

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Одобрено

Ученым советом ИАТЭ НИЯУ МИФИ

Протокол № 25.8 от 25.08.2025

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

---

*название дисциплины*

для студентов направления подготовки

**14.05.02 Атомные станции:**

**проектирование, эксплуатация и инжиниринг**

направление/профиль

**Радиационная безопасность атомных станций**

Форма обучения: очная

**г. Обнинск 2025 г.**

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цель изучения дисциплины:

- последовательное изучение совокупности вопросов, определяющих работоспособность реакторов и ядерных энергетических установок (ЯЭУ) с точки зрения соответствия различных материалов специфическим условиям их работы в различных элементах ЯЭУ.

### Задачи изучения дисциплины:

- освоить физико-технические основы материаловедения (как материаловедческое введение в проблему);
- понять принципы формирования заданных свойств, применяемых в ЯЭУ классов металлических и неметаллических материалов;
- уметь анализировать возможные причины деградации свойств, применяемых и перспективных материалов конкретных элементов основного оборудования ЯЭУ в эксплуатации.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ (далее – ОП) СПЕЦИАЛИТЕТА

Дисциплина реализуется в рамках обязательной части и относится к общепрофессиональному модулю.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: «Физика», «Ядерная физика».

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: «Термоядерный синтез и плазменные технологии», «Метрология, стандартизация и сертификация».

Дисциплина изучается на 3 курсе в 5 семестре.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

В результате освоения ОП специалитета обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

| Коды компетенций | Наименование компетенции                                                                                                                                                   | Код и наименование индикатора достижения компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-11            | Способен анализировать технологии монтажа, ремонта и демонтажа оборудования ЯЭУ применительно к условиям сооружения, эксплуатации и снятия с эксплуатации энергоблоков АЭС | З-ПК-11 знать правила техники безопасности при проведении монтажа, ремонта и демонтажа оборудования ЯЭУ;<br>У-ПК-11 уметь проводить монтаж, ремонт и демонтаж оборудования ЯЭУ применительно к условиям сооружения, эксплуатации и снятия с эксплуатации энергоблоков АЭС;<br>В-ПК-11 владеть навыками монтажных и демонтажных работ на технологическом оборудовании; |

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

| Направления/<br>цели воспитания              | Задачи воспитания (код)                                                                                                                                                                                                                                                        | Воспитательный потенциал дисциплин                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Экологическое<br>воспитание                  | Создание условий,<br>обеспечивающих<br>формирование бережного<br>отношения к природе и<br>окружающей среде ( <b>B9</b> )                                                                                                                                                       | Использование воспитательного потенциала дисциплин гуманитарного, естественнонаучного и общепрофессионального модулей:<br>- развитие экологической культуры через учебные задания исследовательского характера, подготовку рефератов, докладов, презентаций, эссе, научно-образовательных проектов экологической направленности;<br>- содействие развитию экологического мышления через изучение последствий влияния человека на окружающую среду.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Интеллектуальное<br>воспитание               | Создание условий,<br>обеспечивающих<br>формирование культуры<br>умственного труда ( <b>B11</b> )                                                                                                                                                                               | Использование воспитательного потенциала дисциплин гуманитарного, естественнонаучного, общепрофессионального и профессионального модуля для формирования культуры умственного труда посредством вовлечения студентов в учебные исследовательские задания, курсовые работы и др.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Профессиональное<br>и трудовое<br>воспитание | Создание условий,<br>обеспечивающих<br>формирование глубокого<br>понимания социальной роли<br>профессии, позитивной и<br>активной установки на<br>ценности избранной<br>специальности,<br>ответственного отношения к<br>профессиональной<br>деятельности, труду ( <b>B14</b> ) | 1. Использование воспитательного потенциала дисциплин естественнонаучного и общепрофессионального модуля для:<br>- формирования позитивного отношения к профессии инженера (конструктора, технолога), понимания ее социальной значимости и роли в обществе, стремления следовать нормам профессиональной этики посредством контекстного обучения, решения практико-ориентированных ситуационных задач;<br>- формирования устойчивого интереса к профессиональной деятельности, способности критически, самостоятельно мыслить, понимать значимость профессии посредством осознанного выбора тематики проектов, выполнения проектов с последующей публичной презентацией результатов, в том числе обоснованием их социальной и практической значимости;<br>- формирования навыков командной работы, в том числе реализации различных проектных ролей (лидер, исполнитель, аналитик и пр.) посредством выполнения совместных проектов.<br>2. Использование воспитательного потенциала дисциплины «Экономические и правовые основы медицинской деятельности», «Экономические и правовые основы профессиональной деятельности», «Управление, организация и планирование производства» и др. для:<br>- формирования навыков системного видения |

