

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

_____ А.Д.Король



5 июля 2024 г.

Регистрационный № УД – 13320/уч.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Учебная программа учреждения образования
по учебной дисциплине для специальности

1-31 04 06 Ядерные физика и технологии

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 06-2013 и учебного плана № G-31-229/уч. от 20.03.2019.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Н.Н. Черенда — доцент кафедры физики твердого тела и нанотехнологий Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТ:

А.Л.Данилюк — доцент кафедры микро- и наноэлектроники Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физики твердого тела и нанотехнологий
физического факультета БГУ
(протокол № 10 от 04.06.2024);

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 9 от 28.06.2024)

Заведующий кафедрой



В.В.Углов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Конструкционные материалы ядерных реакторов» разработана для специальности 1-31 04 06 Ядерная физика и технологии.

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – формирование у студентов целостных представлений о применяемых в ядерных реакторах конструкционных материалах и закономерностях изменения их свойств при воздействии облучения и коррозии, их совместимости с различными видами ядерного топлива.

Основные задачи учебной дисциплины – изучение структуры, состава и свойств основных конструкционных материалов, применяемых в реакторостроении; изучение критических физических процессов, влияющих на свойства материалов; изучение эволюции структуры и свойств материалов при выгорании топлива, протекании коррозионных процессов и облучении частицами различного типа; изучение совместимости конструкционных материалов с различными видами ядерного топлива. Данные задачи выполняются непосредственно при прослушивании лекций, при самостоятельной работе с технической и научной литературой, учебными пособиями, справочниками.

Ядерная энергетика является важной составной частью производства электроэнергии. Ключевыми вопросами развития ядерной энергетики являются безопасность и экономичность. Именно поведение конструкционных материалов эксплуатируемых и проектируемых ядерных реакторов и определяет в значительной степени безопасную и экономичную работу атомных станций. Роль конструкционных материалов активной зоны и корпусов реакторов состоит в обеспечении минимальных последствий возможных аварийных ситуаций, т.е., по существу, в решении главных вопросов безопасности реакторов.

Свойства конструкционных материалов зависят от целого ряда внутренних (состав, структура, внутренние напряжения) и внешних факторов (температура, тип ионизирующего излучения и энергия частиц, присутствие и величина внешних напряжений, характер коррозионной среды, тип используемого ядерного топлива). Изучение этих вопросов является основой реакторного материаловедения.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием: учебная дисциплина относится к **дисциплинам специализаций** компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами: дисциплина необходима для изучения дисциплин специализации «Структурно-фазовые изменения при облучении», «Методы анализа элементного состава поверхностных слоев».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Конструкционные материалы ядерных реакторов» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

Академические компетенции:

АК-1. Уметь применять базовые научно-технические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой компьютером.

АК-8. Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

Социально-личностные компетенции:

СЛК-1. Обладать качествами гражданственности.

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-4. Владеть навыками здорового образа жизни.

Профессиональные компетенции:

ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ ядерной физики и ядерных технологий, ядерно-физических методов исследования, методов измерения величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы в области ядерно-физических технологий и атомной энергетики.

ПК-2. Осуществлять на основе методов математического моделирования оценку производственных процессов.

ПК-5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической работы.

ПК-9. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

ПК-10. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.

ПК-12. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиями, проектам и решениям.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- основные типы конструкционных и топливных материалов ядерных реакторов и требования, предъявляемые к ним;

- диаграммы состояния сплавов на основе железа, циркония, алюминия, и оптимальные составы сплавов;
- основные закономерности критических физических процессов, влияющих на свойства материалов;
- влияние легирования на структуру и прочностные характеристики, а также коррозионную стойкость материалов в различных агрессивных средах

уметь:

- прогнозировать поведение структуры и свойств основных конструкционных материалов в различных условиях их работы;
- анализировать диаграммы состояний наиболее распространенных сплавов и определять по ним возможное состояние структуры и состава сплавов;
- работать самостоятельно и повышать свой профессиональный уровень;
- реализовывать комплексный подход к решению проблем в области материаловедения;
- применять базовые научно-технические знания для решения научных и прикладных задач в области реакторного материаловедения;

владеть:

- организовывать и проводить экспериментальные исследования используемых материалов;
- базовыми принципами прогнозирования свойств конструкционных материалов ядерных реакторов, исходя из данных об их условиях работы;
- базовыми научно-техническими знаниями для решения научных и прикладных задач в области радиационного материаловедения;
- основными принципами выбора наиболее эффективного решения материаловедческих задач при создании узлов и конструкций, работающих в определенных условиях;
- компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, научно-технической и патентной литературой;
- основными принципами поиска, систематизации и анализа информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям и проектам;
- основными принципами организации своего собственного труда и взаимодействия с другими исполнителями, в том числе со специалистами смежных профилей.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 9 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Конструкционные материалы ядерных реакторов» отведено:

– в очной форме получения высшего образования: 110 часов, в том числе 54 аудиторных часа, из них: лекции – 44 часов, управляемая

самостоятельная работа – 10 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Общая характеристика конструкционных материалов ядерных реакторов.

- 1.1 Конструкционная схема ядерной энергетической установки (ЯЭУ). Термоядерные реакторы. Классификация ЯЭУ.
- 1.2 Требования, предъявляемые к материалам узлов, находящихся в активной зоне и вне активной зоны. Конструкционные материалы, применяемые в реакторостроении. Основные механические свойства, совместимость и радиационная стойкость конструкционных материалов ядерных реакторов.

Тема 2. Коррозионные процессы

- 2.1 Классификация коррозионных процессов. Показатели коррозии. Химическая коррозия металлов.
- 2.2 Электрохимическая коррозия металлов. Методы защиты от коррозии.

Тема 3. Алюминий и его сплавы.

- 3.1 Общая характеристика алюминия. Коррозионная стойкость алюминия. Влияние легирования на коррозионную стойкость. Влияние легирования на структуру и механические свойства алюминия. Алюминиевые сплавы, применяемые в реакторостроении.

Тема 4. Магний и его сплавы.

- 4.1 Общая характеристика магния. Сплавы магния.

Тема 5. Цирконий и его сплавы.

- 5.1 Общая характеристика циркония. Влияние легирования на механические свойства и жаропрочность. Взаимодействие с кислородом. Влияние примесей и легирующих элементов на окисление.
- 5.2 Взаимодействие с водородом, углекислым газом, органическими и жидкометаллическими теплоносителями. Влияние облучения на механические свойства и коррозионную стойкость.

Тема 6. Сплавы на основе железа.

- 6.1 Физико-химические свойства железа. Система Fe-Fe₃C. Превращения в стали при охлаждении. Классификация и маркировка сталей. Примеси и легирующие элементы в стали. Сплавы системы Fe-Cr, Fe-Ni, Fe-Cr-Ni. Влияние легирования на коррозионную и жаро-стойкость.

Тема 7. Хромистые жаропрочные и нержавеющие стали.

- 7.1 Перлитные стали. Мартенситные стали. Полуферритные и ферритные стали. Влияние нейтронного облучения на механические свойства. Коррозионная стойкость.

Тема 8. Жаропрочные нержавеющие хромоникелевые стали.

8.1 Структура жаропрочных нержавеющей хромоникелевых сталей. Влияние легирования на механические свойства. Влияние нейтронного облучения на свойства жаропрочных нержавеющей хромоникелевых сталей.

8.2 Коррозионное растрескивание и межкристаллитная коррозия. Коррозионная стойкость в воде и паре, в жидкометаллических теплоносителях.

Тема 9. Сплавы на основе никеля.

9.1 Общая характеристика никеля. Влияние легирующих элементов на свойства никеля. Сплавы никеля.

