



ФЭИ
РОСАТОМ

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ -
ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ А.И. ЛЕЙПУНСКОГО»
(АО «ГНЦ РФ - ФЭИ»)

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор



А.А. Лебезов

Н.ед. 2025 г.

ПРОГРАММА повышения квалификации

Применение гамма-спектрометрического оборудования для
неразрушающего контроля ядерных материалов

**Обнинск
2025**



Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ -
ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ А.И. ЛЕЙПУНСКОГО»
(АО «ГНЦ РФ - ФЭИ»)

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор



А.А. Лебезов

14.02. 2025 г.

УЧЕБНЫЙ ПЛАН

Применение гамма-спектрометрического оборудования для
неразрушающего контроля ядерных материалов

Цель обучения: Развитие у работников компетенций решения профессиональных задач по выполнению неразрушающего контроля ядерных материалов с целью их учета и контроля.

*Продолжительность
обучения по программе - 72 часа*

*Режим
очного обучения - 4-8
час/день*

Форма обучения - очно -заочная

№ раз-дела	Наименование разделов, тем	Кол-во часов обучения ¹				Виды и форма контроля ²	
		Вс его	очно		заочно		
			Л	ПЗ	СД О		СР
-	Входной контроль	1		1		Тестирование	
1	УиК ЯМ и основы гамма-спектрометрического неразрушающего анализа для целей УиК ЯМ	22	4			18	Текущий (опрос)

¹ Л - лекции, ПЗ - практические занятия, СР - самостоятельная работа по изучению предоставленного материала, СДО - обучение в системе дистанционного обучения

² Виды контроля - текущий и итоговая аттестация; форма контроля - тестирование, экзамен, зачет и т.д.

3	Контроль качества измерений	10		1		9	Контрольные упражнения
4	Самостоятельные занятия по работе на гамма-спектрометрах высокого и низкого разрешения	3		3			Контрольные упражнения
	Контрольное упражнение - измерения неизвестных образцов	3		3			Итоговая аттестация - контрольное упражнение
	ИТОГО	72	19	17		36	

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ
Применение гамма-спектрометрического оборудования для
неразрушающего контроля ядерных материалов

№ раздела, темы	Профессиональные компетенции, на которые направлено обучение			Код ОТФ/Т Ф ³
	Наименование компетенции	Умения	Знания	
1	Обеспечение в целях УиК ЯМ измерений количественных характеристик ЯМ с заданной точностью		1 Введение в УиК ЯМ 2 Терминология и обзор основных понятий статистики в УиК ЯМ 3 Взаимодействие р/а излучений с веществом. 4 Принципы работы и область применения СИ ЯМ. 5 Требования к составлению и оформлению протоколов измерений	
2	Градуировка СИ, выбор СО и эталонных источников	1 Подготовка СИ к измерениям ЯМ. Включение и конфигурирование выбранного средства измерения. 2 Выбор СО необходимых для выполнения градуировки. 3. градуировка СИ	1 Порядок сборки и настройки СИ. 2 Владение специальным ПО. 3 Характеристики СО, область применимости СО. 4 Порядок градуировки СИ	
3	Градуировка гамма-спектрометрических систем	1 Включение аппаратуры. 2 Уверенная навигация по программному обеспечению В.К.-ФЭИ <vicgoryunov@obninsk.ru> спечению для измерений и анализа ЯМ. 3 Проверка энергетического диапазона регистрируемого гамма-излучения-Горюнов В.К.-ФЭИ <vicgoryunov@obninsk.ru>	1 Выбор оснастки (боковая защита блока детектирования и коллиматор). 2 Организация рабочего места для выполнения градуировок. 3 Расположение образцов 4 Подбор фильтров (когда необходимо)	

³ Графа заполняется при наличии утвержденного профессионального стандарта (ПС).