|  |                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                                                                                                                       | роли и значимости выбранной профессии в социально-экономических отношениях через контекстное обучение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|  | Создание условий, обеспечивающих формирование психологической готовности к профессиональной деятельности по избранной профессии (B15) | Использование воспитательного потенциала дисциплин общепрофессионального модуля для:<br>- формирования устойчивого интереса и мотивации к профессиональной деятельности, потребности в достижении результата, понимания функциональных обязанностей и задач избранной профессиональной деятельности, чувства профессиональной ответственности через выполнение учебных, в том числе практических заданий, требующих строгого соблюдения правил техники безопасности и инструкций по работе с оборудованием в рамках лабораторного практикума. |

**5. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ С УКАЗАНИЕМ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА КОНТАКТНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ ЗАНЯТИЙ) И НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

| Вид работы                                                               | Количество часов на вид работы по семестрам: |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>Контактная работа обучающихся с преподавателем</b>                    |                                              |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>                                        | <b>32</b>                                    |
| В том числе:                                                             |                                              |
| <i>лекции</i>                                                            | 16                                           |
| <i>практические занятия<br/>(из них в форме практической подготовки)</i> | 16                                           |
| <i>лабораторные занятия<br/>(из них в форме практической подготовки)</i> | -                                            |
| <b>Промежуточная аттестация</b>                                          |                                              |
| В том числе:                                                             |                                              |
| <i>зачет</i>                                                             | -                                            |
| <b>Самостоятельная работа обучающихся</b>                                |                                              |
| <b>Самостоятельная работа обучающихся</b>                                | <b>76</b>                                    |
| <b>Всего (часы):</b>                                                     | <b>108</b>                                   |
| <b>Всего (зачетные единицы):</b>                                         | <b>3</b>                                     |

**6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ**

**6.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)**

| Неделя | № п/п | Наименование раздела /темы дисциплины                           | Виды учебной работы |           |     |        |           |
|--------|-------|-----------------------------------------------------------------|---------------------|-----------|-----|--------|-----------|
|        |       |                                                                 | Лек                 | Пр        | Лаб | Внеауд | СРО       |
| 1-16   | 1.    | <b>Материаловедение и технология конструкционных материалов</b> | <b>16</b>           | <b>16</b> | -   | -      | <b>76</b> |
| 1-2    | 1.1.  | Идеальные и реальные кристаллы                                  | 2                   | 2         | -   | -      | 8         |
| 2-3    | 1.2.  | Основы теории сплавов                                           | 2                   | 2         | -   | -      | 8         |
| 4-5    | 1.3.  | Основные требования к материалам ядерных реакторов              | 2                   | 2         | -   | -      | 10        |
| 6-7    | 1.4.  | Влияние облучения на свойства материалов                        | 2                   | 3         | -   | -      | 10        |
| 8-9    | 1.5.  | Конструкционные материалы активной зоны реактора                | 4                   | 2         | -   | -      | 10        |
| 10-12  | 1.6.  | Ядерные топливные материалы                                     | 2                   | 2         | -   | -      | 10        |
| 13-14  | 1.7.  | Теплоносители и замедлители                                     | 2                   | 2         | -   | -      | 10        |
| 15-16  | 1.8.  | Поглощающие материалы                                           | 2                   | 2         | -   | -      | 10        |
|        |       | <b>Итого за 5 семестр:</b>                                      | <b>16</b>           | <b>16</b> | -   | -      | <b>76</b> |
|        |       | <b>Всего:</b>                                                   | <b>16</b>           | <b>16</b> | -   | -      | <b>76</b> |

Прим.: Лек – лекции, Пр – практические занятия / семинары, Лаб – лабораторные занятия, Внеауд – внеаудиторная контактная работа, СРО – самостоятельная работа обучающихся, ПП – практическая подготовка.

