

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА РАДИАЦИОННОЙ ФИЗИКИ И БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/0821-573.1

от 31.08.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.05.02 Атомные станции: проектирование,  
эксплуатация и инжиниринг

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
9	3	108	16	16	16		24	0	Э
Итого	3	108	16	16	16	0	24	0	

## АННОТАЦИЯ

Базируясь на предшествующих курсах по физике ядра, по взаимодействию излучения с веществом, дозиметрии ионизирующих излучений, способствовать у студентов углублённому пониманию принципов работы детекторов ионизирующих излучения для целей дозиметрии и радиометрии, методов измерения сверхмалых токов и обработки импульсных сигналов. Освоение дисциплины обеспечит грамотный выбор блоков детектирования и блоков обработки информации для измерения поглощенной дозы, эквивалента дозы, активности источников ионизирующих излучений, удельной и объёмной активности, плотностей потоков и флюенсов частиц; овладение технологией измерения радиационных характеристик и обработки первичной информацией.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Базируясь на предшествующих курсах по физике ядра, по взаимодействию излучения с веществом, дозиметрии ионизирующих излучений, способствовать у студентов углублённому пониманию принципов работы детекторов ионизирующих излучения для целей дозиметрии и радиометрии, методов измерения сверхмалых токов и обработки импульсных сигналов. Освоение дисциплины обеспечит грамотный выбор блоков детектирования и блоков обработки информации для измерения поглощенной дозы, эквивалента дозы, активности источников ионизирующих излучений, удельной и объёмной активности, плотностей потоков и флюенсов частиц; овладение технологией измерения радиационных характеристик и обработки первичной информацией.

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

Дисциплина призвана связать знания студента в области теоретических дисциплин, относящихся к ядерной физике, и их практической реализации в эксперименте.

### 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; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
производственно-технологический			

проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию, включая входящие в их состав системы контроля, защиты, управления и обеспечения ядерной и радиационной безопасности	процессы контроля параметров, защиты и диагностики состояния ядерных энергетических установок; информационно-измерительная аппаратура и органы управления, системы контроля, управления, защиты и обеспечения безопасности, программно-технические комплексы информационных и управляющих систем ядерных энергетических установок	ПК-10 [1] - Способен провести оценку ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации и выводе из эксплуатации ядерных энергетических установок, а также при обращении с ядерным топливом и радиоактивными отходами  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028, 24.033	З-ПК-10[1] - знать критерии ядерной и радиационной безопасности ЯЭУ; ; У-ПК-10[1] - уметь проводить оценки ядерной и радиационной безопасности ЯЭУ;; В-ПК-10[1] - владеть методами оценки ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации ЯЭУ, а также при обращении с ядерным топливом и радиоактивными отходами
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию, включая входящие в их состав системы контроля, защиты, управления и обеспечения ядерной и радиационной безопасности	процессы контроля параметров, защиты и диагностики состояния ядерных энергетических установок; информационно-измерительная аппаратура и органы управления, системы контроля, управления, защиты и обеспечения безопасности, программно-технические комплексы информационных и управляющих систем ядерных энергетических установок	ПК-11 [1] - Способен анализировать технологии монтажа, ремонта и демонтажа оборудования ЯЭУ применительно к условиям сооружения, эксплуатации и снятия с эксплуатации энергоблоков АЭС  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.032, 24.033	З-ПК-11[1] - знать правила техники безопасности при проведении монтажа, ремонта и демонтажа оборудования ЯЭУ; ; У-ПК-11[1] - уметь проводить монтаж, ремонт и демонтаж оборудования ЯЭУ применительно к условиям сооружения, эксплуатации и снятия с эксплуатации энергоблоков АЭС;; В-ПК-11[1] - владеть навыками монтажных и демонтажных работ на технологическом оборудовании
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических	процессы контроля параметров, защиты и диагностики состояния ядерных энергетических установок;	ПК-9 [1] - Способен анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, управления	З-ПК-9[1] - Знать правила и нормы в атомной энергетике, критерии эффективной и безопасной работы ЯЭУ; ;

установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию, включая входящие в их состав системы контроля, защиты, управления и обеспечения ядерной и радиационной безопасности	информационно-измерительная аппаратура и органы управления, системы контроля, управления, защиты и обеспечения безопасности, программно-технические комплексы информационных и управляющих систем ядерных энергетических установок	и защиты ЯЭУ с целью обеспечения их эффективной и безопасной работы  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028, 24.033	У-ПК-9[1] - уметь анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, управления и защиты ЯЭУ;; В-ПК-9[1] - владеть методами анализа нейтронно-физических и технологических процессов в ЯЭУ.
организационно-управленческий			
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию, включая входящие в их состав системы контроля, защиты, управления и обеспечения ядерной и радиационной безопасности	теплофизические энергетические установки как объекты человеческой деятельности, связанной с их созданием и эксплуатацией	ПК-2.1 [1] - Способен выбирать и обосновывать мероприятия, направленные на обеспечение безопасности персонала АЭС, населения и окружающей среды  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.071	З-ПК-2.1[1] - Знать законы Российской Федерации в области использования атомной энергии, радиационной безопасности, санитарно-эпидемиологического благополучия населения, норм и правил радиационной безопасности ; У-ПК-2.1[1] - Уметь проводить разъяснительную работу о безопасности функционировании АЭС с персоналом и населением; В-ПК-2.1[1] - Владеть методами планирования работ по обеспечению безопасности персонала АЭС
проектный			
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих,	ядерно-физические процессы, протекающие в оборудовании и устройствах для выработки, преобразования и использования	ПК-5 [1] - Способен формулировать цели проекта, выбирать критерии и показатели, выявлять приоритеты решения задач  <i>Основание:</i>	З-ПК-5[1] - знать методологию проектной деятельности; жизненный цикл проекта, основные критерии и показатели эффективности и

преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию, включая входящие в их состав системы контроля, защиты, управления и обеспечения ядерной и радиационной безопасности	ядерной и тепловой энергии; ядерно-энергетическое оборудование атомных электрических станций и других ядерных энергетических установок; безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;	Профессиональный стандарт: 24.078, 40.008, 40.011	безопасности; ; У-ПК-5[1] - уметь формулировать цели и задачи проекта;; В-ПК-5[1] - владеть методами анализа результатов проектной деятельности
научно-исследовательский			
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию, включая входящие в их состав системы контроля, защиты, управления и обеспечения ядерной и радиационной безопасности	ядерно-физические процессы, протекающие в оборудовании и устройствах для выработки, преобразования и использования ядерной и тепловой энергии; безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;	ПК-3 [1] - Способен к проведению исследований физических процессов в ядерных энергетических установках в процессе разработки, создания, монтажа, наладки и эксплуатации  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078, 40.008, 40.011	З-ПК-3[1] - знать методы проведения исследований физических процессов ; У-ПК-3[1] - уметь проводить исследования и испытания оборудования ядерных энергетических установок ; В-ПК-3[1] - владеть методиками испытаний оборудования при его монтаже и наладке

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры ядерной безопасности (В24)	1.Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн. 2.Использование воспитательного потенциала содержания учебных дисциплин «Актуальные проблемы эксплуатации АЭС», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике»,

		<p>«Системы радиационного контроля» для формирования личной ответственности за соблюдение экологической и радиационной безопасности посредством изучения основополагающих документов по культуре ядерной безопасности, разработанных МАГАТЭ и российскими регулирующими органами, норм и правил обращения с радиоактивными отходами и ядерными материалами.</p> <p>3. Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин «Контроль и диагностика ядерных энергетических установок», «Надежность оборудования атомных реакторов и управление риском», «Безопасность ядерного топливного цикла», «Ядерные технологии и экология топливного цикла» для формирования личной ответственности за соблюдение и обеспечение кибербезопасности и информационной безопасности объектов атомной отрасли через изучение вопросов организации информационной безопасности на объектах атомной отрасли, основных принципов построения системы АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокоэшелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов.</p> <p>4. Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Системы радиационного контроля», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике» для формирования ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов обеспечения такого уровня безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую среду, обеспечивает сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработки ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла.</p>
--	--	--

