

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**  
**ТВЕРДОЕ ТЕЛО В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

Направление подготовки [1] 22.03.01 Материаловедение и технологии  
(специальность) материалов

Семестр	Трудоемкость, кредит.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	KCP, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
7	3	108	32	0	16		15-24	0	Э
Итого	3	108	32	0	16	8	15-24	0	

## **АННОТАЦИЯ**

Учебная дисциплина изучает современное состояние радиационного материаловедения ядерных реакторов различного назначения

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целями освоения учебной дисциплины «Специальные вопросы радиационного материаловедения» являются ознакомление студентов с современным состоянием радиационного материаловедения ядерных реакторов различного назначения; рассмотрение основных материалов активных зон и других конструкций ядерных реакторов, а также воздействия ядерных излучений на материалы, тенденций развития и совершенствование материалов для ядерных реакторов.

Задачи дисциплины:

Задачей освоения дисциплины является ознакомление студентов с наиболее современными и актуальными проблемами радиационного материаловедения ядерных реакторов, с целью ускорения их адаптации при работе в области исследования материалов ядерных реакторов, их разработки и применения.

### **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО**

Данная учебная дисциплина входит в образовательный модуль Дисциплины специализации ДС.Ф.4 «Специальные вопросы радиационного материаловедения» по направлению подготовки 150702.28 (070928) «Твердое тело в экстремальных условиях» профиля подготовки специалистов по специальности 150702 (070900)«Физика металлов» направления 150700 (651800) «Физическое материаловедение».

Для изучения дисциплины необходимы компетенции, сформированные у обучающихся в результате освоения дисциплин ООП подготовки специалиста по направлению «Физическое материаловедение»: «Физика конденсированных сред» (дефекты кристаллической структуры, физика конденсированного состояния), «Физическое материаловедение» (конструкционные и функциональные материалы), «Физика прочности сплавов и композитов» (физика прочности и механические свойства), «Взаимодействие излучения с веществом», «Радиационная физика твердого тела», «Ядерная физика и реакторы».

Данная дисциплина является завершающей при подготовке специалистов по направлению «Реакторное материаловедение». Знание ее материалов необходимо при выполнении курсового и дипломного проектирования, УИР, а также при практической работе выпускников по специальности.

### **3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	------------------------------------------------------

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

<b>Задача профессиональной деятельности (ЗПД)</b>	<b>Объект или область знания</b>	<b>Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции</b>
<b>научно-исследовательский</b>			
сбор данных о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах применительно к решению поставленных задач с использованием баз данных и литературных источников	основные типы современных конструкционных и функциональных неорганических (металлических и неметаллических) и органических (полимерных и углеродных) материалов, композитов и гибридных материалов, сверхтвердых материалов, интеллектуальных и наноматериалов, пленок и покрытий	<p>ПК-1.2 [1] - способен применять знания об основных типах современных материалов, принципах выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения при проектировании высокотехнологичных процессов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>3-ПК-1.2[1] - знать основные типы современных материалов, а также подходы к выбору материалов для заданных условий эксплуатации;</p> <p>У-ПК-1.2[1] - уметь выбрать материал для заданных условий эксплуатации;</p> <p>В-ПК-1.2[1] - владеть основными подходами при выборе материалов для заданных условий эксплуатации</p>
сбор данных о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах применительно к решению поставленных задач с использованием баз данных и литературных источников	основные типы современных конструкционных и функциональных неорганических (металлических и неметаллических) и органических (полимерных и углеродных) материалов, композитов и гибридных материалов, сверхтвердых материалов, интеллектуальных и наноматериалов,	<p>ПК-2 [1] - способен использовать на практике современные представления о влиянии структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>3-ПК-2[1] - знать основные представления о структуре материалов и влиянии структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями;</p> <p>У-ПК-2[1] - уметь анализировать влияние структуры материалов на их свойства, а также ее эволюцию при взаимодействии с</p>

	пленок и покрытий		окружающей средой, полями, частицами и излучениями; ; В-ПК-2[1] - владеть практическими навыками анализа эволюции структурно-фазового состояния материалов при взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями и влияния этой эволюции на свойства материалов.
--	-------------------	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### 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 (В18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)	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 открытых и теорий.

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (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	Раздел 1	1-8	16/0/8		25	Кл-8	З-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
2	Раздел 2	9-12	16/0/8		25	ЛР-12	З-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/0/16		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	Э	З-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-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
Кл	Коллоквиум
ЛР	Лабораторная работа
Э	Экзамен

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек.,	Пр./сем.,	Лаб.,
--------	---------------------------	-------	-----------	-------

