

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ (МАТЕРИАЛЫ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ)

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
7	2	72	32	0	0		40	0	3
Итого	2	72	32	0	0	0	40	0	

АННОТАЦИЯ

В дисциплине изучаются условия работы, свойства и поведение под облучением топливных и конструкционных материалов ядерных энергетических установок.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина введена для ознакомления студентов с требованиями, предъявляемыми к реакторным материалам, с их структурой и свойствами, с влиянием на них эксплуатационных факторов. По окончании изучения дисциплины студенты должны уметь обосновано выбирать оптимальные конструкционные и топливные материалы для ядерного реактора заданного типа, иметь представление о перспективных материалах.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина носит обзорный характер и необходима для получения представлений о проблемах реакторного материаловедения. Для успешного освоения данной дисциплины студенты должны знать математику и физику в пределах программы бакалавриата или начальных курсов специалитета.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-1 [1] – Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	З-ОПК-1 [1] – Знать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования У-ОПК-1 [1] – Уметь использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования В-ОПК-1 [1] – Владеть навыками использования основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применения методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
УКЕ-1 [1] – Способен использовать знания естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и	З-УКЕ-1 [1] – знать: основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования У-УКЕ-1 [1] – уметь: использовать математические

экспериментального исследования в поставленных задачах	методы в технических приложениях, рассчитывать основные числовые характеристики случайных величин, решать основные задачи математической статистики; решать типовые расчетные задачи В-УКЕ-1 [1] – владеть: методами математического анализа и моделирования; методами решения задач анализа и расчета характеристик физических систем, основными приемами обработки экспериментальных данных, методами работы с прикладными программными продуктами
УКЦ-2 [1] – Способен искать нужные источники информации и данные, воспринимать, анализировать, запоминать и передавать информацию с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач	3-УКЦ-2 [1] – Знать: методики сбора и обработки информации с использованием цифровых средств, а также актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности, принципы, методы и средства решения стандартных задач профессиональной деятельности с использованием цифровых средств и с учетом основных требований информационной безопасности У-УКЦ-2 [1] – Уметь: применять методики поиска, сбора и обработки информации; с использованием цифровых средств, осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников, и решать стандартные задачи профессиональной деятельности с использованием цифровых средств и с учетом основных требований информационной безопасности В-УКЦ-2 [1] – Владеть: методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации с использованием цифровых средств для решения поставленных задач, навыками подготовки обзоров, аннотаций, составления рефератов, научных докладов, публикаций и библиографии по научно-исследовательской работе с использованием цифровых средств и с учетом требований информационной безопасности

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, 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 достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое

		развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	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.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое

		мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - 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.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры ядерной безопасности (B24)	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. 2.Использование воспитательного потенциала содержания учебных дисциплин «Актуальные проблемы эксплуатации АЭС», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике», «Системы радиационного контроля» 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 «Контроль и диагностика ядерных энергетических установок», «Надежность оборудования атомных

		реакторов и управление риском», «Безопасность ядерного топливного цикла», «Ядерные технологии и экология топливного цикла» 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 глубокошелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов. 4.Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Системы радиационного контроля», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике» 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 переработки ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла.
--	--	--

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Топливные материалы	1-7	12/0/0	Т-8 (5)	15	Дск-8	З-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, З-УКЕ-1, У-УКЕ-1, В-УКЕ-1, З-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
2	Дисперсное ядерное топливо	7-8	4/0/0	Т-8 (5)	15	Дск-8	З-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, З-УКЕ-1, У-УКЕ-1, В-УКЕ-1, З-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
3	Конструкционные материалы	9-14	12/0/0	Т-16 (5)	15	Дск-16	З-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, З-УКЕ-1, У-УКЕ-1, В-УКЕ-1, З-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
4	Материалы, поглощающие нейтроны	15- 16	4/0/0	Т-16 (5)	15	Дск-16	З-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, З-УКЕ-1, У-УКЕ-1, В-УКЕ-1, З-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/0/0		60		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				40	3	З-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, З-УКЕ-1, У-УКЕ-1, В-УКЕ-1,

