

Северский технологический институт –

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

Кафедра «Физики»

ОДОБРЕНО
Ученым советом СТИ НИЯУ МИФИ
протокол № 5 от 28.06.2023

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**НЕЙТРОНИКА АКТИВНЫХ ЗОН БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ И
ЗАМКНУТЫЙ ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ**

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

14.04.02 Ядерные физика и технологии

НАИМЕНОВАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Ядерные энерготехнологии нового поколения

Форма обучения: очная

Семестр	Трудоемкость, ЗЕ	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практические занятия, час.	Лабораторные работы, час.	В форме практической подготовки / в интерактивной форме, час.	СРС, час.	Форма(ы) контроля (Э, З, ДифЗ, КР, КП)
2	4	144	16	32	0	48	96	Экз.
Итого	4	144	16	32	0	48	96	

Аннотация

Рабочая программа дисциплины «Нейтроника активных зон быстрых реакторов и замкнутый ядерный топливный цикл» составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта НИЯУ МИФИ и рабочим учебным планом по направлению подготовки (специальности) 14.04.02 «Ядерные физика и технологии», образовательной программы «Ядерные энерготехнологии нового поколения».

В результате освоения дисциплины, у выпускника должны быть сформированы следующие результаты обучения (РО):

1) знать:

- 3.1 схему и варианты реализации замкнутого ядерного топливного цикла;
- 3.2 базовые элементы реакторов на быстрых нейтронах;
- 3.3 концепцию реакторов естественной безопасности;
- 3.4 методы имультифизичные коды расчета протекания аварийных процессов;
- 3.5 концепцию активных зон на равновесном топливе

2) уметь:

- У.1 определять базовые нейтронно-физические параметры;
- У.2 определять характеристики воспроизводства топлива;
- У.3 проводить анализ реализации гомогенной и гетерогенной трансмутации

3) владеть или быть в состоянии продемонстрировать:

- В.1 методами расчетного обоснования основных нейтронно-физических характеристик активных зон и параметров ядерной безопасности;
- В.2 методами расчета остаточного энерговыделения

1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Целями освоения дисциплины «Нейтроника активных зон быстрых реакторов и замкнутый ядерный топливный цикл» являются:

изучение российского опыта создания и исследования нейтронно-физических свойств быстрых реакторов и знакомство с перспективными разработками быстрых реакторов естественной безопасности и задач, стоящих перед разработчиками и специалистами

Основными задачами дисциплины являются:

- знакомство с базовыми особенностями нейтронной физики быстрых ядерных реакторов, определяющих их системообразующую роль в ЗЯТЦ;
- изучение основных концептуальных положений по выбору нейтронно-физических параметров и характеристик реакторов исходя из требований ЗЯТЦ;
- изучение методов формирования компоновок активных зон быстрых реакторов с учетом современных требований по естественной безопасности;
- изучение и освоение методом расчетно-теоретического анализа, получение информации по методам экспериментального подтверждения нейтронно-физических характеристик быстрых реакторов;
- изучение физики воспроизводства топлива, процессов трансмутации актинидов, получения других полезных нуклидов, обращения с радиоактивными материалами с учетом принципа радиационного-эквивалентного обращения в радиоактивными отходами;

2 Место учебной дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Нейтроника активных зон быстрых реакторов и замкнутый ядерный топливный цикл» (Б1.В.ОД.1.1) - Профессиональный модуль образовательной программы.

3 Формируемые компетенции и планируемые результаты обучения

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
тип задач профессиональной деятельности: экспертный			
анализ технологий получения новых видов топлива и материалов для ядерной энергетики	ядерные энерготехнологии нового поколения на базе реакторов на быстрых нейтронах (БН, БРЕСТ) с замкнутым ядерным топливным циклом для атомных электростанций, обеспечивающих потребности страны в энергоресурсах и повышение эффективности использования природного урана и отработавшего ядерного топлива	ПК-11 Способен к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам	З-ПК-11 Знать законодательные и нормативные акты регулирующие деятельность в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности У-ПК-11 Уметь проводить анализ технических и расчетно-теоретических разработок с учетом их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам В-ПК-11 владеть методами анализа технических и расчетно-теоретических разработок, и учета их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам
анализ технологий получения новых видов топлива и материалов для ядерной энергетики	ядерные энерготехнологии нового поколения на базе реакторов на быстрых нейтронах (БН, БРЕСТ) с замкнутым ядерным топливным циклом для атомных электростанций, обеспечивающих потребности страны в энергоресурсах и повышение эффективности	ПК-12 Способен объективно оценить предлагаемое решение или проект по отношению к современному мировому уровню, подготовить экспертное заключение	З-ПК-12 Знать основные критерии оценки предлагаемого решения или проекта по отношению к современному мировому уровню У-ПК-12 Уметь оценивать предлагаемые решения на соответствие современному мировому уровню, подготовить экспертное заключение В-ПК-12 Владеть навыками подготовки экспертных заключений по предлагаемым проектам

