

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 ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ ЯДЕРНЫХ  
РЕАКТОРОВ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ИЗМЕРЕНИЙ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы

| Семестр | Трудоемкость,<br>кред. | Общий объем<br>курса, час. | Лекции, час. | Практич.<br>занятия, час. | Лаборат. работы,<br>час. | В форме<br>практической<br>подготовки/ В | СРС, час. | КСР, час. | Форма(ы)<br>контроля,<br>экз./зач./КР/КП |
|---------|------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------------------|-----------|-----------|------------------------------------------|
| 8       | 4                      | 144                        | 15           | 0                         | 45                       |                                          | 39-48     | 0         | Э                                        |
| Итого   | 4                      | 144                        | 15           | 0                         | 45                       | 45                                       | 39-48     | 0         |                                          |

## АННОТАЦИЯ

В курсе лекций рассматриваются наиболее распространенные современные неразрушающие и разрушающие методы определения массы и изотопного состава ядерных материалов. Обсуждаются источники погрешностей результатов измерений и способы их минимизации, вопросы калибровки аппаратуры и контроля качества измерений.

Курс лекций сопровождается лабораторным практикумом, в котором студенты закрепляют теоретические знания и получают навыки работы с современной измерительной аппаратурой и программным обеспечением.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Основной целью учебной дисциплины является обучение студентов современным методам контрольных измерений ядерных материалов (ЯМ), находящихся в различных физических и химических формах на предприятиях ядерного топливного цикла. В процессе изучения дисциплины студенты приобретают знания о свойствах ядерных материалов и способах их определения, измерительной аппаратуре и ее характеристиках, о мерах поддержания необходимого качества измерений. Знакомятся с системами контрольных измерений ядерных материалов на российских и зарубежных предприятиях ЯТЦ, с проблемами измерений, источниками погрешностей и мерами по их минимизации.

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

При изучении дисциплины используются полученные ранние знания по ядерной физике и переносу излучений, по детектированию радиоактивных частиц и излучений, математической обработки экспериментальных данных. Предлагаемый студентам материал взаимосвязан с вопросами ядерного нераспространения, международных и национальных гарантий, системой учета ядерных материалов и учетными процедурами, освещаемыми в параллельно читаемых курсах.

Материал курса необходим для успешного освоения теоретического материала курсов «Методы и процедуры учета и контроля ядерных материалов», «Основы ядерной и радиационной безопасности», «Основы обращения с РАО». Кроме того, материал курса необходим для успешного выполнения лабораторного практикума.

### 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:

| Задача профессиональной деятельности (ЗПД) | Объект или область знания | Код и наименование профессиональной компетенции; | Код и наименование индикатора достижения |
|--------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------|
|--------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------|

|                                                                                        |                                                                                                                                                        | <b>Основание<br/>(профессиональный<br/>стандарт-ПС, анализ<br/>опыта)</b>                                                                                                                                                                                       | <b>профессиональной<br/>компетенции</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>научно-исследовательский</b>                                                        |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Разработка методов и методик измерения количественных характеристик ядерных материалов | Свежее и отработавшее ядерное топливо в процессе производства, транспортировки и хранения на атомных станциях и предприятиях ядерного топливного цикла | ПК-1.5 [1] - Способен к созданию теоретических и математических моделей систем учета и контроля ядерных материалов применительно к конкретным ядерным объектам<br><br><i>Основание:</i><br>Профессиональный стандарт: 24.031                                    | З-ПК-1.5[1] - Знать основные закономерности ядерно-физических и теплофизических процессов в ядерных установках;<br>У-ПК-1.5[1] - Уметь создавать теоретические и математические модели, описывающие системы учета, контроля ядерных материалов ;<br>В-ПК-1.5[1] - Владеть навыками математического моделирования                                                                                                                                                       |
| <b>организационно-управленческий</b>                                                   |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Организация безопасной эксплуатации систем и оборудования                              | Обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики                                                  | ПК-1.6 [1] - Способен оценивать риск и разрабатывать и совершенствовать меры укрепления национальных гарантий ядерного нераспространения и, в целом, безопасного обращения с ядерными материалами<br><br><i>Основание:</i><br>Профессиональный стандарт: 24.094 | З-ПК-1.6[1] - Знать методики оценки рисков при создании и эксплуатации новых установок и технологий, методики составления и анализа сценариев потенциально возможных угроз и методы противодействия им;<br>У-ПК-1.6[1] - Уметь оценивать риски и определять меры безопасности для новых установок , составлять и анализировать сценарии потенциально возможных угроз безопасности ядерных материалов;<br>В-ПК-1.6[1] - Владеть методиками оценки рисков при создании и |