							3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
--	--	--	--	--	--	--	---------------------------------

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
Т	Тестирование
Дск	Дискуссия
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	32	0	0
1-7	Топливные материалы	12	0	0
1	Общие сведения об ядерных реакторах, твэлах и ТВС. Основы работы ядерных реакторов. Понятие о твэлах, ТВС и условия их работы. Требования к твэлам и ТВС. Классификация твэлов.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	Материалы активной зоны ядерных реакторов и условия их работы Топливные и конструкционные материалы. Ядерно-физические свойства. Влияние облучения, температуры, физико-химических и коррозионных процессов, механических нагрузок.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	Ядерное топливо (ЯТ): общие понятия. Нуклидный и химический состав. Классификация. Особенности ЯТ. Требования к ЯТ.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	Металлическое ЯТ. Физические, теплофизические, механические и химические свойства урана и плутония. Сплавы: классификация, свойства. Поведение под облучением. Применение ЯТ.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	Керамические ЯТ. Сравнительный обзор свойств различных видов керамического ЯТ.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	Оксидное ЯТ. Свойства, поведение при выгорании. Твердое и газовое набухание. Перспективные виды оксидного топлива. Применение в ЯЭУ.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
7-8	Дисперсное ядерное топливо	4	0	0
7	Дисперсное ЯТ.	Всего аудиторных часов		

	Понятие о дисперсном ЯТ. Идеальная и реальная структуры дисперсного ЯТ. Радиационная стабильность. Свойства дисперсных топливных композиций. Применение в ЯЭУ.	2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	Дисперсное ядерное топливо на основе микротвэлов. Понятие о микротвэлах (МТ). Требование к топливным микросферам и материалам слоев покрытия. Радиационная стойкость слоев покрытия. Утечка ПД из МТ и источники утечки. Радиационные повреждения МТ. Применение дисперсного топлива на основе МТ в ЯЭУ.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-14	Конструкционные материалы	12	0	0
9	Перспективные виды ЯТ. Карбиды, нитриды и силициды урана. Свойства, поведение под облучением. Возможные области применения в ЯЭУ.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	Конструкционные материалы активной зоны. Алюминий и его сплавы. Свойства алюминия. Влияние легирующих элементов. Радиационная стойкость, коррозия в теплоносителях, совместимость с топливом. Сплавы алюминия, используемые в ЯЭУ.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	Магний и его сплавы. Свойства магния. Влияние легирующих элементов. Совместимость с топливом и радиационная стойкость. Сплавы магния, используемые в ЯЭУ.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	Цирконий и его сплавы. Свойства. Влияние легирования. Радиационная стойкость. Сплавы циркония. Совместимость сплавов с топливом и коррозия в теплоносителях. Коррозионное растрескивание и гидрирование циркониевых оболочек твэлов. Влияние облучения. Сплавы циркония с повышенными характеристиками. Применение сплавов циркония в ЯЭУ.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	Нержавеющие аустенитные хромоникелевые стали. Железо и его взаимодействие с легирующими элементами. Классификация и маркировка сталей. Жаропрочные коррозионно-стойкие стали аустенитного класса. Коррозионное растрескивание под напряжением. Коррозионная стойкость в теплоносителях и совместимость с ЯТ. Радиационная стойкость. Применение аустенитных сталей в ЯЭУ.	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
15-16	Материалы, поглощающие нейтроны	4	0	0
14	Стали перлитного класса. Химический состав и структура. Термическая обработка. Коррозия и радиационная стойкость. Перлитные стали, применяемые в ЯЭУ.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	Реакторный графит. Получение реакторного графита. Свойства, влияние облучения. Механизмы деградации и критерии работоспособности. Применение графита в ЯЭУ.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы учебной дисциплины используются различные образовательные технологии – занятия проводятся в форме лекций и просмотра тематических фильмов. Для контроля усвоения студентом разделов данной дисциплины используются тестовые технологии, ответы на которые позволяют судить об усвоении студентом данного курса. Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы для подготовки к тестам.