**6.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)**

*Лекционный курс*

| Неделя | №    | Наименование раздела /темы дисциплины                           | Содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------|------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1-16   | 1.   | <b>Материаловедение и технология конструкционных материалов</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 2      | 1.1. | Идеальные и реальные кристаллы                                  | Кристаллические и аморфные материалы. Классификация кристаллических материалов. Кристаллографические обозначения. Монокристаллы и поликристаллы. Классификация дефектов. Точечные дефекты и их роль в формировании свойств облученных материалов. Линейные дефекты, их роль в формировании свойств пластически деформированных материалов. Поверхностные дефекты.                                                              |
| 4      | 1.2. | Основы теории сплавов                                           | Фазы в сплавах. Фазовые диаграммы, экспериментальное построение и расчет фазовых диаграмм. Диаграмма железо-углерод. Типы фазовых превращений, их сущность, способы реализации: диффузионные и бездиффузионные превращения, явления возврата, отдыха, рекристаллизации, полиморфизма. Кристаллизация и фазовые превращения в твердом состоянии. Фазовые превращения в сплавах системы железо-углерод. Дисперсионное твердение. |
| 6      | 1.3. | Основные требования к материалам ядерных                        | Сравнительный анализ типичных рабочих параметров активной зоны ядерных реакторов и других                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|    |      |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----|------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |      | реакторов                                        | энергетических установок. Общие требования к материалам и конструкциям ядерных реакторов. Экономические, технологические и научные проблемы выбора материалов и конструкций элементов активной зоны.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 8  | 1.4. | Влияние облучения на свойства материалов         | Внутреннее строение твердого тела, типы связей, энергия связи. Кристаллическое строение, основные типы кристаллических решеток и их дефекты. Связь с механическими, теплофизическими и химическими свойствами. Анизотропия кристаллического строения и свойств. Классификация радиационных повреждений. Основные свойства точечных дефектов. Коллективные дефекты. Основные радиационные эффекты, их энергетическая, дозовая и температурная зависимости. Радиационная стойкость и радиационный ресурс.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 10 | 1.5. | Конструкционные материалы активной зоны реактора | Сплавы магния, алюминия и циркония. Аустенитные и нержавеющие стали. Жаропрочные и тугоплавкие сплавы. Их ядерно-физические, теплофизические и механические характеристики. Легирующие добавки и их влияние на свойства сплавов. Совместимость и радиационная стойкость.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 12 | 1.6. | Ядерные топливные материалы                      | Определение и основные требования к ядерному топливу. Виды ядерного топлива и топливные циклы. Энерговыводка и глубина выгорания. Продукты деления и изменение нуклидного состава топлива. Структура и свойства металлического урана. Влияние облучения на свойства урана. Виды сплавов урана, их свойства и совместимость. Плутоний, как ядерное топливо. Получение плутония и его свойства. Сплавы плутония. Торий, его сплавы и их свойства. Анализ эксплуатации металлического топлива, проблемы и перспективы его использования в ядерной энергетике. Керамическое топливо. Классификация керамического топлива. Оксид урана и его свойства. Технология изготовления порошка $UO_2$ . Производство изделий из компактной двуокиси урана и требования к ним. Терморadiационная стойкость и совместимость. Оксиды плутония и тория, смешанные оксиды, их свойства, достоинства и недостатки. Карбидное топливо и его свойства. Нитриды и другие виды керамического топлива. Сравнительный анализ и перспективы использования. Дисперсионное топливо. Виды, требования, свойства и перспективы использования. Альтернативные и редко используемые виды ядерного топлива |
| 14 | 1.7. | Теплоносители и замедлители                      | Требования, предъявляемые к теплоносителям, основные виды и особенности теплоотвода. Рабочие параметры теплоносителей. Затраты на прокачку. Газовые теплоносители. Механизмы коррозии в газах. Меры защиты от коррозии. Свойства газовых теплоносителей (воздух, $CO_2$ , He, He+N <sub>2</sub> , диссоциирующие газы). Сравнительный анализ эксплуатации газовых теплоносителей, проблемы и перспективы использования. Жидкометаллические теплоносители. Механизмы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