<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за обеспечение кибербезопасности объектов атомной отрасли (В25)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн. 2.Использование воспитательного потенциала содержания учебных дисциплин «Актуальные проблемы эксплуатации АЭС», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике», «Системы радиационного контроля» для формирования личной ответственности за соблюдение экологической и радиационной безопасности посредством изучения основополагающих документов по культуре ядерной безопасности, разработанных МАГАТЭ и российскими регулирующими органами, норм и правил обращения с радиоактивными отходами и ядерными материалами. 3.Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин «Контроль и диагностика ядерных энергетических установок», «Надежность оборудования атомных реакторов и управление риском», «Безопасность ядерного топливного цикла», «Ядерные технологии и экология топливного цикла» для формирования личной ответственности за соблюдение и обеспечение кибербезопасности и информационной безопасности объектов атомной отрасли через изучение вопросов организации информационной безопасности на объектах атомной отрасли, основных принципов построения системы АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокошелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов. 4.Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Системы радиационного контроля», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике» для формирования</p>
------------------------------------	---	---



		<p>ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов обеспечения такого уровня безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую среду, обеспечивает сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработки ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла.</p>
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственной экологической позиции (B26)	<p>1.Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн. 2.Использование воспитательного потенциала содержания учебных дисциплин «Актуальные проблемы эксплуатации АЭС», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике», «Системы радиационного контроля» для формирования личной ответственности за соблюдение экологической и радиационной безопасности посредством изучения основополагающих документов по культуре ядерной безопасности, разработанных МАГАТЭ и российскими регулирующими органами, норм и правил обращения с радиоактивными отходами и ядерными материалами. 3.Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин «Контроль и диагностика ядерных энергетических установок», «Надежность оборудования атомных реакторов и управление риском», «Безопасность ядерного топливного цикла», «Ядерные технологии и экология топливного цикла» для формирования личной ответственности за соблюдение и обеспечение кибербезопасности и информационной безопасности объектов атомной отрасли через изучение вопросов организации информационной безопасности на объектах атомной отрасли, основных принципов построения системы</p>



		<p>АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокоэшелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов.</p> <p>4.Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Системы радиационного контроля», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике» для формирования ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов обеспечения такого уровня безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую среду, обеспечивает сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработки ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла.</p>
--	--	--

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары )/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>9 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/8/8	КИ-8 (25)	25	КИ-8	3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, 3-ПК-11, У-

							ПК-11, В-ПК-11, 3-ПК-2.1, У-ПК-2.1, В-ПК-2.1, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
2	Часть 2	9-16	8/8/8	КИ-16 (25)	25	КИ-16	3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, 3-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11, 3-ПК-2.1, У-ПК-2.1,

							В-ПК-2.1, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
	<i>Итого за 9 Семестр</i>		16/16/16		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 9 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, 3-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11, 3-ПК-2.1, У-ПК-2.1, В-ПК-2.1, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5,

							З-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
--	--	--	--	--	--	--	---

\* – 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>9 Семестр</i>	16	16	16
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	8	8	8
1	Эталоны и стандарты в области ионизирующих излучений. Образцовые источники. Эталонные поля. Общие требования к дозиметрам и радиометрам.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
2	Радиометры альфа-излучения: сцинтилляционные счетчики с дисперсионными сцинтилляторами, радиометры с пропорциональными и коронными счетчиками. Блок-схемы приборов.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
3	Радиометры бета-излучения. Радиометры с газоразрядными счетчиками, органическими сцинтилляторами, пропорциональными счетчиками. Установки малого фона.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
4	Специальные радиометры для определения концентрации радиоактивных веществ в воде, продуктах питания, грунтах. Отбор проб.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
5	Радиометры аэрозолей и радона.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		