7. ФОНД 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 представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ОПК-1	З-ОПК-1	З, Дск-8, Дск-16, Т-8, Т-16
	У-ОПК-1	З, Дск-8, Дск-16, Т-8, Т-16
	В-ОПК-1	З, Дск-8, Дск-16, Т-8, Т-16
УКЕ-1	З-УКЕ-1	З, Дск-8, Дск-16, Т-8, Т-16
	У-УКЕ-1	З, Дск-8, Дск-16, Т-8, Т-16
	В-УКЕ-1	З, Дск-8, Дск-16, Т-8, Т-16
УКЦ-2	З-УКЦ-2	З, Дск-8, Дск-16, Т-8, Т-16
	У-УКЦ-2	З, Дск-8, Дск-16, Т-8, Т-16
	В-УКЦ-2	З, Дск-8, Дск-16, Т-8, Т-16

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 и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – <i>«отлично»</i>	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 – <i>«хорошо»</i>	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 – <i>«удовлетворительно»</i>	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			
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	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.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Г59 Карбидное ядерное топливо : учебное пособие для вузов, Тенишев А.В., Годин Ю.Г., Москва: МИФИ, 2007
2. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.6 Конструкционные материалы ядерной техники, , Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
3. ЭИ Ф50 Физическое материаловедение Т.6 Ч.1: Конструкционные материалы ядерной техники, , Москва: МИФИ, 2008
4. ЭИ Ф50 Физическое материаловедение Т.6:Ч.2 Ядерные топливные материалы, , Москва: МИФИ, 2008
5. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.7 Ядерные топливные материалы, , Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 Г59 Карбидное ядерное топливо : учебное пособие для вузов, Тенишев А.В., Годин Ю.Г., Москва: МИФИ, 2007
2. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.6 Ч.1: Конструкционные материалы ядерной техники, , Москва: МИФИ, 2008
3. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.6 Ч.2: Ядерные топливные материалы, , Москва: МИФИ, 2008
4. 621.039 Г59 Физическое металловедение плутония и его сплавов : учеб. пособие по курсу "Реакторное материаловедение", Годин Ю.Г., Москва: МИФИ, 2004

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении темы 1 необходимо сформировать общее представление о топливных и конструкционных материалах, материалах замедлителя, отражателя, регулирующих стержней. Знать их функциональное назначение, состав и основные ядерно-физические свойства. Рассмотреть влияние рабочих условий, таких как облучение, температурные поля, физико-химические и коррозионные процессы, статические и динамические нагрузки на их поведение при эксплуатации.

При рассмотрении темы 2 необходимо знать нуклидный и химический состав ядерного топлива, и его классификацию. Понимать что такое выгорание и энергонапряженность. Знать основные особенности и требования к ядерному топливу.

По материалам темы 3 необходимо сформировать представление о физических, теплофизических, механических и химических свойствах урана, и понимать основные закономерности их изменения. Представлять основные механизмы пластической деформации и знать что такое текстура в урановых изделиях. Иметь представление об основных видах термической обработки урана направленной на повышение его эксплуатационных свойств. Знать сплавы урана, их классификацию, свойства и термическую обработку. Представлять себе поведение урана и его сплавов под облучением. Понимать суть методов направленных на

повышение радиационной стабильности сердечников ТВЭЛов из урана и его сплавов. Знать примеры применения урана и его сплавов в ЯЭУ.

При изучении темы 4 сформировать представление о физических, теплофизических, механических и химических свойствах плутония. Знать сплавы плутония, их классификацию и свойства. Представлять себе поведение плутония и его сплавов под облучением. Знать применение плутония и его сплавов в ЯЭУ.