Тема 10. Тугоплавкие металлы и их сплавы.

10.1 Свойства тугоплавких металлов. Сплавы на основе ванадия, тантала, ниобия, хрома, молибдена, вольфрама. Влияние облучения на механические свойства.

10.2 Окисление тугоплавких металлов. Взаимодействие с жидкометаллическими теплоносителями.

Тема 11. Ядерное топливо и его совместимость с конструкционными материалами.

11.1 Состав ядерного топлива, его классификация. Требования к ядерному топливу.

11.2 Уран и его свойства. Термическая обработка и циклическая термическая обработка урана. Совместимость урана с конструкционными материалами оболочек твэлов. Влияние облучения на уран. Сплавы урана.

11.3 Плутоний и его свойства. Циклическая термическая обработка и термическая обработка плутония. Коррозия плутония. Сплавы плутония.

11.4 Общая характеристика оксидного ядерного топлива. Технологические свойства порошков и методы получения порошков UO_2 . Требования к таблеткам оксидного ядерного топлива. Основные технологические процессы получения таблеток UO_2 . Промышленная технология спекания таблеток UO_2 .

11.5 Структурно-фазовое состояние и физико-химические свойства диоксидов.

11.6 Механические свойства диоксидов. Изменения структуры при выгорании. Перераспределение кислорода и актиноидов при выгорании. Совместимость с конструкционными материалами и теплоносителями.

11.7 Общая характеристика карбидов и нитридов урана и плутония. Механические свойства карбидного и нитридного топлива, влияние облучения. Теплофизические свойства карбидного и нитридного топлива, влияние облучения. Совместимость карбидов и нитридов урана и плутония с конструкционными материалами, влияние

облучения. Радиационное распухание карбидного и нитридного топлива.

11.8 Структура и свойства дисперсного ядерного топлива. Совместимость компонентов и радиационная стабильность дисперсного ядерного топлива. Дисперсное ядерное топливо на основе микротвэлов и их конструктивные особенности.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Номер раздела, темы,	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Общая характеристика конструкционных материалов ядерных реакторов.	4						
1.1	Конструкционная схема ядерной энергетической установки (ЯЭУ). Термоядерные реакторы. Классификация ЯЭУ.	2						Устный опрос, дискуссия.
1.2	Требования, предъявляемые к материалам узлов, находящихся в активной зоне и вне активной зоны. Конструкционные материалы, применяемые в реакторостроении. Основные механические свойства, совместимость и радиационная стойкость конструкционных материалов ядерных реакторов.	2						Устный опрос, дискуссия.
2	Коррозионные процессы	4						
2.1	Классификация коррозионных процессов. Показатели коррозии. Химическая коррозия металлов.	2						Устный опрос, дискуссия.

2.2	Электрохимическая коррозия металлов. Методы защиты от коррозии.	2						Устный опрос, дискуссия.
3	Алюминий и его сплавы.	2						
3.1	Общая характеристика алюминия. Коррозионная стойкость алюминия. Влияние легирования на коррозионную стойкость. Влияние легирования на структуру и механические свойства алюминия. Алюминиевые сплавы, применяемые в реакторостроении.	2						Устный опрос, дискуссия.
4	Магний и его сплавы.	1						
4.1	Общая характеристика магния. Сплавы магния.	1						Устный опрос, дискуссия.
5	Цирконий и его сплавы.	4					2	
5.1	Общая характеристика циркония. Влияние легирования на механические свойства и жаропрочность. Взаимодействие с кислородом. Влияние примесей и легирующих элементов на окисление.	2						Устный опрос, дискуссия.
5.2	Взаимодействие с водородом, углекислым газом, органическими и жидкометаллическими теплоносителями. Влияние облучения на механические свойства и коррозионную стойкость.	2					2	Устный опрос, дискуссия. Контроль ная работа по темам 1- 5