|                                                           |                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                           |                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | эксплуатации новых установок, методиками составления и анализа сценариев потенциально возможных угроз безопасности ядерных материалов                                                                                                                                                                                               |
| Организация безопасной эксплуатации систем и оборудования | Обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики | <p>ПК-1.9 [1] - Готов применять методы оптимизации, анализа вариантов, учета неопределенности при проектировании систем учета и контроля ядерных материалов, и, в целом, систем безопасного обращения с ядерными материалами на предприятиях ядерного топливного цикла.</p> <p><i>Основание:</i><br/>Профессиональный стандарт: 24.094</p> | <p>З-ПК-1.9[1] - Знать технологии применение современных электронных устройств для целей защиты ядерных материалов;</p> <p>У-ПК-1.9[1] - Уметь разрабатывать способы проведения ядерно-физических экспериментов;</p> <p>В-ПК-1.9[1] - Владеть навыками использования электронных устройств для целей защиты ядерных материалов.</p> |

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

| Направления/цели воспитания | Задачи воспитания (код)                                                                                                                              | Воспитательный потенциал дисциплин                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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                                                                      | 1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика»,                                                                                                                                                                                                                                                            |

|  |                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)</p> | <p>«Научный семинар» для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований.</li> </ul> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед;</li> <li>- формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</li> </ul> |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 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     |
|-------|-----------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|       | 8 Семестр                               |        |                                                       |                                           |                               |                                     |                                     |
| 1     | Часть 1                                 | 1-8    | 8/0/24                                                |                                           | 25                            | КИ-8                                | З-ПК-1.5,<br>У-ПК-1.5,<br>В-ПК-1.5, |

|   |                                             |      |         |  |    |       |                                                                                                                  |
|---|---------------------------------------------|------|---------|--|----|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                             |      |         |  |    |       | 3-ПК-1.6,<br>У-ПК-1.6,<br>В-ПК-1.6,<br>3-ПК-1.9,<br>У-ПК-1.9,<br>В-ПК-1.9                                        |
| 2 | Часть 2                                     | 9-15 | 7/0/21  |  | 25 | КИ-15 | 3-ПК-1.5,<br>У-ПК-1.5,<br>В-ПК-1.5,<br>3-ПК-1.6,<br>У-ПК-1.6,<br>В-ПК-1.6,<br>3-ПК-1.9,<br>У-ПК-1.9,<br>В-ПК-1.9 |
|   | <i>Итого за 8 Семестр</i>                   |      | 15/0/45 |  | 50 |       |                                                                                                                  |
|   | <b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b> |      |         |  | 50 | Э     | 3-ПК-1.9,<br>У-ПК-1.9,<br>В-ПК-1.9,<br>3-ПК-1.5,<br>У-ПК-1.5,<br>В-ПК-1.5,<br>3-ПК-1.6,<br>У-ПК-1.6,<br>В-ПК-1.6 |

\* – сокращенное наименование формы контроля

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

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

| Обозначение | Полное наименование |
|-------------|---------------------|
| КИ          | Контроль по итогам  |
| Э           | Экзамен             |

