

Учреждение образования
«Международный государственный экологический институт
имени А.Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета



**ПРИКЛАДНАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ И РАДИАЦИОННАЯ
МЕТРОЛОГИЯ**

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

1-100 01 01 Ядерная и радиационная безопасность

2025 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1-100 01 01-2021 от 25.04.2022 и учебного плана учреждения образования для специальности 1-100 01 01 Ядерная и радиационная безопасность Рег.№134-21/уч. от 25.06.2021

СОСТАВИТЕЛИ:

О.М. Хаджинова, старший преподаватель кафедры ядерных и медицинских технологий Учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета;

Т.В. Дашкевич, старший преподаватель кафедры ядерных и медицинских технологий Учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета;

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

А.Г. Трифонов, заведующий лабораторией энергетического планирования, разработок технических нормативных актов, экспертного анализа материалов и научно-организационного обеспечения государственной программы ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» НАН Беларуси, доктор физико-математических наук, доцент;

В.А. Михайлов, старший научный сотрудник лаборатории радиационной безопасности Научно-исследовательского учреждения «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета;

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой ядерных и медицинских технологий «Международного государственного экологического института им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета
(протокол № 11 от 20.06.2025 г.);

Научно-методическим советом учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета
(протокол № 9 от 25.06.2025 г.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цель учебной дисциплины – ознакомление студентов с методами исследований основных метрологических характеристик приборов, предназначенных для измерений физических величин источников ионизирующего излучения, а также с перспективными методами и средствами прикладной спектрометрии.

Задачи учебной дисциплины:

- сформировать навыки обработки данных результатов спектрометрических измерений при помощи современных технических средств и программного обеспечения;
- сформировать представление о принципах и методах определения метрологических характеристик оборудования, предназначенного для регистрации ионизирующих излучений;
- совершенствовать навыки практического выполнения дозиметрических, радиометрических и спектрометрических измерений в прикладных задачах.

В данной дисциплине даются теоретические и практические основы профессиональных знаний, необходимые будущим специалистам в области прикладных спектрометрических измерений и метрологического обеспечения измерений параметров ионизирующих излучений (ИИ).

Для усвоения данной дисциплины необходимо изучение следующих дисциплин «Физика ядра и ионизирующего излучения», «Измерение характеристик ионизирующего излучения», «Дозиметрия».

В результате усвоения учебной дисциплины студент должен **знать**:

- основные классы приборов, предназначенных для регистрации ИИ и их метрологические характеристики;
- основные нормативные документы, регламентирующие метрологические характеристики средств измерения ИИ;
- принципы и методы определения метрологических характеристик;
- основные области и условия применения спектрометров ионизирующего излучения;
- основные методы обработки спектров;
- состав, структуру, особенности установки и основные функции программного обеспечения для спектрометрического анализа;
- методы спектрометрического анализа радиоактивных образцов в ядерном топливном цикле;
- методы проведения контроля активности и нуклидного состава радиоактивных отходов;
- методы контроля герметичности оболочек тепловыделяющих элементов;

уметь:

- выбирать оптимальные условия измерений;

- выявлять нарушения и неисправности в работе спектрометрического оборудования;
- применять программное обеспечение для спектрометрического анализа и оценки метрологических характеристик спектрометров;
- использовать основные подходы для проведения метрологический оценки в области измерений ИИ;
- проводить оценку неопределенности измерений;

иметь навык:

- пользоваться методами метрологической оценки;
- оценки и учета погрешностей, возникающих при регистрации ИИ;
- проведения измерений и обработки спектрометрической информации при помощи специализированного программного обеспечения.

Воспитательное значение учебной дисциплины «Прикладная спектрометрия и радиационная метрология» заключается в развитии у студентов исследовательских умений, креативности, творческой инициативы, ответственности и организованности. Изучение данной учебной дисциплины способствует созданию условий для формирования личности которой присущи стремление к профессиональному совершенствованию, патриотизм, готовность к активному участию в экономической, производственной и социально-культурной жизни страны.