6	Сплавы на основе железа.	2						
6.1.	Физико-химические свойства железа. Система Fe-Fe ₃ C. Превращения в стали при охлаждении. Классификация и маркировка сталей. Примеси и легирующие элементы в стали. Сплавы системы Fe-Cr, Fe-Ni, Fe-Cr-Ni. Влияние легирования на коррозионную и жаро-стойкость.	2						Устный опрос, дискуссия.
7	Хромистые жаропрочные и нержавеющие стали.	2						
7.1	Перлитные стали. Мартенситные стали. Полуферритные и ферритные стали. Влияние нейтронного облучения на механические свойства. Коррозионная стойкость.	2						Устный опрос, дискуссия.
8	Жаропрочные нержавеющие хромоникелевые стали.	4						
8.1	Структура жаропрочных нержавеющих хромоникелевых сталей. Влияние легирования на механические свойства. Влияние нейтронного облучения на свойства жаропрочных нержавеющих хромоникелевых сталей.	2						Устный опрос, дискуссия.
8.2	Коррозионное растрескивание и межкристаллитная коррозия. Коррозионная стойкость в воде и паре, в жидкометаллических теплоносителях.	2						Устный опрос, дискуссия.
9	Сплавы на основе никеля.	1						
9.1	Общая характеристика никеля. Влияние	1						Устный

	легирующих элементов на свойства никеля. Сплавы никеля.							опрос, дискуссия.
10	Тугоплавкие металлы и их сплавы.	4					2	
10.1	Свойства тугоплавких металлов. Сплавы на основе ванадия, тантала, ниобия, хрома, молибдена, вольфрама. Влияние облучения на механические свойства.	2						Устный опрос, дискуссия.
10.2	Окисление тугоплавких металлов. Взаимодействие с жидкометаллическими теплоносителями.	2					2	Устный опрос, дискуссия. Контрольн ая работа по темам 6- 10
11	Ядерное топливо и его совместимость с конструкционными материалами.	16					6	
11.1	Состав ядерного топлива, его классификация. Требования к ядерному топливу.	2						Устный опрос, дискуссия.
11.2	Уран и его свойства. Термическая обработка и циклическая термическая обработка урана. Совместимость урана с конструкционными материалами оболочек твэлов. Влияние облучения на уран. Сплавы урана.	2						Устный опрос, дискуссия.
11.3	Плутоний и его свойства. Циклическая термическая обработка и термическая обработка плутония. Коррозия плутония. Сплавы плутония.	2						Устный опрос, дискуссия.

11.4	Общая характеристика оксидного ядерного топлива. Технологические свойства порошков и методы получения порошков UO_2 . Требования к таблеткам оксидного ядерного топлива. Основные технологические процессы получения таблеток UO_2 . Промышленная технология спекания таблеток UO_2 .	2						Устный опрос, дискуссия.
11.5	Структурно-фазовое состояние и физико-химические свойства диоксидов.	2						Устный опрос, дискуссия.
11.6	Механические свойства диоксидов. Изменения структуры при выгорании. Перераспределение кислорода и актиноидов при выгорании. Совместимость с конструкционными материалами и теплоносителями.	2						Устный опрос, дискуссия.
11.7	Общая характеристика карбидов и нитридов урана и плутония. Механические свойства карбидного и нитридного топлива, влияние облучения. Теплофизические свойства карбидного и нитридного топлива, влияние облучения. Совместимость карбидов и нитридов урана и плутония с конструкционными материалами, влияние облучения. Радиационное распухание карбидного и нитридного топлива.	2						Устный опрос, дискуссия.
11.8	Структура и свойства дисперсного ядерного топлива. Совместимость компонентов и радиационная стабильность дисперсного	2						Устный опрос, дискуссия.