6	Приборы для определения поглощенной дозы и кермы фотонного излучения. Ионизационные дозиметры (толщина стенок камер, напряжение, объем). Камеры без стенок.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
7	Сцинтилляционные дозиметры поглощенной дозы и кермы фотонного Излучения. Термолюминесцентные дозиметры. Дозиметры с газоразрядными счетчиками. Требования к индивидуальным дозиметрам.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
8	Электрометрия слабых токов.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
9-16	<b>Часть 2</b>	8	8	8
9	Применение спектрометрических методов в задачах радиационного мониторинга. Преимущества и недостатки спектрометрического метода анализа.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
10	Особенности различных методов спектрометрии. Типы спектрометров. Структуры сцинтилляционного, полупроводникового, ионизационного, магнитного и время пролетного спектрометров. Роль вычислительной техники.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
11	Приборная форма линии, ее особенности и механизмы формирования этих особенностей для различных спектрометров. Обработка приборных спектров. Задача идентификации нуклидов и активационные измерения. Матричный метод обработки приборных спектров.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
12	Методы спектрометрии гамма-излучения. Неорганические и полупроводниковые кристаллы. Зависимость приборных спектров от размеров кристалла, типа и характеристик спектрометрического тракта. Газовые сцинтилляторы на основе благородных газов. Медицинские аспекты применения спектрометров.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
13	Методы спектрометрии альфа-излучения. Ионизационная камеры с сеткой, полупроводниковый детектор, детектор по времени пролета. Спектрометрия альфа-излучения в задачах охраны окружающей среды.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
14	Методы спектрометрии бета-излучения. Сцинтилляционные спектрометры. Полупроводниковые детекторы.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
15	Вычислительно-измерительные системы. Радиометры-спектрометры. Автономные системы для радиационного мониторинга. Сравнение дозиметрических, радиометрических и спектрометрических Методов для решения задач	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		

	радиоэкологии. Выбор метода, его эффективность, экономическая целесообразность. Заключение.			
16	Обзорная лекция.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		

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

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы «Радиационная безопасность человека и окружающей среды» используются следующие технологии:

- лекции по курсу традиционного типа, на некоторых лекциях применяется компьютерный проектор для иллюстраций сложных устройств и дизайна приборов;
- выполнение студентами домашнего задания по разделам курса;
- проведение лабораторных работ с активной формой обучения: получение технического задания, обсуждение технического предложения (с учетом диапазона измеряемых величин и энергий частиц), выбор готового прибора или компоновка из электронных блоков, проверка прибора;
- практические занятия в аудитории, сочетающиеся с обсуждением результатов решения по домашнему заданию;
- консультации студентов по домашнему заданию;
- посещение лаборатории «Счетчики (спектрометры) излучения человека» в ФМБЦ «Биофизика им. А.И.Бурназяна». Дискуссия о вкладах внутреннего и внешнего облучения людей в общую дозу.

## 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-10	З-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-11	З-ПК-11	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-11	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-11	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-2.1	З-ПК-2.1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2.1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-2.1	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-3	З-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-5	З-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-9	З-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-16

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-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
60-64			



			формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Оценочные средства приведены в Приложении.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Б 90 Спектрометрия ионизирующих излучений. Гамма-спектрометрия : учеб. пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2021
2. ЭИ Б 90 Спектрометрия ионизирующих излучений. Основные понятия и терминология : учебно-методическое пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2021
3. ЭИ Т76 Характеристики радионуклидов для градуировки гамма-спектрометров : учебное пособие для вузов, В. С. Трошин, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
4. 539.1 К78 Инструментальные методы радиационной безопасности : учебное пособие для вузов, Е. А. Крамер-Агеев, В. С. Трошин, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 В60 Внутрореакторная дозиметрия : практическое руководство, , Москва: Энергоатомиздат, 1985
2. 539.1 Я34 Ядерное приборостроение Т.2 Измерительные системы. Т.3: Производство аппаратуры, , Москва: Восточный горизонт, 2005
3. 539.1 И20 Курс дозиметрии : учебник для вузов, Иванов В.И., Москва: Энергоатомиздат, 1988

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

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

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

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

Дисциплина "Инструментальные методы радиационной безопасности" предполагает овладения студентами предшествующих дисциплин, посвящённых дозиметрии ионизирующих излучений, взаимодействию излучений с веществом, методам ядерной физики, электроники. После успешного освоения данной дисциплины студент, пройдя соответствующую практику, сможет работать в институтах, разрабатывающую аппаратуру, на атомных электростанциях, в службах внешней дозиметрии.