|    |      |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |      |                       | <p>коррозии в жидких металлах. Особенности применения и способы очистки. Свойства жидкометаллических теплоносителей (Na, K, Li, Pb, Hg, Sb, Bi, Ga). Органические теплоносители. Виды органических теплоносителей, их свойства и терморadiационная стойкость.</p> <p>Требования к водному теплоносителю. Теплофизические свойства воды и водяного пара. Замедляющие свойства тяжелой и легкой воды. Паровой коэффициент реактивности. Радиолиз воды и меры его подавления. Коррозия в воде. Понятие двойного электрического слоя. Анодные и катодные реакции. Активация воды.</p> <p>Общие требования к замедлителям и терморadiационные параметры их эксплуатации. Свойства графита и его радиационная стойкость. Особенности реакторов с графитовым замедлителем. Энергия Вигнера. Характеристики бериллия, проблемы и перспективы его использования в ядерной энергетике.</p> |
| 16 | 1.8. | Поглощающие материалы | <p>Поглощающие материалы и их свойства. Формы использования поглотителей и материалов защиты. Проблемы и перспективы создания новых конструкционных материалов активной зоны реактора.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

#### Практические/семинарские занятия

| Неделя | №    | Наименование раздела /темы дисциплины                           | Содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------|------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1-16   | 1.   | <b>Материаловедение и технология конструкционных материалов</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1      | 1.1. | Идеальные и реальные кристаллы                                  | <p>Кристаллические и аморфные материалы. Классификация кристаллических материалов. Кристаллографические обозначения. Монокристаллы и поликристаллы.</p> <p>Классификация дефектов. Точечные дефекты и их роль в формировании свойств облученных материалов. Линейные дефекты, их роль в формировании свойств пластически деформированных материалов. Поверхностные дефекты.</p>                                                       |
| 3      | 1.2. | Основы теории сплавов                                           | <p>Фазы в сплавах. Фазовые диаграммы, экспериментальное построение и расчет фазовых диаграмм. Диаграмма железо-углерод. Типы фазовых превращений, их сущность, способы реализации: диффузионные и бездиффузионные превращения, явления возврата, отдыха, рекристаллизации, полиморфизма. Кристаллизация и фазовые превращения в твердом состоянии. Фазовые превращения в сплавах системы железо-углерод. Дисперсионное твердение.</p> |
| 5      | 1.3. | Основные требования к материалам ядерных реакторов              | <p>Сравнительный анализ типичных рабочих параметров активной зоны ядерных реакторов и других энергетических установок. Общие требования к материалам и конструкциям ядерных реакторов. Экономические, технологические и научные проблемы выбора материалов и конструкций элементов активной зоны.</p>                                                                                                                                 |
| 7      | 1.4. | Влияние облучения на свойства материалов                        | <p>Внутреннее строение твердого тела, типы связей, энергия связи. Кристаллическое строение, основные типы кристаллических решеток и их дефекты. Связь с</p>                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|    |      |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----|------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |      |                                                  | механическими, теплофизическими и химическими свойствами. Анизотропия кристаллического строения и свойств. Классификация радиационных повреждений. Основные свойства точечных дефектов. Коллективные дефекты. Основные радиационные эффекты, их энергетическая, дозовая и температурная зависимости. Радиационная стойкость и радиационный ресурс.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 9  | 1.5. | Конструкционные материалы активной зоны реактора | Сплавы магния, алюминия и циркония. Аустенитные и нержавеющие стали. Жаропрочные и тугоплавкие сплавы. Их ядерно-физические, теплофизические и механические характеристики. Легирующие добавки и их влияние на свойства сплавов. Совместимость и радиационная стойкость.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 11 | 1.6. | Ядерные топливные материалы                      | <p>Определение и основные требования к ядерному топливу. Виды ядерного топлива и топливные циклы. Энерговыводка и глубина выгорания. Продукты деления и изменение нуклидного состава топлива.</p> <p>Структура и свойства металлического урана. Влияние облучения на свойства урана. Виды сплавов урана, их свойства и совместимость. Плутоний, как ядерное топливо. Получение плутония и его свойства. Сплавы плутония. Торий, его сплавы и их свойства. Анализ эксплуатации металлического топлива, проблемы и перспективы его использования в ядерной энергетике.</p> <p>Керамическое топливо. Классификация керамического топлива. Оксид урана и его свойства. Технология изготовления порошка <math>UO_2</math>. Производство изделий из компактной двуокиси урана и требования к ним. Терморadiационная стойкость и совместимость. Оксиды плутония и тория, смешанные оксиды, их свойства, достоинства и недостатки. Карбидное топливо и его свойства. Нитриды и другие виды керамического топлива. Сравнительный анализ и перспективы использования. Дисперсионное топливо. Виды, требования, свойства и перспективы использования.</p> <p>Альтернативные и редко используемые виды ядерного топлива</p> |
| 13 | 1.7. | Теплоносители и замедлители                      | <p>Требования, предъявляемые к теплоносителям, основные виды и особенности теплоотвода. Рабочие параметры теплоносителей. Затраты на прокачку. Газовые теплоносители. Механизмы коррозии в газах. Меры защиты от коррозии. Свойства газовых теплоносителей (воздух, <math>CO_2</math>, He, He+N<sub>2</sub>, диссоциирующие газы). Сравнительный анализ эксплуатации газовых теплоносителей, проблемы и перспективы использования.</p> <p>Жидкометаллические теплоносители. Механизмы коррозии в жидких металлах. Особенности применения и способы очистки. Свойства жидкометаллических теплоносителей (Na, K, Li, Pb, Hg, Sb, Bi, Ga). Органические теплоносители. Виды органических теплоносителей, их свойства и терморadiационная стойкость.</p> <p>Требования к водному теплоносителю. Теплофизические свойства воды и водяного пара. Замедляющие свойства</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