		<p>4 Определение диапазона градуировки для определения характеристики ЯМ.</p> <p>5 Порядок выполнения градуировочных измерений.</p> <p>6 Контроль качества градуировочных измерений</p>	<p>5 Процедура построения градуировочной зависимости и область ее применения.</p>	
4	<p>Выполнение гамма-спектрометрических измерений для УиК ЯМ</p>	<p>1 Включение прибора</p> <p>2 Выбор алгоритма анализа</p> <p>3 Проверка работоспособности прибора и алгоритма анализа</p> <p>4 Выбор градуировочной зависимости</p> <p>5 Выполнение измерений и контроль их качества</p>	<p>1 Аппаратура и МВИ для выполнения гамма-спектрометрических измерений.</p>	

При разработке программы учитывался профессиональный стандарт:

Регистрационный номер ПС	Наименование ПС	Дата введения в действие

УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Применение гамма-спектрометрического оборудования для неразрушающего контроля ядерных материалов

№ раз-дела	Наименование разделов, тем	Кол-во часов обучения ⁴					Виды и форма контроля ⁵
		Вс его	очно		заочно		
			Л	ПЗ	СД О	СР	
-	Входной контроль	1		1			Тестирование
1	УиК ЯМ и основы гамма-спектрометрического неразрушающего анализа для целей УиК ЯМ	22	4			18	Текущий (опрос)
2	Приборы для обнаружения, идентификации и определения параметров ЯМ	33	15	9		9	Текущий (опрос)
2.1	Аппаратура для проведения неразрушающих измерений ЯМ с использованием гамма-излучения	4	4				Текущий (опрос)
2.2	Портативный многоканальный анализатор mMCA-430.	3	3				Текущий (опрос)
2.3.	Процессор импульсных сигналов «КОЛИБРИ»	4	4				Текущий (опрос)
2.4	Идентификация ЯМ при детекторе низкого разрешения	6		6			Контрольные упражнения
2.5	Спектрометрическая станция InSpector-2000 фирмы Canberra для измерения обогащения U-235 в уране и изотопного состава урана и плутония	4	4				Текущий (опрос)
2.6	Измерения спектрометром InSpector-2000 с Ge детектором	3	0	3			Контрольные упражнения
3	Контроль качества измерений	10		1		9	Контрольные упражнения
4	Самостоятельные занятия по работе на гамма-спектрометрах высокого и низкого разрешения	3		3			Контрольные упражнения
Контрольное упражнение - измерения неизвестных образцов		3		3			Итоговая аттестация - контрольное упражнение
ИТОГО		72	19	17		36	

⁴ Л – лекции, ПЗ – практические занятия, СР – самостоятельная работа по изучению предоставленного материала, СДО – обучение в системе дистанционного обучения

⁵ Виды контроля – текущий и итоговая аттестация; форма контроля – тестирование, экзамен, зачет и т.д.

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

Применение гамма-спектрометрического оборудования для неразрушающего контроля ядерных материалов

1 Общая характеристика программы

При разработке программы были учтены законодательные и нормативно-правовые требования, содержащиеся в документах, которые приведены в разделе 5 настоящей учебной программы.

1.1 Требования к слушателям программы

Работники, осуществляющие измерения ядерных материалов в зонах баланса материалов в целях их учета и контроля.

Работники, осуществляющие оперативно-технический учет ядерных материалов в зонах баланса материалов и/или осуществляющие проведение физических инвентаризации ядерных материалов в зонах баланса материалов.

1.2 Характеристика программы в системе ПТЗиН Госкорпорации «Росатом»

В системе производственно-технических знаний и навыков (ПТЗиН) Госкорпорации «Росатом», программа:

Направлена на развитие ПТЗиН	8) Учет и контроль ядерных материалов на ядерных установках
По параметру «Вес» имеет значение	ВЫСОКИЙ

1.3 Характеристика программы в системе обучения Госкорпорации «Росатом»

Значение приоритета обучения	ОБЯЗАТЕЛЬНОЕ
Сертификат, подтверждающий уровень развития ПТЗиН и/или квалификации	Тип сертификата: Учет и контроль ядерных материалов. Подтип сертификата: Применение гамма-спектрометрического оборудования для неразрушающего контроля ядерных материалов. Периодичность подготовки и повышения квалификации: при вступлении в должность; не реже одного раза в 3 года; в случае изменения должности (повышение, либо ротация).
Нормативные ссылки (для «обязательного» обучения)	1)НП-030-19 (п.121); 2)Приказ Госкорпорации «Росатом» от 2024 № 1/98-П «О совершенствовании системы подготовки и дополнительного профессионального образования работников организаций Госкорпорации «Росатом» в области УиК ЯМ ...»

