

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

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.03.02 Ядерные физика и технологии
[2] 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки, час.	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
5, 7	1-2	36-72	32	0	0		4-40	0	3
Итого	1-2	36-72	32	0	0	0	4-40	0	

АННОТАЦИЯ

В дисциплине изучаются условия работы, свойства и поведение под облучением топливных и конструкционных материалов ядерных энергетических установок. Учебная дисциплина состоит из 2-х модулей лекционного цикла - 32 часа в седьмом семестре длительностью 16 недель. Промежуточный контроль знаний в конце каждого модуля осуществляется в форме письменных контрольных работ. Итоговой формой контроля является зачет.

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 образовательных программ.

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 базовые законы естественнонаучных дисциплин; основные математические законы; основные физические явления, процессы, законы и границы их применимости; сущность основных химических законов и явлений; методы математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования У-ОПК-1 [1] – Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат В-ОПК-1 [1] – Владеть математическим аппаратом для разработки моделей процессов и явлений, решения практических задач профессиональной деятельности; навыками использования основных общезначимых законов и принципов

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
научно-исследовательский			
Подготовка специалистов с фундаментальной физико-математической и инженерной подготовкой для проектирования и эксплуатации ядерных установок со знанием основ нейтронно-физических и теплофизических процессов, ядерной и радиационной безопасности	Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики. безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных	ПК-1 [2] - Способен к участию в разработке методов прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.032	З-ПК-1[2] - Знать методы прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик; У-ПК-1[2] - Уметь разрабатывать методы прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик; В-ПК-1[2] - Владеть методами прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик.

	объектов и установок;		
организационно-управленческий			
2 Составление технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование и т.п.), а также установленной отчетности по утвержденным формам; выполнение работ по метрологии, стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов; организация работы малых коллективов исполнителей; планирование работы персонала и фондов оплаты труда; подготовка исходных данных для выбора и обоснования научно - технических и организационных решений на основе экономического анализа; подготовка документации для создания системы менеджмента качества предприятия; разработка оперативных планов работы первичных производственных подразделений, проведение анализа затрат и результатов деятельности производственных подразделений.	2 Объектами профессиональной деятельности выпускников по основной образовательной программе «Экспериментальные исследования и моделирование фундаментальных взаимодействий» являются: атомное ядро, элементарные частицы и плазма, газообразное и конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка ядерных и физических установок, технологии применения приборов и установок для регистрации излучений, разделения изотопных и молекулярных смесей, а также анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в	ПК-9 [1] - Способен к выполнению работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, оборудования и материалов <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-9[1] - Знать номенклатуру работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов; У-ПК-9[1] - Уметь выполнять работы по подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов; В-ПК-9[1] - Владеть основными навыками сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов

	медицине, математические модели для теоретических, экспериментальных и прикладных исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, газообразного и конденсированного состояния вещества, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.		
--	--	--	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (B17)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры ядерной безопасности (B24)

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	МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ: МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА	1-8	16/0/0		25	КИ-8	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
2	НЕМЕТАЛЛЫ: МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА	9-16	16/0/0		25	КИ-16	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/0/0		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	3	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9

* – 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
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	32	0	0
1-8	МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ: МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА	16	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 распухание. Перспективные виды оксидного топлива. Применение в ЯЭУ.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	Дисперсное ЯТ. Понятие о дисперсном ЯТ. Идеальная и реальная структуры дисперсного ЯТ. Радиационная стабильность. Свойства дисперсных топливных композиций. Применение в ЯЭУ.	Всего аудиторных часов		
		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
9-16	НЕМЕТАЛЛЫ: МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА	16	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		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	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		
		4	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