При рассмотрении темы 5 необходимо провести сравнительный обзор достоинств и недостатков керамического ядерного топлива (оксидного, карбидного, нитридного и силицидного) в соответствии с требованиями.

Тема 6 нацелена на ознакомление с физическими, физико-химическими, теплофизическими и механическими свойствами оксидного ядерного топлива и их изменениями в рабочих условиях. Необходимо представлять поведение оксидных сердечников ТВЭЛов при выгорании. Знать закономерности эволюция структуры и перераспределение пористости. Иметь общие представления о процессах, приводящих к образованию структуры высокого выгорания. Знать закономерности радиационного доспекания и радиационной ползучести. Понимать механизмы перераспределения кислорода и актиноидов. Знать основные группы твердых продуктов деления, их физическое и химическое состояние. Понимать влияние выгорания на кислородный потенциал. Представлять себе механизмы и закономерности физико-химического взаимодействия топлива и продуктов деления с оболочкой ТВЭЛ быстрого реактора. Разделять понятия «твердое» и «газовое» распухания. Знать механизмы и факторы, влияющие на распухание оксидных сердечников ТВЭЛов. Представлять механизмы приводящие к выходу ГПД из оксидных сердечников. Знать факторы, влияющие на выход ГПД. Понимать особенности механического взаимодействия оксидного топлива с оболочкой ТВЭЛ на номинальной мощности и при маневрировании мощностью. Представлять перспективные пути повышения эксплуатационных характеристик оксидного ядерного топлива (уран-гадолиниевое оксидное топливо, пластичное оксидное топливо). Знать применение оксидного топлива в ЯЭУ.

При изучении темы 7 необходимо сформировать представления о дисперсном ядерном топливе (ДЯТ). Понимать различия в идеальной и реальной структуре ДЯТ. Знать требования к материалам дисперсных топливных композиций. Проанализировать термодинамически стабильное и метастабильное ДЯТ. Представлять основные закономерности поведения ДЯТ при выгорании и факторы, влияющие на радиационную стабильность ДЯТ. Знать свойства дисперсных композиций с матрицами из алюминия, нержавеющей стали, магния, молибдена и вольфрама и примеры их применения в ЯЭУ.

Тема 8 направлена на формирование понятия о микротвэлах (МТ). Необходимо знать структуру МТ, назначение слоев покрытия, требования к топливным сферам и материалам слоев покрытия, состав и свойства топливных микросфер. Сформировать представление о структуре, составах и свойствах пироуглеродных покрытий и покрытий из карбида кремния. Знать основные закономерности влияния на них облучения. Химическое состояние ПД в топливных микросферах. Утечка ПД из МТ и источники утечки. Понимать механизмы миграции и утечки ПД из топлива ВТГР. Знать основные виды повреждения микротвэлов в рабочих условиях (миграция топливных микросфер в МТ, коррозия карбидного слоя покрытия МТ продуктами деления). Иметь представление о напряженно-деформированном состоянии МТ, как о факторе их работоспособности. Знать применение дисперсного топлива на основе микротвэлов в ЯЭУ.

Тема 9 раскрывает достоинства и недостатки перспективных видов керамического ядерного топлива. Нужно знать основные карбиды урана и плутония, их свойства, поведение

под облучением и возможные области применения в ЯЭУ. Знать свойства, поведение под облучением и возможные области применения нитридов урана и плутония. Обратить внимание на преимущества по сравнению с оксидным топливом.

При изучении темы 10 необходимо знать физические и ядерно-физические свойства алюминия. Понимать закономерности влияния легирующих элементов на коррозионную стойкость и механические свойства алюминия. Знать совместимость алюминия с топливом. Провести анализ радиационной стойкости. Знать сплавы алюминия, используемые в ЯЭУ.