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| Недели     | Темы занятий / Содержание                                                                                                                                                                                             | Лек., час.             | Пр./сем., час. | Лаб., час. |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------|------------|
|            | <i>8 Семестр</i>                                                                                                                                                                                                      | 15                     | 0              | 45         |
| <b>1-8</b> | <b>Часть 1</b>                                                                                                                                                                                                        | 8                      | 0              | 24         |
| 1          | <b>Введение</b><br>Категории ЯМ. Требования к точности и периодичности проведения контрольных измерений. Баланс ЯМ.<br>Уравнение баланса. Стадии ядерного топливного цикла.<br>Учетные и подтверждающие измерения ЯМ. | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |                                                                                                                                                                                                                       | 4                      | 0              | 10         |
|            |                                                                                                                                                                                                                       | Онлайн                 |                |            |
|            |                                                                                                                                                                                                                       | 0                      | 0              | 0          |
| 2          | <b>Неразрушающие методы анализа ЯМ</b><br>Неразрушающие анализы ЯМ. Калибровка измерительной системы. Стандартные образцы (СО). Изготовление стандартных образцов. Контроль качества измерений.                       | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |                                                                                                                                                                                                                       | 0                      | 0              | 10         |
|            |                                                                                                                                                                                                                       | Онлайн                 |                |            |
|            |                                                                                                                                                                                                                       | 0                      | 0              | 0          |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                        |   |    |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---|----|
|      | Гамма-спектрометрические НРА. Нейтронные НРА.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                        |   |    |
| 3    | <b>Определение содержания ЯМ в образцах путем измерения их собственных гамма-излучений.</b><br>Основы гамма-спектрометрии. Эффективность регистрации излучения. Типы детекторов гамма-излучения, применяемые для НРА ЯМ. Просчеты при спектрометрических измерениях. Защита измерительных систем от фонового излучения. Пассивные гамма-спектрометрические измерения ЯМ. Контроль растворов ЯМ.           | Всего аудиторных часов |   |    |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0                      | 0 | 4  |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Онлайн                 |   |    |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0                      | 0 | 0  |
| 4    | <b>Определение содержания ЯМ в образцах путем измерения их собственных гамма-излучений.</b><br>Контроль отходов. Сегментированное сканирование на основе измерений гамма-лучей. Контроль отложений. Радиационные мониторы контроля периметра.                                                                                                                                                             | Всего аудиторных часов |   |    |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 4                      | 0 | 0  |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Онлайн                 |   |    |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0                      | 0 | 0  |
| 5    | <b>Гамма-спектрометрические измерения обогащения урана с помощью сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов.</b><br>Излучение образцов урана. Определение обогащения урана в образцах «бесконечной» толщины. Сравнение измерений обогащения урана с помощью NaI- и Ge-спектрометров. Метод измерения обогащения по относительной интенсивности гамма-излучений $^{235}\text{U}$ и $^{238}\text{U}$ . | Всего аудиторных часов |   |    |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0                      | 0 | 0  |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Онлайн                 |   |    |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0                      | 0 | 0  |
| 6    | <b>Неразрушающие измерения изотопного состава плутония и урана с помощью гамма-спектрометрии</b><br>Измерения гамма-излучения образцов плутония. Метод изотопных корреляций для определения массовой доли $^{242}\text{Pu}$ . Программы MGA и FRAM для определения изотопного состава плутония. Программы MGAU и FRAM для определения изотопного состава урана.                                           | Всего аудиторных часов |   |    |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0                      | 0 | 0  |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Онлайн                 |   |    |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0                      | 0 | 0  |
| 7    | <b>Анализы растворов ЯМ: денситометрия на К- и L-крае поглощения, рентгено-флюоресцентный анализ.</b><br>Денситометрия растворов ЯМ. Рентгено-флюоресцентный анализ (РФА).                                                                                                                                                                                                                                | Всего аудиторных часов |   |    |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0                      | 0 | 0  |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Онлайн                 |   |    |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0                      | 0 | 0  |
| 8    | <b>Семестровый контроль</b><br>Контроль освоения материала первой части курса.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Всего аудиторных часов |   |    |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0                      | 0 | 0  |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Онлайн                 |   |    |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0                      | 0 | 0  |
| 9-15 | <b>Часть 2</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 7                      | 0 | 21 |
| 9    | <b>Основы нейтронных измерений ЯМ.</b><br>Источники нейтронного излучения образцов ЯМ. Детекторы нейтронов. $^3\text{He}$ -счетчики нейтронов. Основы регистрации полного потока нейтронов. Принципы регистрации нейтронных совпадений. Сдвиговый регистр.                                                                                                                                                | Всего аудиторных часов |   |    |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1                      | 0 | 5  |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Онлайн                 |   |    |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0                      | 0 | 0  |
| 10   | <b>Методы и приборы для нейтронных измерений ЯМ.</b><br>Пассивный нейтронный анализ образцов Pu. Методы определения массы плутония по результатам нейтронных измерений на счетчиках совпадений. Счет множественности нейтронов. Пассивные системы регистрации нейтронных совпадений. Активный нейтронный анализ образцов U. Особенности измерений                                                         | Всего аудиторных часов |   |    |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1                      | 0 | 5  |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Онлайн                 |   |    |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0                      | 0 | 0  |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                        |   |   |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---|---|
|    | протяженных образцов ЯМ.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                        |   |   |
| 11 | <b>Калориметрия.</b><br>Физические основы калориметрического анализа ЯМ.<br>Калориметр теплового потока. График чувствительности калориметра. Погрешность калориметрического анализа ЯМ. Стандартные образцы и электрические стандарты.                                                                                                                        | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1                      | 0 | 5 |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Онлайн                 |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0                      | 0 | 0 |
| 12 | <b>Измерения выгорания реакторного топлива.</b><br>Отработавшие ТВС ядерных реакторов. Гамма-спектрометрический метод определения выгорания ТВС. Метод изотопных корреляций. Определение выгорания по интенсивности нейтронного излучения топлива. Измерения выгорания отработавших ТВС исследовательских реакторов.                                           | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1                      | 0 | 5 |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Онлайн                 |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0                      | 0 | 0 |
| 13 | <b>Разрушающие анализы ЯМ</b><br>Отбор проб. Растворение образцов ядерных материалов. Разделение элементов. Гравиметрия. Титрование по методу Дэвиса—Грэя для количественного анализа содержания урана.                                                                                                                                                        | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1                      | 0 | 1 |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Онлайн                 |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0                      | 0 | 0 |
| 14 | <b>Масс-спектрометрия. Альфа-спектрометрия.</b><br>Физические основы масс-спектрометрии. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Масс-спектрометрический анализ изотопного состава урана. Метод изотопного разбавления. Метод Resin-bead. Измерения ЯМ в образцах окружающей среды. Альфа-спектрометрия.                                   | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1                      | 0 | 0 |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Онлайн                 |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0                      | 0 | 0 |
| 15 | <b>Комплексное применение методов измерений ЯМ.</b><br>Взаимозаменяющие и взаимодополняющие методы анализа ЯМ. Методы измерений ЯМ, применяемые на химическом комбинате в Селлафилде (Англия). Контроль при производстве МОХ-топлива. Контроль отложений ЯМ в технологическом оборудовании предприятия. Системы учета и контроля ЯМ на заводе Melax (Франция). | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1                      | 0 | 0 |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Онлайн                 |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0                      | 0 | 0 |