	ядерного топлива. Дисперсное ядерное топливо на основе микротвэлов и их конструктивные особенности.						4 2	Защита рефератов Контрольн ая работа по теме 11
	ИТОГО	44					10	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. И.И. Чернов, В.В. Углов, Б.А. Калинин, М.С. Стальцов, А.В. Тенишев, Н.Н.Черенда. Конструкционные и функциональные материалы ядерных энергетических установок: учебное пособие. Минск: Вышэйшая школа, 2021.- 239 с.
2. Конструкционные материалы ядерных реакторов. В 2-х ч. Ч. II. Структура, свойства, назначение. Учебное пособие для вузов. Под ред. М.Н. Бескоровайного. М. Атомиздат. 1977 256 с.
3. В.В. Герасимов, А.С. Монахов. Материалы ядерной техники. Учебник для вузов. М. Энергоиздат. 1982, 288 с.
4. Физическое материаловедение. / Под общ. ред. Б.А. Калина. Учебник для вузов. Том 6. Ч. 2. – М.: МИФИ, 2008.
5. Дегальцев Ю.Г., Понамарев-Степной Н.Н., Кузнецов В.Ф., Поведение высокотемпературного ядерного топлива при облучении. М.: Энергоатомиздат, 1987.

Перечень дополнительной литературы

1. А.И. Малахов, А.П. Жуков. Основы металловедения и теория коррозии. М.: Высшая школа. 1978, 192 с.
2. Топливо и материалы ядерной техники. Уч. пособие. Л.А. Беляев, А.В. Воробьев, П.М. Гаврилов, Д.В. Гвоздяков, В.Е. Губин. Томск: Изд-во ТПУ. 2010.
3. Годин Ю.Г., Тенишев А.В. Карбидное ядерное топливо: Учебное пособие. – М.: МИФИ, 2007.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Для диагностики компетенций по дисциплине используются следующие средства текущей аттестации: устный опрос, дискуссия, контрольная работа, реферат.

Контрольные работы проводятся в письменном виде. Каждое задание включает в себя 2 вопроса (задач), на выполнение которых отводится 90 минут. Отметка за контрольную работу учитывает полноту ответа на поставленные вопросы.

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией и предоставлением письменных рефератов.

В случае пропуска контрольного мероприятия возможность выделения дополнительного времени на выполнение данных заданий определяется кафедрой, обеспечивающей преподавание данной

дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем отработать пропущенное занятие в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные отметки за контрольные работы, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно, до сессии.

Студент допускается к сдаче экзамена по дисциплине при условии выполнения всех контрольных мероприятий и получения по каждому из них положительных отметок.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Конструкционные материалы ядерных реакторов» учебным планом предусмотрен **экзамен**.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации студентов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

- устный опрос – 30 %;
- контрольная работа – 40 %;
- реферат – 30 %

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе итоговой отметки текущей аттестации (модульно-рейтинговой системы оценки знаний) - 30 % и экзаменационной отметки - 70 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы

В рамках управляемой самостоятельной работы студент выполняет контрольные работы и представляет краткие устные сообщения по темам рефератов. На выполнение контрольной работы отводится 90 минут, выполненная работа оценивается по десятибалльной системе.

Контрольная работа № 1 выполняется по темам 1-5 учебной дисциплины.

Примерный перечень вопросов:

- Общая характеристика конструкционных материалов ядерных реакторов.
- Коррозионные процессы.

- Алюминий и его сплавы.
- Магний и его сплавы.
- Цирконий и его сплавы.

Контрольная работа № 2 выполняется по темам 6-10 учебной дисциплины.

Примерный перечень вопросов:

- Сплавы на основе железа.
- Хромистые жаропрочные и нержавеющие стали.
- Жаропрочные нержавеющие хромоникелевые стали.
- Сплавы на основе никеля.
- Тугоплавкие металлы и их сплавы.

Контрольная работа № 3 выполняется по теме 11 «Ядерное топливо и его совместимость с конструкционными материалами».

Примерный перечень вопросов:

- Состав ядерного топлива, его классификация
- Уран и его свойства
- Плутоний и его свойства
- Оксидное ядерное топливо и его свойства
- Карбиды и нитриды урана и плутония, их свойства.
- Дисперсное ядерное топливо.