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
	использования природного урана и отработавшего ядерного топлива		

4 Воспитательный потенциал учебной дисциплины

Формирование воспитательного потенциала по данным образовательным программам не предусмотрено рабочей программой воспитания в Северском технологическом институте – филиале федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

5 Структура и содержание учебной дисциплины

5.1 Основные разделы дисциплины, трудоемкость и виды учебной работы

Настоящая рабочая программа составлена для формы обучения «очная» по направлению 14.04.02 «Ядерные физика и технологии», образовательной программе «Ядерные энерготехнологии нового поколения».

Общая трудоемкость дисциплины составляет в **зачетных единицах – 4, 144 час.**, обучение по дисциплине проходит в **семестре 2**.

Дисциплина (модуль) содержит **разделы:**

- **раздел 1** – «Особенности нейтронной физики (нейтроники) реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем»
- **раздел 2** – «Концепция реакторов естественной безопасности»

Трудоемкость, формы и график контроля по разделам дисциплины представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Трудоемкость, формы и график контроля отдельных разделов дисциплины

№	Наименование раздела	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость, час				Аттестационные мероприятия		Макс. балл за раздел
		Лекции	Практ. занятия	Лабор. работы	Самост. работа	Текущий контроль (нед/форма)	Аттестация раздела (нед/форма)	
2 семестр (16 недель)								
1	Особенности нейтронной физики (нейтроники) реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем	10	12		28		9/БДЗ1	30

2	Концепция реакторов естественной безопасности	6	20		32		16/БДЗ 2	30
	Экзамен				36			40
Итого за 2 семестр:		16	32		96			100

В таблице 2 представлено соответствие содержания каждого раздела и результатов обучения, что позволяет оценить их вклад в достижение целей курса.

Таблица 2 – Соответствие содержания требуемым результатам обучения

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Номера разделов	Аттестационные мероприятия
– Знать законодательные и нормативные акты регулирующие деятельность в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности (З-ПК-11)	1, 2	БД31, БД32, Экзамен (2 сем.)
– Уметь проводить анализ технических и расчетно-теоретических разработок с учетом их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам (У-ПК-11)	1, 2	БД31, БД32, Экзамен (2 сем.)
– владеть методами анализа технических и расчетно-теоретических разработок, и учета их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам (В-ПК-11)	1, 2	БД31, БД32, Экзамен (2 сем.)
– Знать основные критерии оценки предлагаемого решения или проекта по отношению к современному мировому уровню (З-ПК-12)	1, 2	БД31, БД32, Экзамен (2 сем.)
– Уметь оценивать предлагаемые решения на соответствие современному мировому уровню, подготовить экспертное заключение (У-ПК-12)	1, 2	БД31, БД32, Экзамен (2 сем.)
– Владеть навыками подготовки экспертных заключений по предлагаемым проектам (В-ПК-12)	1, 2	БД31, БД32, Экзамен (2 сем.)

5.2 Содержание лекционного курса дисциплины

Содержание лекционного курса дисциплины представлено в таблице 4.