Сокращенные наименования онлайн опций:

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

## ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

| Недели | Темы занятий / Содержание |
|--------|---------------------------|
|        | <i>8 Семестр</i>          |
| 1      | <b>Вводное занятие</b>    |



|         |                                                                                                                            |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         | Знакомство с лабораторией. Инструктаж по технике безопасности.                                                             |
| 2 - 3   | <b>Лабораторная работа 1.</b><br>Основы гамма-спектрометрического метода контроля ядерных материалов                       |
| 4 - 5   | <b>Лабораторная работа 2.</b><br>Основы альфа-спектрометрического метода контроля ядерных материалов                       |
| 6 - 7   | <b>Лабораторная работа 3.</b><br>Определение неоднородностей топливного столба в ТВЭлах методом гамма-сканирования         |
| 8       | <b>Защита лабораторных работ</b><br>Защита лабораторных работ                                                              |
| 9 - 10  | <b>Лабораторная работа 4.</b><br>Определение концентрации ЯМ в растворах методом денситометрии на К-крае поглощения (ККД). |
| 11 - 12 | <b>Лабораторная работа 5.</b><br>Определение концентрации ЯМ в растворах с помощью рентгено-флюоресцентного анализа (РФА). |
| 13 - 14 | <b>Лабораторная работа 6.</b><br>Определение изотопного состава образцов плутония и урана с помощью программы FRAM.        |
| 15 - 16 | <b>Защита лабораторных работ</b><br>Защита лабораторных работ                                                              |

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (практические занятия, система контрольно-измерительных материалов, включая тесты) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