При рассмотрении темы 11 необходимо знать физические и ядерно-физические магния. Понимать закономерности влияния легирующих элементов на коррозионную стойкость и механические свойства магния. Знать совместимость магния с топливом. Провести анализ радиационной стойкости. Знать сплавы магния, используемые в ЯЭУ.

При изучении темы 12 необходимо знать физические и ядерно-физические циркония. Понимать закономерности влияния легирования на коррозионную стойкость и механические свойства. Знать применяемые сплавы циркония. Рассмотреть коррозию сплавов циркония в теплоносителях. Обратить внимание на коррозионное растрескивание под напряжением в атмосфере осколочного йода и гидрирование циркониевых оболочек. Рассмотреть взаимодействие циркониевых оболочек с топливом. Понимать механизмы деформации циркониевых оболочек ТВЭЛов в результате радиационной ползучести и роста. Знать сплавы циркония с повышенными характеристиками.

Тема 13 посвящена железу и его взаимодействию с другими элементами. Необходимо знать классификацию и маркировку сталей. Иметь представление об особенностях жаропрочных коррозионно-стойких сталей аустенитного класса. Обратить внимание на явление коррозионного растрескивания под напряжением. Понимать механизмы и закономерности коррозии сплавов железа в жидкометаллических теплоносителях. Рассмотреть совместимость с ядерным топливом. Иметь представление о явлениях радиационного охрупчивания и вакансионного распухания. Знать применение аустенитных сталей в ЯЭУ.

При рассмотрении темы 14 необходимо знать химический состав и особенности структуры перлитных сталей. Понимать назначение термической обработки. Знать закономерности коррозии в воде. Провести анализ радиационной стойкости. Знать марки перлитных сталей, применяемых в ЯЭУ.

При изучении темы 15 необходимо знать методы получения реакторного графита. Иметь представления о его структуре, физических и механических свойствах. Обратить внимание на вопросы окисления графита. Знать закономерности влияния облучения на графит. Знать что такое запасенная энергия и в чем ее опасность. Понимать механизмы деградации и проанализировать критерии работоспособности реакторного графита. Знать примеры применения графита в ЯЭУ.

При рассмотрении темы 16 необходимо иметь четкое представление о материалах поглощающих нейтроны и их влиянии на регулирование работы реактора. Знать ядерно-физические свойства бора, его соединений и керметов. Знать ядерно-физические свойства кадмия и его сплавов. Знать ядерно-физические свойства гафния и его сплавов. Знать ядерно-физические свойства редкоземельных элементов и их оксидов. Знать назначение, составы и иметь представление о работоспособности регулирующих и поглощающих стержней ЯЭУ.

Семинарские занятия проводятся в виде открытых дискуссий, мозговых штурмов и групповых обсуждений согласно обозначенным выше темам. При подготовке к занятию студент получает у преподавателя задание по тематике семинара и готовит презентацию для

публичного выступления в течение 10 -20 минут, которое впоследствии коллективно обсуждается.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

В настоящей дисциплине излагаются сведения об условиях работы, свойствах и поведении под облучением конструкционных и топливных материалов в активных зонах ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Дисциплина знакомит студентов с требованиями к реакторным материалам, с их структурой и свойствами, с влиянием на них эксплуатационных факторов. По окончании изучения дисциплины студенты должны уметь обосновано выбирать оптимальные конструкционные и топливные материалы для ядерного реактора заданного типа, иметь представление о перспективных материалах.

Полученные знания будут необходимы для более глубокого понимания студентами, специализирующимися в дальнейшем на нейтронно-физических и тепло-гидравлических расчетах ядерных энергетических установок, процессов, явлений и, в особенности, факторов ограничивающих работоспособность элементов активных зон ядерных реакторов. Полученная студентами информация будет крайне полезна при дальнейшем выполнении ими курсовых и дипломных проектов.

Автор(ы):

Тенишев Андрей Вадимович, к.т.н., доцент