Таблица 3 – Содержание и трудоемкость лекционного курса по разделам в целом по дисциплине

Содержание разделов / тематика разделов	Трудоемкость разделов/тем, ауд. час
Раздел 1 Особенности нейтронной физики (нейтроники) реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем	
<p>1.1 Системообразующая роль быстрых реакторов в замкнутом ядерном топливном цикле. Системообразующая роль быстрых реакторов в замкнутом ядерном топливном цикле. Схема и варианты реализации ЗЯТЦ, общая схема рециклирования топлива реактора на быстрых нейтронах, решения по обращения с ОЯТ и РАО. Способы решения задач по переходу с урана-235 на уран-238, отказа от накопления ОЯТ и РАО. Потенциальные функции быстрых реакторов в системе ЗЯТЦ. 5 базовых требований к реакторам на быстрых нейтронах и ЗЯТЦ. Концепции старта быстрых реакторов с ОЯТ тепловых реакторов и с обогащенного урана</p>	2
<p>1.2 Особенности нейтронной физики (нейтроники) реакторов на быстрых нейтронах. Основы компоновки активных зон, базовые элементы и системы. Принципиальные отличия от активных зон тепловых реакторов. Принципиальные подходы к выбору параметров систем. Базовые нейтронно-физические параметры: реактивность, эффекты и коэффициенты реактивности, максимальный запас реактивности, объемная и линейная тепловая нагрузка на твэл, параметр радиационного повреждения материалов - количество смещений на атом, выгорание топлива, их роль при обосновании ядерной и радиационной безопасности. Баланс реактивности и требования ПБЯ к балансу реактивности. Связь нейтронно-физических параметров облучения твэл и ТВС и параметров обоснования их работоспособности. Требования ПБЯ по ограничению уровня повреждения твэл</p>	2
<p>1.3 Методы расчетного обоснования основных нейтронно-физических характеристик активных зон и параметров ядерной безопасности. Основные российские и зарубежные коды. Диффузионное приближение, кинетические коды, метод Монте- Карло: выбор адекватного метода моделирования и нейтронно-физической модели. Оценка точности, верификация и аттестация кодов. Нейтронные константы для расчета нейтроники быстрых реакторов: детальный ход и групповые константы. Основные российские и зарубежные файлы оцененных нейтронных данных, библиотеки групповых констант. Оценка константной составляющей погрешности расчетов, интегральные эксперименты на критических стендах и их роль в снижении константной составляющей. Российские стенды комплекса БФС</p>	2

Содержание разделов / тематика разделов	Трудоемкость разделов/тем, ауд. час
<p>1.4 Базовые методы экспериментального обоснования нейтронно-физических характеристик активных зон энергетических реакторов на быстрых нейтронах. Реактиметры и метод обратного решения уравнения кинетики. Методы проведения активационных измерений полей энерговыделения (активационных детекторов и γ-сканирования ТВС). Гравирадиохимический метод определения воспроизводства топлива. Применение методов в реакторах БН-350 и БН-600: опыт и результаты. Воспроизводство топлива и его характеристики: коэффициент воспроизводства, коэффициент конверсии, время удвоения. Теоретические оценки и экспериментальное подтверждение возможностей расширенного воспроизводства в первом российском быстром реакторе БР-1 и реакторе БН-350. Концепция минимального времени удвоения. Роль уровня теплонапряженности, длительности внешнего топливного цикла, плотности топлива, выгорания в достижении минимального времени удвоения</p>	2
<p>1.5 Физика и специфика активных зон реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (БР-10, БН-350, БН-600, БН-800). Физика и специфика активных зон реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (БР-10, БН-350, БН-600, БН-800), ориентированных на концепцию минимального времени удвоения - активных зон с повышенной теплонапряженностью и воспроизводством топлива. Нейтронно-физические характеристики, результаты исследований при физических пусках и эксплуатации. Роль боковых и торцевых зон воспроизводства. Натриевый пустотный эффект реактивности, его роль в выборе базовых параметров активных зон, концепция реакторов с нулевым НПЭР. Специфика выбора топлива (оксид, нитрид, карбид, металл) на нейтронно-физические характеристики активной зоны. Нейтронно-физические характеристики вариантов активных зон с различными видами топлива. Гетерогенные активные зоны с керамическим и металлическим топливом. Представления о нетрадиционных вариантах активных зон с различными видами топлива</p>	2
<i>Итого по разделу 1:</i>	10
Раздел 2 Концепция реакторов естественной безопасности	
<p>2.1 Концепция реакторов естественной безопасности. Реактивностные аварии, методы предотвращения и снижения последствий. Ограничение максимального запаса реактивности: цели и способы. Учет эффектов пространственной кинетики и оценка их роли. Критерий потенциальной опасности ядерной энерготехнологии. Методы и мультифизические коды расчета протекания аварийных процессов, оценки их последствий. Примеры расчета тяжелых аварий (типа ИТОР, ИБОР и других) для реакторов на быстрых нейтронах, роль эффектов реактивности в этих авариях. Анализ результатов последствий для учета при оптимизации активной зоны. Связь параметров быстрых реакторов и ЗЯТЦ. Современные представления о требованиях к воспроизводству топлива, длительности топливного цикла, выгоранию топлива. Концепция равновесных активных зон с $K_{\text{ВА}} \sim 1$ (активных зон на равновесном топливе). Проблема выхода в равновесное состояние, требования к топливу и его характеристикам. Методы достижения параметров воспроизводства в активной зоне.</p>	2