## 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-1.5      | З-ПК-1.5            | Э, КИ-8, КИ-15                    |
|             | У-ПК-1.5            | Э, КИ-8, КИ-15                    |
|             | В-ПК-1.5            | Э, КИ-8, КИ-15                    |
| ПК-1.6      | З-ПК-1.6            | Э, КИ-8, КИ-15                    |
|             | У-ПК-1.6            | Э, КИ-8, КИ-15                    |
|             | В-ПК-1.6            | Э, КИ-8, КИ-15                    |
| ПК-1.9      | З-ПК-1.9            | Э, КИ-8, КИ-15                    |
|             | У-ПК-1.9            | Э, КИ-8, КИ-15                    |
|             | В-ПК-1.9            | Э, КИ-8, КИ-15                    |

## 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 и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.                                     |
| 85-89        | 4 – «хорошо»                  | B           | Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.                                                                                                                                         |
| 75-84        |                               | C           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 70-74        |                               | D           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 65-69        | 3 – «удовлетворительно»       | E           | Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.                                        |
| 60-64        |                               |             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Ниже 60      | 2 – «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. ЭИ ИЗ7 Измерение отложений ядерных материалов в технологическом оборудовании : лабораторный практикум, Смирнов В.Е. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
2. 621.039 М54 Методы и приборы измерений ядерных материалов : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, Зубарев В.Н. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

3. ЭИ П81 Регулирование безопасности обращения с радиоактивными отходами : учебное пособие для вузов, Шарафутдинов Р.Б., Гераскин Н.И., Пронкин Н.С., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 Б94 Методы и приборы измерений ядерных материалов : учебное пособие для вузов, Алеева Т.Б., Бушуев А.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
2. 621.039 Б94 Экспериментальная реакторная физика : учебное пособие для вузов, Бушуев А.В., Москва: МИФИ, 2008
3. 621.039 К14 Экспериментальные методы физики реакторов : учебное пособие для вузов, Казанский Ю.А., Матусевич Е.С., Москва: Энергоатомиздат, 1984

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. Gamma-Vision 6. (31 корпус, Л-201, Л-202, Л-204, Л-211)
2. FRAM v.4.4 (31 корпус, Л-201, Л-202, Л-204, Л-211)
3. JANIS 4.0 (31 корпус, Л-201, Л-202, Л-204, Л-211)

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. Сайт Всемирной ядерной ассоциации (<http://world-nuclear.org>)
2. Сборник книг на официального сайта МАГАТЭ (<http://www-pub.iaea.org/books/>)

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

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

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

1. Гамма-спектрометр №2. (31 корпус, Л-204)
2. Альфа-спектрометр. (31 корпус, Л-204)
3. Гамма-спектрометр №1. (31 корпус, Л-204)
4. Гамма-сканирующая измерительная система. (31 корпус, Л-204)
5. Набор ОСГИ. (31 корпус)
6. Набор ОСАИ. (31 корпус)
7. Урановые образцы. (31 корпус)

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

При изучении курса необходимо твердо усвоить основные методы измерений, применяемые для учета и контроля ядерных материалов (ЯМ), и информацию об используемой аппаратуре. Нужно знать подлежащие контролю ЯМ, их свойства, условия проведения контрольных измерений. Знать наиболее распространенные методы разрушающего и неразрушающего контроля ЯМ, пассивные и активные анализы. Усвоить основы регистрации гамма- и нейтронного излучений. Иметь представление о детекторах и аппаратуре, о процессах калибровки и стандартных образцах. Знать основные источники погрешностей результатов измерений и уметь их оценивать.

Лекционный курс сопровождается работой в лабораторном практикуме. Студент должен самостоятельно готовиться к выполнению каждой лабораторной работы. Изучить теоретическое введение к лабораторному практикуму, введение к лабораторной работе и порядок выполнения работы. Подготовить тетрадь с таблицами для записи экспериментальных данных. По результатам работы студент должен оформить отчет и подготовиться к защите работы, прорабатывая теоретический материал и контрольные вопросы, изложенные в описании лабораторного практикума в конце каждой работы. Студент не должен пропускать лабораторные работы и защиты без уважительной причины. В случае пропуска по уважительной причине студент должен лично договориться с преподавателем о возможных сроках выполнения работ.