2 Содержание программы

№ раз-дела, темы	Наименование раздела, темы	Краткое содержание
-	Входной контроль	ПЗ. – 1 час.
1	УиК ЯМ и основы гамма-спектрометрического анализа для целей УиК ЯМ	<p>Л. – 2 час. Требования, критерии и процедуры УиК ЯМ, установленные в нормативных и правовых, руководящих, организационно-распорядительных, методических документах. Основные правила учета и контроля ядерных материалов НП-030. Основные требования физической защиты ядерных материалов. Структура системы УиК ЯМ в организации и требования к ее элементам в соответствии с "Положением по УиК ЯМ в организации и в ЗБМ". Основные требования к компьютеризации УиК ЯМ. Характеристики и способы обнаружения признаков аномалий и нарушений в УиК ЯМ. Требования к обеспечению сохранности информации по УиК ЯМ, установленные в организации. Общие требования по ядерной безопасности. Порядок допуска персонала к обращению с ЯМ, в помещения, где находятся ЯМ. Требования к ведению и формы учетных и отчетных документов.</p> <p>Л. – 2 час. Цели проведения неразрушающих измерений ЯМ. Физические процессы, лежащие в основе методов неразрушающего контроля ядерных материалов по гамма-излучению. Основные характеристики ядерных материалов, измеряемых с помощью спектрометрических неразрушающих методов. Виды измерений в СГУиК ЯМ. Требования к измерениям. Методы (методики), средства измерений, стандартные образцы. Погрешности НРА ЯМ при измерении различных характеристик ЯМ. Результаты измерений, влияющие факторы и ошибки персонала. Основы контроля качества измерений.</p>
2	Приборы для обнаружения, идентификации и определения параметров ЯМ	
2.1	Аппаратура для проведения неразрушающих измерений ЯМ с использованием гамма-излучения	<p>Л. – 3 часа. Аппаратура для проведения неразрушающих измерений ЯМ с использованием гамма-излучения. Анализаторы спектров гамма-излучений. Устройства обработки и преобразования сигналов. Характеристики электронных блоков. Гамма-спектрометрия высокого и низкого разрешения, области применимости. Критерии выбора измерительной аппаратуры для решения конкретной задачи контроля. Программное обеспечение для измерений и анализа результатов измерений с использованием методов гамма-спектрометрии. Методы учета мертвого времени. Алгоритмы измерения обогащения урана и методы изотопных отношений для измерения изотопного состава урана и плутония (программы MGA MGAU). Факторы, оказывающие влияние на точность гамма-спектрометрических измерений. Контроль качества гамма-спектрометрических измерений. Легитимность измерений. Необходимость использования аттестованных МИ при</p>

		проведении измерений и контроле их качества.
2.2	Портативный многоканальный анализатор mMCA-430.	Л. – 3 час. Назначение, Технические характеристики. Состав прибора, техническое описание, особенности. Управления прибором при подготовке и проведении измерений. Подготовка прибора к работе. Методика и порядок проведения измерений. Техническое обслуживание.
2.3.	Процессор импульсных сигналов «КОЛИБРИ»	Л. – 4 час. Назначение. Работа с внутренней программой (главное меню, линейная энергетическая градуировка, градуировка обогащения, обработка измеренных спектров, измерение обогащения урана в ядерных материалах, набор спектра, архив, редактор текстов, соединение с персональным компьютером). Порядок работы с программой.
2.4	Идентификация ЯМ при детекторе низкого разрешения	ПЗ.- 6 час. Идентификация ядерных материалов при помощи гамма-спектрометра с детектором низкого разрешения.
2.5	Спектрометрическая станция InSpector-2000 фирмы Canberra для измерения обогащения U-235 в уране и изотопного состава урана и плутония	Л. – 4 час. Назначение. Технические характеристики системы. Состав спектрометрической станции. Сборка гамма-спектрометрической станции. Методология проведения измерений (изотопного состава, обогащения 235U). Программное обеспечение гамма-спектрометра U-Pu InSpector для определения изотопного состава урана и плутония. Программное обеспечение гамма-спектрометра U-Pu InSpector для определения массового содержания 235U в уране.
2.6	Измерения спектрометром InSpector-2000 с Ge детектором	ПЗ. - 3 час. Измерение изотопного состава урана и плутония гамма-спектрометром InSpector-2000 с Ge детектором.
3	Контроль качества измерений	ПЗ. – 4 час. Обеспечение контроля качества измерений. Методы проверки: энергетического разрешения детектора, положения центра фотопика, уровня фона, температуры детектора.
4	Самостоятельные занятия по работе на гамма-спектрометрах высокого и низкого разрешения	ПЗ. – 3 час. Идентификация ядерных материалов при помощи гамма-спектрометра с детектором низкого разрешения. Измерение изотопного состава урана и плутония гамма-спектрометром InSpector-2000 с Ge детектором.
	Итоговая аттестация - контрольное упражнение	ПЗ. - 3 часа. Измерение «неизвестных» образцов.