|    |      |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----|------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |      |                       | тяжелой и легкой воды. Паровой коэффициент реактивности. Радиолиз воды и меры его подавления. Коррозия в воде. Понятие двойного электрического слоя. Анодные и катодные реакции. Активация воды. Общие требования к замедлителям и терморadiационные параметры их эксплуатации. Свойства графита и его радиационная стойкость. Особенности реакторов с графитовым замедлителем. Энергия Вигнера. Характеристики бериллия, проблемы и перспективы его использования в ядерной энергетике. |
| 15 | 1.8. | Поглощающие материалы | Поглощающие материалы и их свойства. Формы использования поглотителей и материалов защиты. Проблемы и перспективы создания новых конструкционных материалов активной зоны реактора.                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

*Лабораторные занятия*  
Не предусмотрены.

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Малышкин В.Г. Топливо и ТВЭЛы. – Обнинск: ИАТЭ, 1994. – 178 с.
2. Соловьев С.П., Хмелевская В.С. Механические, коррозионные и радиационные свойства материалов для ядерных энергетических установок. Учебное пособие по курсу «Материалы ядерных энергетических установок». – Обнинск: ИАТЭ, 1991. – 174 с.

## 8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 8.1. Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения

| № п/п                                      | Контролируемые разделы (темы) дисциплины | Индикатор достижения компетенции | Наименование оценочного средства текущей и промежуточной аттестации |
|--------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Текущая аттестация, 5 семестр</b>       |                                          |                                  |                                                                     |
| 1.                                         | Разделы 1-4                              | 3-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11        | Коллоквиум №1                                                       |
| 2.                                         | Разделы 5-8                              | 3-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11        | Коллоквиум №2                                                       |
| <b>Промежуточная аттестация, 5 семестр</b> |                                          |                                  |                                                                     |
|                                            | Зачет                                    | 3-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11        | Вопросы к зачету                                                    |

### 8.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.

Оценочные средства приведены в Приложении «Фонд оценочных средств».

### **8.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.

Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.

Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:

- контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 8 неделю учебного семестра.
- контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 9 по 16 неделю учебного семестра.

Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

| Этап рейтинговой системы /<br>Оценочное средство | Неделя       | Балл      |            |
|--------------------------------------------------|--------------|-----------|------------|
|                                                  |              | Минимум*  | Максимум   |
| <b>Текущая аттестация</b>                        | <b>1-16</b>  | <b>36</b> | <b>60</b>  |
| <b>Контрольная точка № 1</b>                     | <b>7-8</b>   | <b>18</b> | <b>30</b>  |
| <i>Коллоквиум №1</i>                             | 8            | 18        | 30         |
| <b>Контрольная точка № 2</b>                     | <b>15-16</b> | <b>18</b> | <b>30</b>  |
| <i>Коллоквиум №2</i>                             | 15           | 18        | 30         |
| <b>Промежуточная аттестация</b>                  | <b>-</b>     | <b>24</b> | <b>40</b>  |
| Зачет                                            | -            |           |            |
| <i>Зачетный билет</i>                            | -            | 24        | 40         |
| <b>ИТОГО по дисциплине</b>                       |              | <b>60</b> | <b>100</b> |

\* Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается, в противном случае обучающийся должен ликвидировать появившуюся академическую задолженность по текущей или промежуточной аттестации. Минимальное количество баллов за текущую аттестацию, в т.ч. отдельное оценочное средство в ее составе, и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

Студент считается аттестованным по разделу, зачету или экзамену, если он набрал не менее 60% от максимального балла, предусмотренного рабочей программой.

Студент может быть аттестован по дисциплине, если он аттестован по каждому разделу, зачету/экзамену и его суммарный балл составляет не менее 60.

#### **Определение бонусов и штрафов**

Бонусы: поощрительные баллы студент может получить к своему рейтингу в конце семестра за присутствие на лекциях, практических занятиях и активную и регулярную работу на занятиях.

Бонус (премиальные баллы) не может превышать 5 баллов, вместе с баллами за текущую аттестацию – не более 60 баллов за семестр.

#### 8.4. Шкала оценки образовательных достижений

Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущей и промежуточной аттестации

| <i>Сумма баллов</i> | <i>Оценка по 4-х балльной шкале</i>     | <i>Оценка ECTS</i> | <i>Требования к уровню освоения учебной дисциплины</i>                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------|-----------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>90-100</b>       | 5- «отлично»/ «зачтено»                 | 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                                     |
| <b>85-89</b>        | 4 - «хорошо»/ «зачтено»                 | B                  | Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос                                                                                                                                         |
| <b>75-84</b>        |                                         | C                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>70--74</b>       |                                         | D                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>65-69</b>        | 3 - «удовлетворительно»/ «зачтено»      | D                  | 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                                        |
| <b>60-64</b>        |                                         | E                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>0-59</b>         | 2 - «неудовлетворительно»/ «не зачтено» | 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 |

#### 9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

##### а) основная учебная литература:

1. Калин Б.А., Платонов П.А., Тузов Ю.В., Чернов И.И., Штромбах Я.И. Физическое материаловедение: Учебник для вузов. / Под общей ред. Б.А. Калина. –Том 6. Конструкционные материалы ядерной техники. – М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 736 с.
2. Баранов В.Г., Годин Ю.Г., Тенишев А.В., Хлунов А.В., Новиков В.В. Физическое материаловедение: Учебник для вузов. / Под общей ред. Б.А. Калина. – Том 7. Ядерные топливные материалы. – М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 640 с.
3. Ганченкова М.Г., Григорьев Е.Г., Калин Б.А., Соловьев Г.И., Удовский А.Л., Якушин В.Л.

Физическое материаловедение: Учебник для вузов. / Под общей ред. Б.А. Калина. – Том 4. Радиационная физика твердого тела. Компьютерное моделирование. – М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 624 с.

**б) дополнительная учебная литература:**

1. Соловьев С.П., Хмелевская В.С. Механические, коррозионные и радиационные свойства материалов для ядерных энергетических установок. Учебное пособие по курсу «Материалы ядерных энергетических установок». – Обнинск: ИАТЭ, 1991. – 174 с.

**10. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» (ДАЛЕЕ - СЕТЬ «ИНТЕРНЕТ»), НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Не требуется.

**11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

При подготовке к практическим занятиям рекомендуется проработать соответствующие темы лекционного курса, а также ознакомиться с литературой.