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

В помощь лектору, а также преподавателям, ведущим практические и лабораторные занятия по данному учебному курсу рекомендуется использовать следующие учебные пособия, методические и справочные материалы.

В качестве основной литературы:

1. А.В. Бушуев, Т.Б. Алеева. Методы измерения ядерных материалов: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2011.

1. Бушуев А.В., Петрова Е.В. и др. Методы измерений ядерных материалов: Лабораторный практикум. М.: МИФИ, 2011.

2. Дуглас Райли, Норберт Энслин, Хэйстингс Смит, Сара Крайнер. Пассивный неразрушающий анализ ядерных материалов. – «Бином», Москва, 2000.

В случае необходимости дополнительную информацию по вопросам, затрагиваемым в курсе, можно получить, используя следующие учебники и учебные пособия:

1. Основные правила учета и контроля ядерных материалов. НП-030-12. Москва, 2012.

2. V. Bragin, J. Carlson, R. Leslie. The Categorization of Nuclear Material in the Context of Integrated Safeguards. – ESARDA, 23rd annual meeting, Bruges, Belgium, 8-10 May, 2001.

3. Ю.Г. Володин, Б.Н. Крупчатников, И.О. Хрокало. Роль использования приборов для контроля и идентификации ядерных материалов. - Труды трехстороннего семинара. Обнинск, Россия, 9-13 октября 2000 г., стр. 205.

4. Фролов В.В. Ядерно-физические методы контроля делящихся веществ. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

5. T.E. Sampson. Measurement Control: Principles and Practice as Applied to Nondestructive Assay. LA-12233-MS, December 1991.

6. Брегадзе Ю.И., Степанов Э.К., Ярына В.П. Прикладная метрология ионизирующих излучений. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
7. Роберт Маршал. Методы изготовления стандартных образцов для неразрушающего анализа материалов в оборотах и отходах. - Трехсторонний семинар по оценке содержания и наличных количеств ядерных материалов в оборотах и отходах. Обнинск, Россия, 2001 г, стр. 275.
8. Х. Смит, Дж. Стюарт. Разработка эталонов для неразрушающего анализа СЯМ. - Труды конференции по учету и контролю ЯМ. Обнинск, Россия, 9-14 марта 1997 г, стр. 338.
9. С. Шу, Дж. Стюарт и др. Руководство для эталонов неразрушающего анализа. Критерии подготовки, существующие эталоны и практические вопросы. LA-13340-MS, 1997 г.
10. А.В. Бушуев, Е.В. Петрова, А.Ф. Кожин. Практическая гамма-спектрометрия. – Москва, МИФИ, 2006.
11. D.T. Vo, P.A. Russo and T.E. Sampson. Comparison between Digital Gamma-Ray Spectrometer (DSpec) and Standard Nuclear Instrumentations Methods (NIM) Systems. – Los Alamos, NM87545 LA-13393-MS.
12. Б.Г. Рязанов, С.С. Кречетов и др. Виды и основные характеристики оборотов и отходов предприятий ядерного топливного цикла. – Труды трехстороннего семинара, 14-18 октября 2002 г., Обнинск, Россия.
13. Обзор ядерных аварий с возникновением СУР. – ЛАНЛ, LA-13638-TR, 2003.
14. В.В. Фролов, В.И. Буланенко. Влияние  $^{232}\text{U}$  и  $^{228}\text{Th}$  на результаты контроля концентрации гамма-спектрометром NaI(Tl). – Материалы «Третьей российской международной конференции по учету, контролю и физзащите ЯМ», 16-20 мая 2005, г. Обнинск.
15. R. Gannink, W. D. Ruther et al. MGAU. Новая программа для измерения степени обогащения U-235.- Lawrence Livermor National Laboratory, USA, UCRL-JR-114713.
16. U-Pu InSpector. Методические указания. Руководство по работе с аппаратурой. УМЦУК, Обнинск, 1988 г.
17. Schubert, H. Ottmar. Empirical Determination of Pu-242 in Non-Destructive Assay.- ESARDA, 17th Annual Symposium on Safeguards, Aachen, Germany, 9-11 May 1995, p. 425.
18. O.B. Drury, S.F. Terracol and S. Friedrich. Quantifying the Benefits of Ultrahigh Energy Resolution for Gamma-ray Spectrometry. – Phys Status Solidi C2, p. 1468-1479, 2005.
19. Томас Е. Семпсон, Томас А. Келли. Руководство пользователя PC/FRAM. - LANL-РФЯЦ ВНИИЭФ, 1998.
20. Томас А. Келли, Томас Е. Семпсон, Доротея Де Лэнн. PC/FRAM: Алгоритмы для измерения изотопного состава плутония с помощью гама-спектрометрии. Перевод с английского. Лос-Алomos, Нью Мексико, 87545, США.
21. Ю.К. Бибилашвили, В.С. Руденко и др. Использование разрушающих и неразрушающих методов анализа для контроля качества при производстве МОКС топлива в России. - Доклад на международной конференции «АТАЛАНТЭ-2000», Франция, Авиньоне, 24-26 октября 2000 г.
22. P.M. Grossman, A.S. Chesterman. NDA Systems used at the thorp feed pond. – ESARDA, 17th Annual Symposium on Safeguards, Aachen, Germany, 9-11 May 1995, p. 239.
23. O. Cromboom, H. Eberle et al. Qualification of Plutonium Assay Techniques. - ESARDA, 17th Annual Symposium on Safeguards, Aachen, Germany, 9-11 May 1995, p. 271.
24. Дж. Бэккерс, М. Боелла и др. Контроль отложений ядерного материала на заводах, производствах МОХ-топлива в Европе. - Трехсторонний семинар, Обнинск, Россия, 2002 г.