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	7 Семестр

1 - 2	Ионно-электронное и атомно-кристаллическое строение металлов. Классификация и характерные свойства металлов. Электронный газ. Кристаллическая решетка металла. Элементарная ячейка. Характеристики кристаллов. Сингонии. Кристаллографические символы. Поликристаллическое строение и полиморфные модификации металлов. Характеристики кристаллов. Сингонии. Кристаллографические символы. Поликристаллическое строение и полиморфные модификации металлов.
3	Кристаллизация и плавление металлов. Агрегатные состояния вещества. Энергетические условия фазовых превращений. Механизмы кристаллизации. Степень переохлаждения расплава. Гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов. Параметры кристаллизации. Кривые Таммана. Модифицирование.
4 - 5	Дефекты кристаллического строения металлов. Классификация дефектов. Механизмы образования и равновесная концентрация вакансий и межузельных атомов. Пары Френкеля. Комплексы точечных дефектов. Краевые и винтовые дислокации. Экстраплоскость, линия дислокации, вектор Бюргерса. Атмосферы Коттрелла. Влияние
6 - 7	Упругая и пластическая деформация металлов. Деформация твердых тел. Нормальные и касательные напряжения. Упругая деформация металлов. Закон Гука при растяжении и сдвиге. Модуль Юнга и модуль сдвига. Коэффициент Пуассона. Теоретическая прочность металлов. Механизмы пластической деформации монокристаллов. Скольжение и переползание дислокаций. Системы скольжения. Линии Людерса-Чернова. Особенности пластической деформации поликристаллов. Металлографическая и кристаллографическая текстура. 8 неделя. Механические свойства и разрушение металлов.
8	Механические свойства и разрушение металлов. Диаграммы растяжения. Механические характеристики металлов. Деформационное упрочнение металлов. Технологические и эксплуатационные дефекты в конструкциях. Физические основы хрупкого и вязкого разрушения материалов. Трещиностойкость конструкций.
9 - 10	Строение металлических сплавов. Понятие о металлическом сплаве. Компоненты сплава. Фаза. Структурная составляющая. Твердые растворы. Условия неограниченной взаимной растворимости металлов. Сверхструктуры. Химические соединения: интерметаллиды, фазы Лавеса, фазы внедрения. Влияние структуры на физико-механические свойства
11 - 13	Диаграммы состояния металлических систем. Структурно-фазовое состояние сплава. Система сплавов. Методы построения и классификация диаграмм состояния. Система с неограниченной растворимостью компонентов. Ликвидус, солидус, сольвус. Правило отрезков. Конода. Система с бинодальной кривой. Системы с эвтектическим и перитектическим превращениями. Системы с промежуточными фазами. Использование диаграмм
14 - 15	Методы обработки материалов. Термическая обработка металлических веществ. Отжиг, закалка, старение, отпуск. Влияние нагрева на строение и свойства деформированных металлов. Отдых, полигонизация, рекристаллизация. Правило Бочвара. Комбинированные методы обработки металлов: термомеханическое и химико-термическое воздействие на материал. Современные и перспективные методы обработки материалов

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. Усвоение студентами материала курса контролируется написанием коллоквиумов. 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)
ПК-1	З-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16
ОПК-1	З-ОПК-1	З, КИ-8, КИ-16
	У-ОПК-1	З, КИ-8, КИ-16
	В-ОПК-1	З, КИ-8, КИ-16
ПК-9	З-ПК-9	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-9	З, КИ-8, КИ-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-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – «отлично»	«зачтено»	A
85-89	4 – «хорошо»		B
75-84			C
70-74			D
65-69	3 – «удовлетворительно»		E
60-64			
ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	«не зачтено»	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

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. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.6 Ч.1: Конструкционные материалы ядерной техники, , Москва: МИФИ, 2008
4. 620 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 Физическое металловедение плутония и его сплавов : учеб. пособие по курсу "Реакторное материаловедение", Годин Ю.Г., Москва: МИФИ, 2004

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. Пакет программ Microsoft Office (мультимедийная аудитория)

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Аудитория с мультимедийными средствами ()
2. Мультимедийные средства ()

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 ТВЭЛ. 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. Обратит 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. Обратит 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. Обратит 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 теплогидравлических

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