При изучении дисциплины рекомендуется особо обратить внимание на следующие вопросы:

1. Требования, предъявляемые к материалам ЯЭУ.
2. Перлитные стали и их место в реакторостроении.
3. Радиационные эффекты в реакторных материалах.
4. Алюминий и его место в реакторостроении.
5. Низкотемпературное радиационное охрупчивание.
6. Магний и его место в реакторостроении.
7. Жаропрочность и ее основные характеристики.
8. Цирконий и его место в реакторостроении.
9. Высокотемпературное радиационное охрупчивание.
10. Мартенситные стали и их место в реакторостроении.
11. Вакансионное распухание конструкционных материалов.
12. Аустенитные нержавеющие стали. Применение в реакторостроении.
13. Радиационный рост реакторных материалов.
14. Металлический уран. Его поведение при ЦТО.
15. Межкристаллитная коррозия.
16. Поведение урана и его сплавов под облучением.
17. Коррозионное растрескивание.
18. Сравнительный анализ топливных материалов.
19. Теплофизические свойства материалов и их влияние на работоспособность элементов ЯЭУ.
20. Графит и его место в атомной энергетике.
21. Коррозионная стойкость сплавов на основе Zr.
22. Диоксид урана и его свойства.
23. Ядерно-физические свойства материалов.
24. Тугоплавкие металлы и их место в реакторостроении.

**12. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ (ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ)**

Использование информационных технологий при осуществлении образовательного процесса по

дисциплине осуществляется в соответствии с утвержденным Положением об Электронной информационно-образовательной среде ИАТЭ НИЯУ МИФИ.

Электронная система управления обучением (LMS) используется для реализации образовательных программ при очном, дистанционном и смешанном режиме обучения. Система реализует следующие основные функции:

- 1) Создание и управление классами,
- 2) Создание курсов,
- 3) Организация записи учащихся на курс,
- 4) Предоставление доступа к учебным материалам для учащихся,
- 5) Публикация заданий для учеников,
- 6) Оценка заданий учащихся, проведение тестов и отслеживание прогресса обучения,
- 7) Организация взаимодействия участников образовательного процесса.

Система интегрируется с дополнительными сервисами, обеспечивающими возможность использования таких функций как рабочий календарь, видео связь, многопользовательское редактирование документов, создание форм опросников, интерактивная доска для рисования. Авторизация пользователей в системе осуществляется посредством корпоративных аккаунтов, привязанных к домену oiate.ru.

### **12.1. Перечень информационных технологий**

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационные технологии:

- проведение лекций и практических занятий с использованием слайд-презентаций;
- использование компьютерного тестирования;
- организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты и ЭИОС.

### **12.2. Перечень программного обеспечения**

- Редактор презентаций Microsoft PowerPoint;
- Браузеры: Google Chrome, Internet Explorer, Yandex, Mozilla Firefox, Opera.
- Локальная компьютерная сеть и глобальная сеть Интернет.

### **12.3. Перечень информационных справочных систем**

Доступ к электронным библиотечным ресурсам и электронной библиотечной системе (ЭБС) осуществляется посредством специальных разделов на официальном сайте ИАТЭ НИЯУ МИФИ. Обеспечен доступ к электронным каталогам библиотеки ИАТЭ НИЯУ МИФИ, а также электронным образовательным ресурсам (ЭИОС), сформированным на основании прямых договоров с правообладателями учебной и учебно-методической литературы, методических пособий:

- 1) Информационные ресурсы Сети Консультант Плюс, [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru) (информация нормативно-правового характера на основе современных компьютерных и телекоммуникационных технологий);
- 2) Электронно-библиотечная система НИЯУ МИФИ, [http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=F&I21DBN=BOOK&Z21ID=&P21DBN=BOOK](http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=BOOK&Z21ID=&P21DBN=BOOK);
- 3) ЭБС «Издательства Лань», <https://e.lanbook.com/>;
- 4) Электронно-библиотечная система BOOK.ru, [www.book.ru](http://www.book.ru);
- 5) Базы данных «Электронно-библиотечная система elibrary» (ЭБС elibrary);
- 6) Базовая версия ЭБС IPRbooks, [www.iprbooks.ru](http://www.iprbooks.ru);
- 7) Базы данных «Электронная библиотека технического ВУЗа» [www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru);
- 8) Электронно-библиотечная система «Айбукс.py/ibooks.ru»,
- 9) <http://ibooks.ru/home.php?routine=bookshelf>
- 10) Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ», <http://urait.ru/>.

### **13. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Аудиторный фонд института.
2. Библиотечный фонд института.
3. Лаборатория металлографического анализа.
4. Лаборатория термического анализа.
5. Лаборатория микроскопических исследований.