Содержание разделов / тематика разделов	Трудоемкость разделов/тем, ауд. час
2.2 Радиационные свойства отработавшего ядерного топлива, радиоактивных отходов и облученных материалов. Остаточное энерговыделение и методы расчета. Экспериментальное определение остаточного энерговыделения. Роль остаточного энерговыделения на безопасность активных зон и радиационную безопасность обращения с ТВС. Аварии с потерей отвода тепла (типа «Фукусима») и выбор уровня мощности систем отвода остаточного энерговыделения. Аварии при транспортировке и обращении с ТВС. Трансмутация минорных актинидов. Принцип радиационно-эквивалентного обращения с РАО. Особенности нейтронных данных и их роль в нейтронике быстрых реакторов и трансмутации. Специфика рециклирования Кр, Ат, Ст и эффективности их трансмутации. Концепции гетерогенной и гомогенной трансмутации, сравнительный анализ возможностей реализации в реакторах с натриевым и свинцовым теплоносителем. Расчетное и экспериментальное (БН-350) определение параметров трансмутации. Нейтроника гетерогенных ловушек для трансформации спектра нейтронов с использованием замедлителей. Применение ловушек для повышения реактивного веса и оптимизации рабочих органов СУЗ. Нетрадиционные методы использования нейтронного потенциала быстрых реакторов для получения радионуклидов промышленного, медицинского и научного применения.	2
2.3 Нейтронно-физические концепции реакторов естественной безопасности . Нейтронно-физическая концепция реактора естественной безопасности с натриевым теплоносителем типа БН (комплексное рассмотрение: принципы выбора топлива, компоновки, базовых характеристик, результаты расчетов нейтронно-физических характеристик, результаты экспериментального обоснования) Нейтронно-физическая концепция реактора естественной безопасности с тяжелым теплоносителем типа БРЕСТ (комплексное рассмотрение: принципы выбора топлива, компоновки, базовых характеристик, результаты расчетов нейтронно-физических характеристик, результаты экспериментального обоснования)	2
<i>Итого по разделу 2:</i>	6
Всего по теоретическому разделу дисциплины:	16

5.3 Содержание лабораторного практикума

Лабораторный практикум в соответствии с рабочим учебным планом не предусмотрен.

5.4 Тематика практических / семинарских занятий

Тематика практических / семинарских занятий и их трудоемкость представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Тематика и трудоемкость практических / семинарских занятий

Перечень практических / семинарских занятий по разделам и их содержание	Трудоемкость разделов/тем, ауд. час