Из читаемых лекций студент узнаёт о конструкции ионизационных камер, об оптимизации толщины стенок, о вольтамперных характеристиках камер при их наполнении воздухом и электроположительным газом. Узнает о выборе сцинтиллятора для сцинтилляционного дозиметра и о выборе оптимального напряжения, подаваемого на ФЭУ. Узнает о способах улучшения энергетической зависимости чувствительности дозиметров с газоразрядными счётчиками.

Существенное внимание уделено в курсе современным методам индивидуальной дозиметрии.

Наряду с дозиметрической аппаратурой будут рассмотрены радиометрические приборы для определения активности, удельной и поверхностной активности, степени загрязнённости рабочей поверхности и одежды, плотностей потоков частиц и, прежде всего, нейтронов.

Особую группу радиометрических устройств составляют счётчики (спектрометры) человека, используемые для определения содержания инкорпорированных радионуклидов и расчёта доз внутреннего облучения.

На АЭС размещено более сотни дозиметрических и радиометрических блоков, которые объединены в единую сеть. В курсе будут рассмотрены назначение и особенности работы систем радиационно-технологического контроля (РТК), радиационного контроля помещений и промплощадки (РПК), радиационного контроля окружающей среды (РКОС). Студенты будут знать аппаратуру и характеристики информационно-измерительной системы радиационного контроля, топологию системы, построение информационных каналов, устройства накопления и отображения информации.

В результате освоения дисциплиной студент будет обладать знаниями и навыками для разработки, отладки и эксплуатации устройств детектирования, понимать работу информационно-измерительной системы радиационного контроля.

Лекционный курс дополняется современным лабораторным практикумом.

Лекции (9 семестр)

Лекции 1 и 2. Радиометры: типы и назначение. Радиометры  $\beta$ -излучения. Газоразрядные детекторы: металлические цилиндрические счётчики, торцовые счётчики, многонитяные счётчики. Введение поправок на геометрическую эффективность, поглощение в стенке счётчика, самопоглощение в источнике, просчёты из-за наложения импульсов. Сцинтилляционные радиометры: выбор сцинтиллятора, его толщина.

#### Лекция 3 и 4

Радиометры  $\alpha$ -излучения. Сцинтилляционные радиометры с дисперсным сцинтиллятором. Пропорциональные проточные счётчики для определения активности сухих проб. Полупроводниковые детекторы в радиометрии  $\alpha$ -излучения. Введение поправок на поглощение в окне, самопоглощение в источнике. Зависимость спектра от толщины источника.

#### Лекция 5

Радиометры тепловых нейтронов. Радиометры с дисперсными сцинтилляторами, пропорциональными и коронными счётчиками. Метод определения чувствительности детекторов.

#### Лекция 6

Радиометры быстрых нейтронов. Сцинтилляционные радиометры с дисперсным сцинтиллятором. Радиометры-спектрометры с органическим сцинтиллятором и разделением сигналов от электронов и протонов по форме импульсов.

#### Лекция 7

"Всеволновые" радиометры нейтронов с использованием замедлителя. Дозиметры амбиентной дозы нейтронов с замедлителями. Использование детекторов нейтронов для определения герметичности ТВЭЛ'ов.

Лекция 8 Спектрометры (счётчики) излучения человека – СИЧ. Типы СИЧ для определения содержания  $\gamma$ -излучающих нуклидов. Определение содержания  $^{90}\text{Sr}$ – $^{90}\text{Y}$  в скелете человека. Проблема определения  $^{239}\text{Pu}$  в теле человека.