### **14. ИНЫЕ СВЕДЕНИЯ И (ИЛИ) МАТЕРИАЛЫ**

#### ***14.1. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине***

- Плановая организация последовательности различных видов аудиторных занятий (лекций, практических занятий и лабораторных работ) в сочетании с внеаудиторной работой студента.
- При изложении всех разделов (тем) указание на связь с учебным материалом других дисциплин учебного плана, а также практическими приложениями.
- Систематические индивидуальные консультации.
- Стимулирование использования в процессе обучения компьютерной техники и информационных технологий.

#### ***14.2. Формы организации самостоятельной работы обучающихся (темы, выносимые для самостоятельного изучения; вопросы для самоконтроля; типовые задания для самопроверки)***

Самостоятельная деятельность студента рассматривается как вид учебного труда, позволяющий целенаправленно формировать и развивать его самостоятельность как личностное качество. Самостоятельная работа студента организована в следующих формах:

- проработка учебного (теоретического) материала;
- подготовка к семинарам;
- подготовка ко всем видам текущего контроля;
- подготовка к зачету.

Контроль самостоятельной работы осуществляется при проведении практических занятий, текущего контроля.

### **15. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

В соответствии с методическими рекомендациями Минобрнауки РФ (утв. 8 апреля 2014 г. № АК-44/05вн) в курсе предполагается использовать социально-активные и рефлексивные методы обучения, технологии социокультурной реабилитации обучающихся с ОВЗ с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений.

Обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом индивидуальных психофизических особенностей, а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида.

**Для лиц с нарушением слуха** возможно предоставление информации визуально (краткий конспект лекций, основная и дополнительная литература), на лекционных и практических занятиях допускается присутствие ассистента, а также, сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Оценка знаний студентов на практических занятиях осуществляется на основе письменных конспектов ответов на вопросы, письменно выполненных практических заданий.

Доклад так же может быть предоставлен в письменной форме (в виде реферата), при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.). С учетом состояния здоровья просмотр кинофильма с последующим анализом может быть проведен дома (например, при необходимости дополнительной звукоусиливающей аппаратуры (наушники)). В таком случае студент предоставляет письменный анализ, соответствующий предъявляемым требованиям.

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости, время подготовки на зачете может быть увеличено.

Для **лиц с нарушением зрения** допускается аудиальное предоставление информации (например, с использованием программ-синтезаторов речи), а также использование на лекциях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т.д.). Допускается присутствие на занятиях ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь.

Оценка знаний студентов на семинарских занятиях осуществляется в устной форме (как ответы на вопросы, так и практические задания). При необходимости анализа фильма может быть заменен описанием ситуации межкультурного взаимодействия (на основе опыта респондента, художественной литературы и т.д.), позволяющим оценить степень сформированности навыков владения методами анализа и выявления специфики функционирования и развития психики, позволяющими учитывать влияние этнических факторов. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам.

**Лица с нарушениями опорно-двигательного аппарата** не нуждаются в особых формах предоставления учебных материалов. Однако, с учетом состояния здоровья часть занятий может быть реализована дистанционно (при помощи сети «Интернет»). Так, при невозможности посещения лекционного занятия студент может воспользоваться кратким конспектом лекции.

При невозможности посещения практического занятия студент должен предоставить письменный конспект ответов на вопросы, письменно выполненное практическое задание.

Доклад так же может быть предоставлен в письменной форме (в виде реферата), при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.).

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата проводится на общих основаниях, при необходимости процедура зачета может быть реализована дистанционно (например, при помощи программы Skype).

Для этого по договоренности с преподавателем студент в определенное время выходит на связь для проведения процедуры зачета. В таком случае зачет сдается в виде собеседования по вопросам (см. формы проведения промежуточной аттестации для лиц с нарушениями зрения). Вопрос и практическое задание выбираются самим преподавателем.

Примечание: Фонды оценочных средств, включающие типовые задания и методы оценки, критерии оценивания, позволяющие оценить результаты освоения данной дисциплины обучающимися с ОВЗ могут входить в состав РПД на правах отдельного документа.

Программу составила:

---

**И.А. Антошина**

доцент отделения лазерных и плазменных технологий,  
кандидат физико-математических наук

Рецензент:

**В.А. Степанов**

начальник отделения лазерных и плазменных технологий,  
доктор физико-математических наук, профессор