

ТВС –тепловыделяющая сборка

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор

РБМ-К – реактор большой мощности канальный

БН – быстрый натриевый реактор

УПН – уравнение переноса нейтронов

ЗН – запаздывающие нейтроны

15. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

В соответствии с методическими рекомендациями Минобрнауки РФ (утв. 8 апреля 2014 г. № АК-44/05вн) в курсе предполагается использовать социально-активные и рефлексивные методы обучения, технологии социокультурной реабилитации обучающихся с ОВЗ с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений.

Обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом

индивидуальных психофизических особенностей, а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида.

Для лиц с нарушением слуха возможно предоставление информации визуально (краткий конспект лекций, основная и дополнительная литература), на лекционных и практических занятиях допускается присутствие ассистента, а также, сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Оценка знаний студентов на практических занятиях осуществляется на основе письменных конспектов ответов на вопросы, письменно выполненных практических заданий.

Доклад так же может быть предоставлен в письменной форме (в виде реферата), при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.)

С учетом состояния здоровья просмотр кинофильма с последующим анализом может быть проведен дома (например, при необходимости дополнительной звукоусиливающей аппаратуры (наушники)). В таком случае студент предоставляет письменный анализ, соответствующий предъявляемым требованиям.

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости, время подготовки на зачете может быть увеличено.

Для лиц с нарушением зрения допускается аудиальное предоставление информации (например, с использованием программ-синтезаторов речи), а также использование на лекциях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т.д.). Допускается присутствие на занятиях ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь.

Оценка знаний студентов на семинарских занятиях осуществляется в устной форме (как ответы на вопросы, так и практические задания). При необходимости анализа фильма может быть заменен описанием ситуации межэтнического взаимодействия (на основе опыта респондента, художественной литературы и т.д.), позволяющим оценить степень сформированности навыков владения методами анализа и выявления специфики функционирования и развития психики, позволяющими учитывать влияние этнических факторов. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам.

Лица с нарушениями опорно-двигательного аппарата не нуждаются в особых формах предоставления учебных материалов. Однако, с учетом состояния здоровья часть занятий может быть реализована дистанционно (при помощи сети «Интернет»). Так, при невозможности посещения лекционного занятия студент может воспользоваться кратким конспектом лекции.

При невозможности посещения практического занятия студент должен предоставить письменный конспект ответов на вопросы, письменно выполненное практическое задание.

Доклад так же может быть предоставлен в письменной форме (в виде реферата), при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.).

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата проводится на общих основаниях, при необходимости процедура зачета может быть реализована дистанционно (например, при помощи программы Skype).

Для этого по договоренности с преподавателем студент в определенное время выходит на связь для проведения процедуры зачета. В таком случае зачет сдается в виде собеседования по

вопросам (см. формы проведения промежуточной аттестации для лиц с нарушениями зрения). Вопрос и практическое задание выбираются самим преподавателем.

Примечание: Фонды оценочных средств, включающие типовые задания и методы оценки, критерии оценивания, позволяющие оценить результаты освоения данной дисциплины обучающимися с ОВЗ могут входить в состав РПД на правах отдельного документа.

Программу составил:

_____ Ю.А. Казанский, д.ф.-м.н., профессор ОЯФиТ

Рецензент:

_____ В.В. Коробейников, д.ф.-м.н., профессор