#### Лекция 9

Радиометры газо и аэрозолей. Используемые аэрозольные фильтры, определение осаждённой активности. Применение импакторов. Радиометры газов. Градуировка радиометров.

#### Лекция 10

Радиометры жидкостей погружного типа. Радиометры теплоносителя, определение негерметичности ТВЭЛ и протечек во второй контур.

#### Лекция 11 – 12

Объединение детекторов в систему радиационно-технологического контроля (РТК), радиационного дозиметрического контроля (РДК), радиационного контроля окружающей среды (РКОС). Накопление и первоначальная обработка измерительной информации в устройствах детектирования. Архитектура систем.

### Лекции 13 – 14

Передача информации к устройствам накопления и отображения информации. Применение контроллеров и компьютеров. Программное обеспечение. Передача информации в кризисные центры.

### Лекция 15

Обсуждение рефератов, подготовленных студентами.

### Лекция 16

Посещение кризисного центра.

### ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ (9 семестр)

1.  $\alpha$ -радиометр с дисперсным сцинтиллятором.
2.  $\alpha$ -радиометр-спектрометр с кремниевым ППД.
3.  $\beta$ -радиометр. Установка малого фона
4.  $\gamma$ -спектрометр для измерения активности проб..
5. Радиометр тепловых нейтронов и радиометр быстрых нейтронов.
6. "Всеволновой" радиометр и дозиметр амбиентного эквивалента доз.
7. Имитатор системы дозиметрического контроля.
8. Деловая игра.
9. Деловая игра.

### КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Оценка неудовлетворительно ставится, если студент не смог продемонстрировать ключевые знания и навыки по данной дисциплине.

Оценка удовлетворительно ставится, если студент продемонстрировал ключевые знания и навыки, но не смог продемонстрировать углублённое понимание взаимосвязей между основными понятиями по данной дисциплине, что может выражаться в неуверенном ответе на вопросы преподавателя.

Оценка хорошо ставится, если студент продемонстрировал ключевые знания и навыки, продемонстрировал углублённое понимание взаимосвязей между основными понятиями по данной дисциплине, что может выражаться в уверенных ответах на вопросы преподавателя, но не смог сразу разъяснить особенности связей блоков детектирования, блоков обработки и отображения информации, сопряжения приборов в дозиметрические системы.

Оценка очень хорошо ставится, если студент продемонстрировал ключевые знания и навыки, продемонстрировал углублённое понимание взаимосвязей между основными понятиями по данной дисциплине, смог разъяснить особенности связей между блоками детектирования, обработки сигналов, отображения информации, блоков обработки и отображения информации, но не мог чётко объяснить принципы и способы создания дозиметрических систем.

Оценка отлично ставится, если студент продемонстрировал ключевые знания и навыки, продемонстрировал углублённое понимание взаимосвязей между основными понятиями и смог разъяснить особенности связей между изучаемыми в данной дисциплине блоками детектирования, блоками обработки сигналов, блоками отображения информации, и сопряжения приборов в системы контроля радиационной безопасности, что может выражаться в уверенных ответах на вопросы преподавателя.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) основная литература: \_\_\_\_\_

1. Ядерное приборостроение. (Авт.: Л.С. Горн, В.А.Климанов, В.В. Матвеев и др.). Т. 1, т. 2, т. 3- М. 2005.

2. Крамер-Агеев Е.А., Трошин В.С. Инструментальные методы радиационной безопасности. М.: МИФИ, 2011.

б) дополнительная литература: \_\_\_\_\_

1. Брискман Б.А., Генералова В.В., Крамер-Агеев Е.А., Трошин В.С. Внутрореакторная дозиметрия. Практическое руководство.- М.: 1985.

2. Крамер-Агеев Е.А., Лавренчик В.Н., Самосадный В.Т., Протасов В.П. Экспериментальные методы нейтронных исследований. – М.: 1900.

3. Кутьков В.А., Ткаченко В.В., Романцов В.П. Радиационная защита персонала атомной отрасли. – М.: 2011.

4. Колин А. Введение в операционные системы. Пер. с англ. – М.: 1982.