В ходе изучения учебной дисциплины студент должен освоить следующие специализированные **компетенции**:

- планировать и проводить измерения радиационных параметров в различных условиях эксплуатации, выполнять проверку работоспособности приборов и измерительных систем, обрабатывать и регистрировать результаты дозиметрических, радиометрических и спектрометрических измерений, осуществлять подготовку приборов и оборудования к проведению метрологических испытаний.

Для организации самостоятельной работы студентов по дисциплине следует использовать информационные технологии, разместить в свободном доступе комплекс учебных и учебно-методических материалов (программа, методические указания к лабораторным занятиям, список рекомендуемой литературы, электронные пособия и учебники и др.).

Программа рассчитана на 108 часов, из которых 68 часов отводится на аудиторные занятия. На лекции отводится 34 часов, на семинарские занятия – 10 часов, на лабораторные занятия – 24 ч.

Форма промежуточной аттестации – экзамен в 9-м семестре.

Форма получения высшего образования – очная (дневная).

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Современные методы и приборы для спектрометрических измерений

Анализ разработок и применения современных приборов и программно-аппаратных комплексов для решения различных задач в спектрометрии. Перспективные детекторы и приборы отечественного и зарубежного производства. Формирование аппаратурного парка лаборатории. Аккредитация спектрометрической и радиометрической лаборатории.

Тема 2. Программное обеспечение для анализа аппаратурных спектров

Виртуальная спектрометрическая лаборатория GammaLab. Семейство программного обеспечения SpectraLine. Классификация и отличия семейства SpectraLine. Плагины для решения специальных задач. Настройки конфигурации спектрометра.

Тема 3. Спектрометрический анализ

Построение калибровок по энергии, эффективности и полуширине пика. Идентификация и расчёт активности радионуклидов в сложных спектрах. Использование расчетных методов для вычисления эффективности регистрации сложных объектов с помощью специализированных программ. Прецизионные измерения. Учет просчетов при больших загрузках. Учет эффектов «истинного» суммирования». Учет эффектов случайного суммирования.

Тема 4. Методы контроля герметичности оболочек тепловыделяющих элементов

Выбор реперных радионуклидов с учетом их ядерно-физических характеристик. Стенд контроля герметичности оболочек тепловыделяющих элементов. Инициирование выхода радионуклидов и обнаружение отработавших тепловыделяющих сборок.

Отбор проб теплоносителя на работающем реакторе с последующим исследованием радионуклидного состава.

Основы погружной спектрометрии. Проведение спектрометрических измерений в воде. Особенности обработки спектров погружного спектрометра.

Тема 5. Спектрометрические методы характеризации и паспортизации радиоактивных отходов

Методы разрушающего и неразрушающего контроля. Система характеризации радиоактивных отходов (РАО) на предприятии. Установки паспортизации РАО и специализированное программное обеспечение.

Упаковки РАО различной конфигурации. Процесс паспортизации, идентификация и измерение активности радионуклидов в упаковках РАО различной конфигурации. Радионуклидный вектор.

Тема 6. Общие вопросы метрологии

Роль метрологии в науке и технике. Проблемы и задачи метрологии. Основные понятия и определения. Сущность и основные характеристики измерений. Классификация методов и средств измерений. Основные характеристики средств измерений. Нормирование метрологических характеристик измерительных устройств.

Погрешность и неопределенность. Планирование радиометрических измерений и анализ результатов. Оценка неопределенностей результатов радиометрических и спектрометрических измерений.

Тема 7. Метрологическое обеспечение измерений. Метрология ионизирующих излучений в Республике Беларусь

Государственная система обеспечения единства измерений. Передача размера единиц физических величин от эталонов к образцовым и рабочим средствам измерений. Метрологическая аттестация и поверка средств измерений. Проверочные схемы. Методика выполнения измерений. Современное состояние и перспективы развития метрологии ионизирующих излучений в Республике Беларусь.