		<b>час.</b>	<b>час.</b>	<b>час.</b>
	<i>7 Семестр</i>	32	0	16
<b>1-8</b>	<b>Раздел 1</b>	16	0	8
1 - 2	<b>Общие сведения об атомной энергетике и ядерных реакторах</b> Общие сведения об атомной энергетике и ядерных реакторах. Место атомной энергетики в топливно-энергетическом балансе России. Структура атомной энергетики сегодня, в обозримом и более отдаленном будущем. Типы реакторов, эксплуатируемых в настоящее время и в ближайшей перспективе. Реакторы 4-го поколения. Основные параметры и материалы.	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	0 2 0	
3 - 4	<b>Материалы незаменяемых конструкций водо-водяных реакторов</b> Материалы незаменяемых конструкций водо-водяных реакторов. Стали для корпусов реакторов (КР). Критерии безопасности КР, вязкость разрушения как критический параметр, критическая температура хрупкости. Закономерности охрупчивания КР под облучением. Влияние различных факторов на охрупчивание. Способы представления дозы облучения, влияние спектра и интенсивности облучения (эффект флакса). Проблема продления срока службы КР первого поколения (ВВЭР-440/230).	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	0 2 0	
5 - 6	<b>Материалы КР второго поколения (ВВЭР-1000 и ВВЭР-440/213)</b> Материалы КР второго поколения (ВВЭР-1000 и ВВЭР-440/213). Особенности российских сталей для КР и особенности их поведения под облучением. Возможности продления срока службы КР до 60 лет. Направления разработки новых сталей КР с повышенным сроком службы.	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	0 2 0	
7 - 8	<b>Механизмы радиационного охрупчивания КР</b> Механизмы радиационного охрупчивания КР. Преципитаты, образование в каскадных процессах и за счет радиационно-стимулированной диффузии, структура и состав преципитатов. Внутрикорпусные устройства (ВКУ), конструкция, материалы, проблемы распухания и охрупчивания.	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	0 2 0	
<b>9-12</b>	<b>Раздел 2</b>	16	0	8
9 - 11	<b>Материалы технологических каналов (ТК) реакторов канального типа</b> Материалы технологических каналов (ТК) реакторов канального типа. Принципы выбора материалов ТК, условия эксплуатации и требования, основные критерии работоспособности. Радиационная ползучесть и радиационный рост. Влияние текстуры, структурный фактор. Способы повышения эксплуатационных свойств. Трещиностойкость, замедленное гидридное растрескивание. Обеспечение безопасности эксплуатации ТК. Свойства в аварийных ситуациях.	Всего аудиторных часов 6 Онлайн 0	0 3 0	
12 - 14	<b>Ознакомление с оборудованием "горячих" камер</b>	Всего аудиторных часов		

	<p>Ознакомление с оборудованием «горячих» камер, установкой ТОКАМАК-10 и синхротронным источником и работами, производящимися на этих установках. Ядерный графит как конструкционный материал. Представление о технологии производства, основные свойства. Основные закономерности изменения свойств под действием облучения. Механизмы радиационного повреждения графита. Монокристаллический и поликристаллический графит. Деградация свойств поликристаллического графита. Критический флюенс, влияние температуры. Возможности повышения радиационной стойкости графита. Направления разработки графита для высокотемпературных реакторов.</p>	<table border="1"> <tr> <td>6</td><td>0</td><td>3</td></tr> <tr> <td colspan="3">Онлайн</td></tr> <tr> <td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	6	0	3	Онлайн			0	0	0			
6	0	3												
Онлайн														
0	0	0												
15 - 16	<p><b>Критерии работоспособности графитовых кладок</b> Критерии работоспособности графитовых кладок. Целостность графитовых блоков. Механизмы деградации графитовых кладок как конструкции. Предельное состояние и предельный радиационный ресурс. Влияние режима эксплуатации (мощность, температура) на срок службы. Возможность продления срока службы графитовых кладок.</p>	<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Всего аудиторных часов</td></tr> <tr> <td>4</td><td>0</td><td>2</td></tr> <tr> <td colspan="3">Онлайн</td></tr> <tr> <td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	Всего аудиторных часов			4	0	2	Онлайн			0	0	0
Всего аудиторных часов														
4	0	2												
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 ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
1 - 8	<b>Лабораторная работа № 1</b> Индивидуальные задания для каждого студента
9 - 16	<b>Лабораторная работа № 2</b> Индивидуальные задания для каждого студента

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы дисциплины «Специальные вопросы реакторного материаловедения» используются различные образовательные технологии – во время аудиторных занятий занятия проводятся в форме лекций, практических (семинарских) занятий и лабораторных занятий. Для контроля усвоения студентом разделов данного курса и приема

домашнего задания широко используются тестовые технологии, то есть специальный банк вопросов в открытой и закрытой форме, 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, а также выполнение расчетов по лабораторным работам.

## 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-1.2	З-ПК-1.2	Э, Кл-8, ЛР-12
	У-ПК-1.2	Э, Кл-8, ЛР-12
	В-ПК-1.2	Э, Кл-8, ЛР-12
ПК-2	З-ПК-2	Э, Кл-8, ЛР-12
	У-ПК-2	Э, Кл-8, ЛР-12
	В-ПК-2	Э, Кл-8, ЛР-12

## 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 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко иочно 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		B	
75-84		C	
70-74	4 – «хорошо»	D	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69			Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности,
60-64	3 – «удовлетворительно»	E	

			недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	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. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.6 Конструкционные материалы ядерной техники, , Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
2. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.7 Ядерные топливные материалы, , Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 И75 Водородное охрупчивание и гидридное растрескивание циркониевых элементов легководных реакторов : , Калин Б.А., Иолтуховский А.Г., Шмаков А.А., М.: МИФИ, 2001
2. 621.039 Ч-49 Поведение гелия в конструкционных материалах ядерных и термоядерных реакторов : учеб.-метод. пособие для вузов, Чернов И.И., Калин Б.А., М.: МИФИ, 2005
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. ЭИ Ф50 Физическое материаловедение Т.6:Ч.2 Ядерные топливные материалы, , Москва: МИФИ, 2008

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Для подготовки к занятиям и аттестационным мероприятиям необходимо использовать:

1. Конспект лекций по дисциплине, материал изложен в учебниках основной литературы
2. Вопросы к коллоквиуму по дисциплине.
3. Вопросы к экзамену по дисциплине.
4. Экзаменационные билеты по дисциплине.
5. Раздаточный материал (таблицы и рисунки из учебника).
6. Календарный план по дисциплине.
7. Программа дисциплины.

Для выполнения лабораторных работ необходимо использовать раздаточный материал лаборатории.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Для подготовки к лекциям в соответствии с программой рекомендуется использовать учебники из прилагаемого к рабочей программе списка основной и дополнительной литературы.

Автор(ы):

Забусов Олег Олегович, к.т.н.