25. Сысоев А.А. Физика и техника масс-спектрометрических приборов и электромагнитных установок. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
26. Беляев Б.Н., Ловцюс А.В. и др. Масс-спектрометрический анализ нанограммовых количеств трансурановых элементов. – Радиохимия, 1982, №2, с.185.
27. Тельдеша Ю., Браун Т., Кирш М. Анализ методом изотопного разбавления М.: Атомиздат, 1975.
28. А.А. Пупышев, В.Т. Суриков. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой. Образование ионов. - Екатеринбург: УВО РАН, 2006.
29. R. Wellum, A. Held et al. NUSIMEP-2: an External QC Campaign for Measurements of Uranium Isotopic Ratios in Small Samples. – ESARDA, 23rd annual meeting, Bruges, Belgium, 8-10 May, 2001.
30. Ю.П. Ефремов, Ф.Ф. Комаренко и др. Развитие разрушающих методов измерения в системе учета и контроля ядерных материалов. - Труды трехстороннего семинара «Измерения, проверка и оценка баланса ЯМ», Обнинск, Россия, 9-13 октября 2000 г., стр. 113.
31. Donald R. Rogers. Handbook of Nuclear Safeguards Measurement Methods.- NUREG/CR-2078, MLM-2865, September 1983.
32. Н.А. Мельниченко, В.Ф. Ефименко и др. Деструктивные измерения в системе учета и контроля, применяемые в ГНЦ РФ-ФЭИ. – Труды Российской Международной Конференции по УиК ЯМ, Обнинск, 9-14 марта, 1997, Т2, с. 317.

Необходимо дать студентам возможность усвоить основные методы измерений и аппаратуры, применяемых для учета и контроля ядерных материалов (ЯМ). В курсе необходимо рассказать о подлежащих контролю ЯМ, обсудить их свойства, условия проведения контрольных измерений. Дать сведения о наиболее распространенных методах разрушающего и неразрушающего контроля ЯМ, пассивных и активных анализах. Большинство методов контроля основано на регистрации гамма- и нейтронного излучений. Рассказать о применяемых детекторах и аппаратуре, о процессах калибровки и стандартных образцах. Обсудить источники погрешностей измерений и меры по их снижению. В заключение рассмотреть примеры комплексного применения методов измерений ЯМ на производстве.

При проведении лабораторных работ преподаватель должен проверить степень подготовки студента к работе. Для этого необходимо задать несколько контрольных вопросов по материалу работы. Если студент не владеет материалом, он не должен быть допущен до практических работ. По итогам лабораторной работы студент оформляет отчет и защищает полученные результаты у преподавателя.

Автор(ы):

Алеева Татьяна Борисовна, к.ф.-м.н.