Перечень практических / семинарских занятий по разделам и их содержание	Трудоемкость разделов/тем, ауд. час
Раздел 1 Особенности нейтронной физики (нейтроники) реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем	
1.1 Взаимосвязи базовых параметров ЗЯТЦ с нейтронно-физическими параметрами реактора на быстрых нейтронах. Изучение взаимосвязи базовых параметров ЗЯТЦ с нейтронно-физическими параметрами реактора на быстрых нейтронах: энергонапряженность, выгорание, длительность топливного цикла, коэффициент воспроизводства топлива. Исследование вариантов запуска быстрых реакторов на ОЯТ тепловых реакторов и старта с обогащенного урана. Модель: Балансовая модель замкнутого ядерного топливного цикла	4
1.2 Знакомство и освоение базового кода нейтронно-физического расчета. Расчет нейтронно-физических характеристик для предлагаемых преподавателем вариантов активных зон с различным видами топлива. Сравнение с параметрами безопасности в соответствии с требованиями ПБЯ. Модель: Нейтронная физическая модель активной зоны на базе трехмерного расчета в диффузионном приближении	4
1.3 Оценка максимального уровня воспроизводства топлива при различных видах топлива и конфигурациях активной зоны. Нейтронная физическая модель активной зоны на базе трехмерного расчета в диффузионном приближении	4
<i>Итого по разделу 1:</i>	<i>12</i>
Раздел 2 Концепция реакторов естественной безопасности	
2.1 Анализ работы реактора в условиях замкнутого ядерного топливного цикла . Анализ работы реактора в условиях замкнутого ядерного топливного цикла с ограничением по запасу реактивности, выхода в равновесное состояние. Модель: Нейтронно-физическая модель активной зоны с выгоранием топлива и перегрузками. Перенос нейтронов - на базе диффузионного приближения, нуклидная кинетика - по физическим зонам перегрузок	8
2.2 Анализ протекания реактивной аварии .	6
2.3 Расчет эффективности трансмутации минорных актинидов.	4
2.4 Зачетное занятие.	2
<i>Итого по разделу 2:</i>	<i>20</i>
Всего по практическим / семинарским занятиям дисциплины:	32

5.5 Курсовое проектирование

Курсовая работа/проект в соответствии с рабочим учебным планом не предусмотрены.

6 Образовательные технологии

При проведении лекций используются следующие образовательные технологии: Методы проблемного обучения, Обучение на основе опыта, Поисковый метод, Исследовательский метод.

При проведении практических занятий используются следующие образовательные технологии: Методы проблемного обучения, Обучение на основе опыта, Опережающая самостоятельная работа, Поисковый метод, Исследовательский метод.

Для организации самостоятельной работы используются следующие образовательные технологии: Методы проблемного обучения, Обучение на основе опыта, Опережающая самостоятельная работа, Поисковый метод, Исследовательский метод.

Общее число часов занятий, проводимых в интерактивной форме – 48 час.

7 Аннотация фонда оценочных средств

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационные мероприятия
ПК-11	З-ПК-11	БДЗ1, БДЗ2, Экзамен (2 сем.)
ПК-11	У-ПК-11	БДЗ1, БДЗ2, Экзамен (2 сем.)
ПК-11	В-ПК-11	БДЗ1, БДЗ2, Экзамен (2 сем.)
ПК-12	З-ПК-12	БДЗ1, БДЗ2, Экзамен (2 сем.)
ПК-12	У-ПК-12	БДЗ1, БДЗ2, Экзамен (2 сем.)
ПК-12	В-ПК-12	БДЗ1, БДЗ2, Экзамен (2 сем.)

Шкалы оценки образовательных достижений. Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего (**60 баллов**) и промежуточного контроля (**40 баллов**). Для допуска к промежуточному контролю по дисциплине студенту в течение календарного модуля необходимо набрать не менее 60% баллов при условии сдачи **всех** дисциплинарных разделов. Раздел считается сданным, если выполнены все виды контроля и набрано по ним не менее 60 % баллов от максимального по разделу.

В соответствии с учебным планом промежуточная аттестация в конце семестра осуществляется в форме Экзамена.

Аттестация в 2 семестре:

Вид контроля	Наименование видов контроля	Максимальная положительная оценка в баллах	Минимальная положительная оценка в баллах
Текущая аттестация			
БДЗ1	Большое домашнее задание	30	18
БДЗ2	Большое домашнее задание	30	18
Сумма:		60	36
Промежуточная аттестация			
Экзамен		40	24
Итого:		100	60

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов по дисциплине	100–90	89–85	84–75	74–70	69–65	64–60	ниже 60
Оценка (ECTS)	A	B	C	D		E	F
Оценка по 4-х балльной шкале	отлично (отл.)	хорошо (хор.)			удовлетворительно (удовл.)		неудовлетворительно (неуд.)
Зачет	Зачтено						Не зачтено

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.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.

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.

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.

Вопросы для Экзамена (2 семестр):

1 Схема и варианты реализации ЗЯТЦ, общая схема рециклирования топлива реактора на быстрых нейтронах, решения по обращения с ОЯТ и РАО.

2 Базовые требования к реакторам на быстрых нейтронах и ЗЯТЦ.