Тема 8. Метрология радионуклидов. Метрологическое обеспечение спектрометрии ионизирующих излучений

Методы измерения активности нуклидов. Основные типы радиометров и их характеристики. Обеспечение единства и качества радиометрических измерений. Эталоны и проверочные схемы, образцовые источники и стандартные образцы активности.

Метрологические характеристики спектрометров ионизирующих излучений. Особенности метрологического обеспечения α -, β - и γ -спектрометрических измерений. Образцовые спектрометрические источники ионизирующих излучений. Методики спектрометрических измерений.

Тема 9. Метрология дозиметрических измерений

Дозиметрические единицы и приборы. Основные метрологические характеристики дозиметрических приборов. Эталоны единиц дозиметрических величин. Пути повышения качества и обеспечения единства дозиметрических измерений.

Калибровка индивидуальных дозиметров. Калибровка приборов для контроля радиационной обстановки. Дозиметрическая линейка, фантомы. Проверка дозиметров. Оценка неопределенностей результата дозиметрических измерений.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
 (для очной (дневной) формы получения высшего образования)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1.	Современные методы и приборы для спектрометрических измерений	2						1,4
2.	Программное обеспечение для анализа аппаратурных спектров	4						1,4
3.	Спектрометрический анализ	4		2	12			1-4
4.	Методы контроля герметичности оболочек тепловыделяющих элементов	4		2				1,2,4
5.	Паспортизация радиоактивных отходов	4		2				1,2,4
6.	Общие вопросы метрологии	4						1,2,4
7.	Метрологическое обеспечение измерений. Метрология ионизирующих излучений в Республике Беларусь	4		2				1,2,4
8.	Метрология радионуклидов. Метрологическое обеспечение спектрометрии ионизирующих излучений	4		2	8			1-4

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
9.	Метрология дозиметрических измерений	4			4			1-4
	ИТОГО	34		10	24			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рекомендуемая литература

Основная

1. Метрология. Теория измерений [Текст] : учеб. пособие для вузов / В.К. Жуков. - М. : Юрайт, 2020. - 414 с.
2. Горленко, О. А. Статистические методы в управлении качеством : учебник и практикум для вузов / О. А. Горленко, Н. М. Борбаць ; под ред. О. А. Горленко. – Москва : Юрайт, 2023. – 306 с.
3. Будыка, А. К. Спектрометрия ионизирующих излучений. Гамма-спектрометрия : учеб. пособие для студентов высших учебных заведений / А. К. Будыка ; Мин-во науки и высш. образования РФ, Нац. исследовательский ядерный университет «МИФИ». – Москва : НИЯУ МИФИ, 2021. – 224 с.

Дополнительная

4. Болоздыня, А.И. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы и применение: учебное пособие/ А.И. Болоздыня, И.М. Ободовский. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012. – 208 с.
5. Гамма-бета-спектрометры МКС-АТ1315 / Руководство по эксплуатации. – Минск, 2020.
6. Методы контроля герметичности оболочек тепловыделяющих элементов. Сборки тепловыделяющие ядерных энергетических реакторов типа ВВЭР : ГОСТ 28506-90. – Москва : ФГУП «Стандартинформ», 2006. – 8 с.
7. Определение радиационных характеристик для передачи на захоронение. Радиоактивные отходы атомных станций : ГОСТ Р 59968-2021. – Москва : АО «ВНИИАЭС», 2022. – 40 с.
8. Рекомендации по применению метода радионуклидных соотношений для определения содержания сложнодетектируемых радионуклидов в радиоактивных отходах предприятий ядерного топливного цикла. Руководство по безопасности : РБ-154-19-2019. – Москва, 2019. – 25 с.
9. Лаборатория спектрометрии и дозиметрии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lsrm.ru/> – Дата доступа: 23.05.2025.
10. Дозиметрия ионизирующих излучений : учеб. пособие / Климанов В. А. [и др.] ; под ред. В. А. Климанова ; Мин-во образования и науки РФ, Нац. исслед. ядерный ун-т «МИФИ». - Москва : НИЯУ МИФИ, 2021. - 740 с.
11. Климанов, В. А. Радиационная дозиметрия : монография / Климанов В. А. [и др.] ; под ред. В. А. Климанова ; Мин-во образования и науки РФ, Нац. исслед. ядерный ун-т "МИФИ". – Москва : НИЯУ МИФИ, 2021. – 648 с.