### 11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Ограниченное число студентов позволяет проводить занятия с активным вовлечением слушателей в познавательный процесс, совмещая лекции с элементами практических занятий и семинаров.

Данный курс базируется на знаниях, полученных студентами в предшествующих дисциплинах: «Дозиметрия ионизирующих излучений», «Общая электротехника и электроника», «Экспериментальная ядерная физика».

Курс начинается с ознакомления системы передачи единиц от Государственного Эталона рабочим средствам измерения. Следует обратить внимание на возрастающую неопределённость измеряемой величины по мере удаления от Государственного Эталона. Среди общих требований, предъявляемых к дозиметрам и радиометрам, необходимо обратить внимание студентов на термин показатели качества, фактически это характеристика устройств. Среди них для освоения курса играют такие показатели, как диапазон и поддиапазоны измерений, диапазон энергий частиц, основные и дополнительные погрешности. Необходимо показать различие в требованиях, предъявляемых к индивидуальным, носимым, переносным приборам. Следует выделить показатели качества индивидуальных дозиметров.

. Необходимо дать в виде рисунка задачи дозиметров и радиометров и показать их место в системе контроля радиационной безопасности.

Каждый студент должен воспринять необходимость разработки избирательных радиометров. Усвоить фундаментальную разницу между измерением тока и потока излучения и вытекающие отсюда требования к толщине детектора.

Необходимо привести примеры регистрации частиц, фотонов при толщине детектора много меньше  $1/\mu$ , или  $R$  и больше чем  $1/\mu$ . или  $R$ , соответственно. Покажите стремление показаний к бесконечности при измерении плотности потока и к  $1/2$  при измерении тока по мере уменьшения расстояния детектор-источник.

Пригласите двух студентов и предложите им нарисовать на доске зависимость мононаправленного потока  $\alpha$ -частиц от глубины проникновения в вещество и зависимость плотности переданной энергии от глубины. Упомяните об узком энергетическом диапазоне испускаемых радионуклидами  $\alpha$ -частиц.

Студент должен представлять особенности распространения  $\alpha$ -частиц в веществе, уровень линейной передачи энергии (ЛПЭ), масштаб пробега  $\alpha$ -частиц, реализацию этих свойств при разработке блоков детектирования избирательных радиометров. Начать рассмотрение  $\alpha$ -радиометров следует с распространенных во всем мире приборов с дисперсным сцинтиллятором. Покажите при простейшей оценке разницу в поглощенных энергиях при взаимодействии  $\alpha$ -частиц и электронов.

Затем следует дать описание принципа работы пропорционального счётчика. Нужно показать схему используемых конструкций.

Пригласите студентов высказать их мнение о зависимости коэффициента газового усиления (КГУ) от диаметра нити, напряжения и давления.

Подчеркните нежелательный эффект от проникновения в объём счётчика воздуха и паров воды.

При рассмотрении полупроводниковых детекторов пригласите кого-либо из студентов объяснить принцип работы. Дайте краткое напоминание о структуре детектора, зависимости ширины перехода от напряжения. Студент должен понять, почему в полупроводниковых (ППД) радиометрах обязательно используют зарядочувствительный усилитель.

Дайте зависимость поправок от толщины окна детектора для тонкого и толстого источников. Приведите рисунок, как меняется  $\alpha$ -спектр от толщины источника.

При изучении раздела о  $\beta$ -радиометрах необходимо вспомнить о типичных спектрах электронов и позитронов, их прохождении через вещество, что необходимо при введении поправок на поглощение  $\beta$ -излучения в окне или стенках детектора. Знать ответ на вопрос, почему предпочитают органические кристаллы в блоках детектирования и как подбирать толщину сцинтиллятора. При исследованиях загрязнённости воды, продуктов питания и т.п. уровни активности бывают малы, и фон служит серьёзной помехой, каковы природные методы уменьшения вклада фона.

Дайте структурную схему установок малого фона и самого чувствительного в мире радиометра РБК-4 ем, использующего метод совпадений. Остановитесь на проблеме измерения трития; опишите схему радиометров для регистрации активности проб с тритием.