3 Компоновка активных зон, базовые элементы и системы реакторов на быстрых нейтронах. Принципиальные отличия от активных зон тепловых реакторов.

4 Базовые нейтронно-физические параметры: реактивность, эффекты и коэффициенты реактивности, максимальный запас реактивности, объемная и линейная тепловая нагрузка на ТВЭЛ, параметр радиационного повреждения материалов, выгорание топлива.

5 Связь нейтронно-физических параметров облучения ТВЭЛ и ТВС и параметров обоснования их работоспособности. Требования ПБЯ по ограничению уровня повреждения ТВЭЛ.

6 Методы расчетного обоснования основных нейтронно-физических характеристик активных зон и параметров ядерной безопасности. Диффузионное приближение, кинетические коды, метод Монте-Карло.

7 Нейтронные константы для расчета нейтроники быстрых реакторов: детальный ход и групповые константы.

8 Базовые методы экспериментального обоснования нейтронно-физических характеристик активных зон энергетических реакторов на быстрых нейтронах. Методы проведения активационных измерений полей энерговыделения, гравирadioхимический метод определения воспроизводства топлива.

9 Воспроизводство топлива и его характеристики: коэффициент воспроизводства, коэффициент конверсии, breeding gain, время удвоения.

10 Физика и специфика активных зон реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (БР-10, БН-350, БН-600, БН-800), ориентированных на концепцию минимального времени удвоения - активных зон с повышенной теплонапряженностью и воспроизводством топлива.

11 Роль боковых и торцевых зон воспроизводства. Натриевый пустотный эффект реактивности, его роль в выборе базовых параметров активных зон, концепция реакторов с нулевым НПЭР.

12 Специфика выбора топлива (оксид, нитрид, карбид, металл) на нейтронно-физические характеристики активной зоны. Нейтронно-физические характеристики вариантов активных зон с различными видами топлива.

13 Концепция реакторов естественной безопасности. Реактивностные аварии, методы предотвращения и снижения последствий.

14 Ограничение максимального запаса реактивности: цели и способы. Критерий потенциальной опасности ядерной энерготехнологии.

15 Методы и мультифизические коды расчета протекания аварийных процессов, оценки их последствий. Расчет тяжелых аварий (типа УТОР, ULOF и других) для реакторов на быстрых нейтронах.

16 Требования к воспроизводству топлива, длительности топливного цикла, выгоранию топлива. Концепция равновесных активной зоны с КВА~1 (активных зон на равновесном топливе).

17 Радиационные свойства отработавшего ядерного топлива, радиоактивных отходов и облученных материалов. Остаточное энерговыделение и методы расчета.

18 Трансмутация минорных актинидов. Принцип радиационно-эквивалентного обращения с РАО.

19 Концепции гетерогенной и гомогенной трансмутации, сравнительный анализ возможностей реализации в реакторах с натриевым и свинцовым теплоносителем.

20 Нейтроника гетерогенных ловушек для трансформации спектра нейтронов с использованием замедлителей.

21 Нейтронно-физическая концепция реактора естественной безопасности с натриевым теплоносителем типа БН (комплексное рассмотрение: принципы выбора топлива, компоновки, базовых характеристик, результаты расчетов нейтронно-физических характеристик, результаты экспериментального обоснования).

22 Нейтронно-физическая концепция реактора естественной безопасности с тяжелым теплоносителем типа БРЕСТ (комплексное рассмотрение: принципы выбора топлива, компоновки, базовых характеристик, результаты расчетов нейтронно-физических характеристик, результаты экспериментального обоснования).

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины

8.1 Основная литература

Л1.1 Бунаков В. Е. Нейтронная физика [Текст]: учебное пособие / В. Е. Бунаков, Л. В. Краснов - Санкт-Петербург: Изд-во С.-петерб. ун-та, 2014 - 192 с., 8 с. вкл.

Л1.2 Лебедев В. А. Ядерные энергетические установки [Электронный ресурс] / Лебедев В. А. - Санкт-Петербург: Лань, 2021 - 192 с.

Л1.3 Окунев В. С. Основы прикладной ядерной физики и введение в физику ядерных реакторов: учебное пособие / В. С. Окунев - Москва: Изд-во МГТУ, 2015 - 535 с.