12.Брегадзе, Ю. И. Прикладная метрология ионизирующих излучений / Ю. И. Брегадзе, Э. К. Степанов, В. П. Ярына. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

Формы контроля знаний

№ п / п	Форма
1.	Устный опрос на лекциях
2.	Фронтальная письменная проверка
3.	Защита отчетов по лабораторным работам
4.	Экзамен по дисциплине

Иновационные методы и подходы к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется практико-ориентированный подход, который предполагает освоение содержания образования через решения практических задач; метод учебной дискуссии, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения; метод анализа конкретных ситуаций, а также метод проектного обучения.

Примерный перечень тем семинарских занятий

Тема 3. Идентификация и расчёт активности радионуклидов в сложных спектрах на примере изотопов урана и плутония.

Тема 4. Измерение утечки из негерметичных тепловыделяющих элементов реперных радионуклидов I-131, Cs-134, Cs-137 в процессе испытаний в специальном стенде.

Тема 5. Определение изотопного состава и активности источников спектрометрическим методом.

Тема 7. Метрология ионизирующих излучений в Республике Беларусь. Республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный институт метрологии» (БелГИМ). Испытательный центр и лаборатории БелГИМ.

Тема 8. Обеспечение единства измерений. Национальная эталонная база Республики Беларусь. Эталоны и поверочные схемы.

Примерный перечень тем лабораторных занятий

1. **Тема 2.** Характеризация детектора и расчет эффективности регистрации в специализированных программах.

2. **Тема 2.** Формирование библиотек радионуклидов для анализа с применением современных программных средств.
3. **Тема 2.** Определение изотопного состава и активности радионуклидов спектрометрическим методом с применением современных программных средств. Анализ сложных спектров.
4. **Тема 2.** Контроль герметичности оболочек тепловыделяющих элементов спектрометрическим методом.
5. **Тема 2.** Гамма-спектрометрический метод контроля радиоактивных отходов.
6. **Тема 8.** Метрологическое обеспечение спектрометрии ионизирующих излучений. Проверка спектрометра.
7. **Тема 8.** Метрологическое обеспечение спектрометрии ионизирующих излучений. Стабильность фоновых характеристик при спектрометрических измерениях.
8. **Тема 9.** Метрология дозиметрических измерений. Калибровка СИЧ.
9. **Тема 9.** Метрология дозиметрических измерений. Энергетическая зависимость при измерении мощности амбиентного эквивалента дозы.

Для обеспечения практикоориентированной подготовки будущих специалистов предусмотрено проведение части семинарских занятий и лабораторных работ на базе следующих организаций и предприятий при соответствующем согласовании с их стороны:

- УП АТОМТЕХ;
- Белорусский государственный институт метрологии;
- УП Экорес – Специализированное предприятие по обращению с радиоактивными отходами;

Наименования и виды методических средств

№ п / п	Наименование	Вид
1	Учебно-информационные материалы по теме лекций	Электронный документ
2	Методические указания к лабораторным работам.	Электронный документ
3	Презентации	Электронный документ

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ С ДРУГИМИ
ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Физика ядра и ионизирующего излучения	Ядерных и медицинских технологий	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте Протокол №11 от 20.06.2025 г.
Измерение характеристик ионизирующего излучения	Ядерных и медицинских технологий	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте Протокол №11 от 20.06.2025 г.
Дозиметрия	Ядерных и медицинских технологий	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте Протокол №11 от 20.06.2025 г.

Учебную программу разработали:
старший преподаватель кафедры ядерных и медицинских технологий

_____ О.М. Хаджинова

старший преподаватель кафедры ядерных и медицинских технологий

_____ Т.В. Дашкевич