Рассмотрев радиометры  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучения, следует перейти к радиометрам газов и аэрозолей. Нарисуйте схеме радиометра газов с волоконным фильтром для осаждения аэрозолей. Остановитесь на проблеме градуировки газоразрядного счётчика в объёмной трубе.

При описании радиометров жидкостей, включая воду, кратко опишите погружные детекторы.

Обычно нет необходимости в использовании  $\gamma$ -радиометров, а применяют обычно  $\gamma$ -дозиметры. Студент должен вспомнить, что такое поглощенная доза и керма, каковы требования к приближительному экспериментальному определению кермы.

Пригласите студентов объяснить, что такое эквивалентная доза и эквивалент дозы, операционные величины. Напомните, за каким экраном следует измерять поглощенную дозу.

Необходимо показать, как выбрать объём и напряжение ионизационного дозиметра, представить энергетическую зависимость показаний дозиметра при разных толщинах стенки камеры.

При рассмотрении сцинтилляционных дозиметров необходимо объяснить, какой сцинтиллятор предпочтителен, как выбрать диапазон прикладываемого напряжения и как оценить анодный ток.

Термолюминесцентные детекторы нашли повсеместное применение для индивидуальной дозиметрии. Объясните, каковы способы считывания информации, как улучшить дозовую ЭЗЧ дозиметров, подчеркните – набор детекторов и пульт единое целое.

Студент должен иметь представление о радиофотOLUMИНЕСЦЕНТНЫХ дозиметрах, способе считывания информации, методах поддержания стабильности аппаратуры.

Приведите рисунок, показывающий спектр поглощения фотонов света для облученного и необлученного детекторов и, соответственно, спектры эмиссии света. Для стабилизации чувствительности установки применяют периодическую в процессе считывания показаний партии детекторов либо установку стекла с окислами марганца, либо светового сигнала от источника стабильного свечения.

При изучении дозиметров с газоразрядными счётчиками студент должен понять, почему возможно измерение дозы или мощности дозы, когда сигнал не зависит от энергии фотонов (и сорта частиц), каковы пути улучшения дозовой ЭЗЧ.

Покажите, что для детекторов, имеющих избыточную чувствительность к фотонам малой энергии, используют перфорированные экраны из кадмия, олова. Требуется понимание зависимости скорости счёта от мощности дозы.

Нейтронное излучение характеризуется протяженным энергетическим спектром от миллиэлектронвольт до десятков МэВ.

В радиационной безопасности повсеместно применяют радиометры быстрых нейтронов на основе дисперсного комбинированного сцинтиллятора и необходимо представлять его ЭЗЧ и возможность её интерпретации пороговой функцией. Для детектирования тепловых нейтронов используют дисперсные, насыщенные бором сцинтилляторы или коронные борные счётчики, а иногда наполненные  $^3\text{He}$  счётчики.

Студент должен понимать, какие возможности открывает метод предварительного замедления нейтронов во «всеголовных» счётчиках и дозиметрах.

Часть курса посвящена изучению радиометров-спектрометров.

В первую очередь, необходимо показать возможности, принцип работы и назначение сцинтилляционных, полупроводниковых спектрометров. Объяснить, что такое приборная форма линии, как связана ширина пика на полувысоте с дисперсией. Необходимо увязать методы обработки приборных спектров с решением интегральных уравнений. Необходимо представлять зависимость эффективности, формы линии и разрешения от объёма сцинтиллятора. Студент должен представлять достоинства и недостатки полупроводниковых и сцинтилляционных спектрометров.

Для  $\alpha$ -спектрометрии обычно используют кремниевые полупроводниковые детекторы. Напомните студентам о зависимости спектра эмиссии из проб от толщины. Покажите зависимость формы импульса от ширины перехода.

Особое внимание уделите системам и сетям радиационного контроля, сбору и передаче информации.



Автор(ы):

Крамер-Агеев Евгений Александрович, д.ф.-м.н.,  
профессор