Примерный перечень тем реферативных работ:

1. Реакторный графит (свойства, коррозионная стойкость, влияние облучения на свойства).
2. Медь и ее сплавы.
3. Титан и его сплавы.
4. Совместимость аустенитных нержавеющих сталей с ядерным топливом.
5. Радиационное распухание конструкционных материалов.
6. Радиационное охрупчивание конструкционных материалов
7. Радиационная ползучесть конструкционных материалов.
8. Жаропрочность конструкционных материалов.
9. Конструкционные материалы реакторов на быстрых нейтронах.
10. Термоядерные реакторы.
11. Конструкционные материалы термоядерных реакторов
12. Тепловыделяющие элементы и тепловыделяющие сборки.
13. Ядерный топливный цикл.
14. Обогащение урана.
15. Коррозия урана.
16. Влияние облучения на сплавы урана.
17. Самооблучение плутония.

18. Применение дисперсного ядерного топлива в ядерных реакторах
19. Дисперсные твэлы и тепловыделяющие сборки высокотемпературных реакторов
20. Строение и свойства покрытий микротвэлов
21. Выход продуктов деления из топлива высокотемпературных реакторов
22. Миграция топливных микросфер в микротвэлах
23. Коррозия покрытий микротвэлов
24. Напряженно-деформированное состояние микротвэлов

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса *используются методы и приемы развития критического мышления*, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией; понимания информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления. Формой реализации метода может выступать подготовка кратких сообщений по вопросам, связанным с экспериментальными методами обнаружения различных эффектов в твердых телах, теоретическое рассмотрение которых происходит в процессе лекционных занятий.

Желательным является применение *метода учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Реализацию метода рекомендуется осуществлять во время представления кратких сообщений студентов, организовав дискуссию обучающихся, а также в ходе самих лекций. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Основными направлениями самостоятельной работы студента являются:

- подробное ознакомление с программой учебной дисциплины;
- ознакомление со списком рекомендуемой литературы по дисциплине в целом и ее темам;
- изучение и расширение лекционного материала преподавателя за счет специальной литературы, в частности, современных научных публикаций по изучаемым тематикам;

- подготовка устных выступлений по тематикам лекционных занятий;
- выполнение тестовых заданий и контрольных мероприятий;
- подготовка к экзамену.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Конструкционная схема ядерной энергетической установки (ЯЭУ).
2. Термоядерные реакторы.
3. Классификация ЯЭУ.
4. Требования, предъявляемые к материалам узлов, находящихся в активной зоне и вне активной зоны. Конструкционные материалы, применяемые в реакторостроении.
5. Основные механические свойства, совместимость и радиационная стойкость конструкционных материалов ядерных реакторов.
6. Классификация коррозионных процессов. Показатели коррозии.
7. Химическая коррозия металлов.
8. Электрохимическая коррозия металлов.
9. Методы защиты от коррозии.
10. Общая характеристика алюминия. Алюминиевые сплавы, применяемые в реакторостроении.
11. Коррозионная стойкость алюминия. Влияние легирования на коррозионную стойкость.
12. Влияние легирования на структуру и механические свойства алюминия.
13. Общая характеристика магния.
14. Сплавы магния.
15. Общая характеристика циркония.
16. Влияние легирования на механические свойства и жаропрочность циркония.
17. Взаимодействие циркония с кислородом. Влияние примесей и легирующих элементов на окисление.
18. Взаимодействие циркония с водородом, углекислым газом, органическими и жидкометаллическими теплоносителями. Влияние облучения на механические свойства и коррозионную стойкость.
19. Физико-химические свойства железа.
20. Система Fe-Fe₃C.
21. Превращения в сталях при охлаждении.
22. Классификация и маркировка сталей. Примеси и легирующие элементы в сталях.
23. Сплавы системы Fe-Cr, Fe-Ni, Fe-Cr-Ni. Влияние легирования на коррозионную и жаростойкость.
24. Перлитные стали.