8.2 Дополнительная литература

Л2.1 Баско М. М. Ядерный синтез с инерционным удержанием. Современное состояние и перспективы для энергетики [Электронный ресурс] / Баско М. М., Гуськов С. Ю., Диденко А. Н., Забродин А. В.; Под ред. Б.Ю. Шаркова - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005 - 264 с.

8.3 Информационно-образовательные ресурсы

Э1 Головнин, И.С. Атомная энергетика и реакторы на быстрых нейтронах : учебное пособие / И. С. Головнин .— Москва : МИФИ, 1984 .— [URL:http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=pdf&P21DBN=BOOK&path=book-mephi/Golovnin_Atomnaya_energetika_i_reaktory_na_bystryh_nejtronah_1984&page=1].

9 Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

Материально-техническое обеспечение дисциплины приведено на сайте СТИ НИЯУ МИФИ <http://www.ssti.ru/objects.html>

10 Учебно-методические рекомендации для студентов

Самостоятельная работа студентов – это планируемая учебная и внеаудиторная работа студентов, выполняемая по заданию преподавателя и под его методическим руководством, но без его непосредственного участия.

Целью самостоятельной работы студентов является приобретение новых знаний, систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов.

Лекции. Рекомендации по написанию конспекта лекций: кратко, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения: помечать основные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь (тезаурус). Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на следующем занятии или консультации.

Практические занятия. Для подготовки к практическому занятию, необходимо повторить теоретический материал по теме с использованием лекций и рекомендуемой литературы.

На занятии желательно иметь конспект лекций (или учебник, учебное пособие), чтобы самостоятельно или с сокурсниками и преподавателем сориентироваться на каждую тему решаемой задачи, поставленной проблемы и пр.

При решении задач:

1) нужно обосновать каждый этап решения, исходя из теоретических положений дисциплины. Если студент видит несколько путей решения, то он должен сравнить их и выбрать из них самый лучший;

2) решения задач и примеров следует излагать подробно, вычисления располагать в строгом порядке, отделяя вспомогательные вычисления от основных;

3) рисунки (графики) можно выполнять от руки, но аккуратно и в соответствии с данными условиями;

4) решение каждой задачи должно доводиться до ответа, требуемого условием, и по возможности в общем виде с выводом формулы. Полученный ответ следует проверять способами, вытекающими из существа данной задачи.

При обсуждении основных положений и выводов, объяснении явлений и фактов, ответа на поставленные вопросы:

1) вырабатываются умения и навыки использовать приобретенные знания для различного рода профессиональной деятельности;

2) выступление должно строиться свободно, убедительно и аргументированно и не должно сводиться к простому воспроизведению текста, не допускается и простое чтение конспекта. Необходимо, чтобы выступающий проявлял собственное отношение к тому, о чем он говорит, высказывал свое личное мнение, понимание, обосновывал его и мог сделать правильные выводы из сказанного. При этом студент может обращаться к записям конспекта и лекций, непосредственно к первоисточникам, использовать факты и наблюдения современной жизни и т. д.

Промежуточная аттестация. Для подготовки к промежуточной аттестации студенту необходимо проработать конспекты лекционных и практических занятий, подготовить

ответы к вопросам, выносимым на промежуточную аттестацию, при необходимости воспользоваться рекомендуемой литературой.

11 Учебно-методические рекомендации для преподавателей

На лекционных, практических, занятиях студентам сообщаются новые сведения, систематизируется и обобщается накопленный запас знаний, формируются на этой основе познавательные и профессиональные интересы. Преподаватель, проводя занятия, должен стремиться увлечь студентов, активно воздействовать на их эмоции, вызвать интерес к учебному предмету, стремление постоянно пополнять знания.

Самостоятельная работа студентов по данному курсу

- Проработка лекционного материала
- Выполнение домашних заданий
- Выполнение расчетных работ
- Подготовка к промежуточному контролю: Экзамен (2 семестр)

В течение 2 семестра осуществляется контроль знаний студентов: см. раздел 5.1.

По результатам аттестационных мероприятий формируется допуск студента к итоговому контролю – Экзамену по дисциплине. Студент на Экзамене должен показать знание программного материала, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагать, уметь тесно увязывать теорию с практикой, использовать в ответе материал рекомендуемой литературы.

Автор(ы): А.Д. Истомин