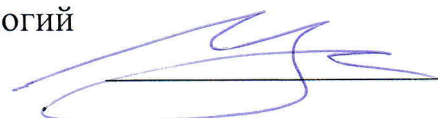
25. Мартенситные стали.
26. Полуферритные и ферритные стали.
27. Влияние нейтронного облучения на механические свойства хромистых сталей. Коррозионная стойкость хромистых сталей.
28. Структура жаропрочных нержавеющей хромоникелевых сталей.
29. Влияние легирования на механические свойства жаропрочных нержавеющей хромоникелевых сталей.
30. Влияние нейтронного облучения на свойства жаропрочных нержавеющей хромоникелевых сталей.
31. Коррозионное растрескивание и межкристаллитная коррозия.
32. Коррозионная стойкость жаропрочных нержавеющей хромоникелевых сталей в воде и паре, в жидкометаллических теплоносителях.
33. Общая характеристика никеля.
34. Влияние легирующих элементов на свойства никеля. Сплавы никеля.
35. Свойства тугоплавких металлов.
36. Сплавы на основе ванадия, тантала, ниобия, хрома, молибдена, вольфрама. Влияние облучения на механические свойства тугоплавких металлов.
37. Окисление тугоплавких металлов. Взаимодействие с жидкометаллическими теплоносителями.
38. Состав ядерного топлива, его классификация. Требования к ядерному топливу.
39. Уран и его свойства.
40. Термическая обработка и циклическая термическая обработка урана.
41. Совместимость урана с конструкционными материалами оболочек ТВЭЛов.
42. Влияние облучения на уран.
43. Сплавы урана.
44. Плутоний и его свойства.
45. Циклическая термическая обработка и термическая обработка плутония.
46. Коррозия плутония.
47. Сплавы плутония.
48. Общая характеристика оксидного ядерного топлива.
49. Технологические свойства порошков и методы получения порошков UO_2 .
50. Требования к таблеткам оксидного ядерного топлива.
51. Основные технологические процессы получения таблеток UO_2 . Промышленная технология спекания таблеток UO_2 .
52. Структурно-фазовое состояние и физико-химические свойства диоксидов.
53. Механические свойства диоксидов.
54. Изменения структуры диоксидов при выгорании.

55. Перераспределение кислорода и актиноидов в диоксидном топливе при выгорании.
56. Совместимость диоксидного топлива с конструкционными материалами и теплоносителями.
57. Общая характеристика карбидов и нитридов урана и плутония.
58. Механические свойства карбидного и нитридного топлива, влияние облучения. Теплофизические свойства карбидного и нитридного топлива, влияние облучения.
59. Совместимость карбидов и нитридов урана и плутония с конструкционными материалами, влияние облучения.
60. Радиационное распухание карбидного и нитридного топлива.
61. Структура и свойства дисперсного ядерного топлива.
62. Совместимость компонентов и радиационная стабильность дисперсного ядерного топлива.
63. Дисперсное ядерное топливо на основе микротвэлов и их конструктивные особенности.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Методы механических испытаний материалов	Кафедра физики твердого тела и нанотехнологий	нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (№ 10 от 04.06.2024)
Методы анализа элементного состава поверхностных слоев	Кафедра физики твердого тела и нанотехнологий	нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (№ 10 от 04.06.2024)

Заведующий кафедрой
физики твердого тела и нанотехнологий
д.ф.-м.н., профессор

 В.В.Углов

04.06.2024

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
на ____ / ____ учебный год

№ № ПП	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № ____ от _____ 20_ г.)

Заведующий кафедрой
физики твердого тела и нанотехнологий
д.ф.-м.н., профессор

_____ В.В. Углов

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
к.ф.-м.н., доцент

_____ М.С. Тиванов