3 Контроль качества освоения программы

Контрольные вопросы для выпускных экзаменов по курсу

Для выпускных экзаменов тестовые вопросы разработаны с учетом требований пунктов Правил НП-030 и других нормативных документов. Тестовые вопросы по темам курса введены в программу ЭКЗАМЕНАТОР. Программа генерирует для всех слушателей неповторяющиеся экзаменационные билеты из заданного числа вопросов с тремя случайно размещенными ответами, в каждом из трех ответов – один правильный и два правдоподобных.

Обучающиеся усвоят информацию и навыки, содержащиеся в темах модулей в такой степени, чтобы быть в состоянии выполнять функции, перечисленные в функциональных обязанностях.

Обучающиеся пройдут тестовые вопросы и анализ выполнения контрольных упражнений. Выходной тест включает самостоятельные измерения параметров «неизвестных» образцов ЯМ, и тестовые вопросы в конце обучения с результатом не менее 70% правильных ответов за 90 минут (2 академических часа) тестирования.

4 Условия реализации программы

Очная часть обучения по программе предусматривает проведение лекционных и практических занятий в учебных помещениях.

Для практических упражнений организуются рабочие места в пом. 124 зд. 169-а, оснащенные приборами, образцами ядерных материалов и ЗРИ для выполнения измерений.

Учебные материалы курса издаются в виде брошюры: «Применение гамма-спектрометрического оборудования для неразрушающего контроля ядерных материалов». Методические материалы курса / Учебно-методический центр по учету и контролю ядерных материалов (УМЦУК). АО ГНЦ РФ-ФЭИ. – Обнинск.

Заочная часть обучения включает предварительную подготовку с использованием следующих материалов:

1. Мультимедийный курс "Введение в учет и контроль материалов".
2. Нормативные документы по УиК ЯМ:
 - Терминологический словарь "Учет, контроль и физическая защита ядерных материалов". Москва, СКЦ ГК «Росатом», 2011.
 - Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Основные правила учета и контроля ядерных материалов. НП-030-19.

5 Законодательные и нормативные акты

1. Федеральный Закон Российской Федерации от 21 ноября 1995 года № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» (с изменения и дополнениями).
2. Федеральный Закон Российской Федерации от 1 декабря 2007 года № 317-ФЗ «О Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом».
3. Федеральный закон Российской Федерации от 26 июня 2008 года № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (с изменения и дополнениями от 2011).

4. Федеральный закон Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ «Трудовой кодекс Российской Федерации»;
5. Постановление Минтруда России от 31.12.2002 № 85 «Об утверждении перечней должностей и работ, замещаемых или выполняемых работниками, с которыми работодатель может заключать письменные договоры о полной индивидуальной или коллективной (бригадной) материальной ответственности, а также типовых форм договоров о полной материальной ответственности».
6. «Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях» от 30.12.2001 № 195-ФЗ (редакция от 30.12.2015, с изм. от 17.02.2016) (с изм. и доп., вступ. в силу с 15.01.2016).
7. Административный регламент исполнения Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору государственной функции по лицензированию деятельности в области использования атомной энергии. Приложение к приказу Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 07.10.2014 № 453.
8. Положение о системе государственного учета и контроля ядерных материалов. Одобрено Постановлением Правительства РФ от 06 мая 2008 г. № 352.
9. НП-030-19 «Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Основные правила учета и контроля ядерных материалов». 2019 г.
10. НП-072-23 «Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Порядок перевода ядерных материалов в категорию радиоактивных веществ или радиоактивных отходов». 2023 г.
11. НП-067-16 «Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Основные правила учета и контроля ЯМ, РВ и РАО в организации». 2016 г.
12. О реализации мероприятий по подготовке и повышению квалификации персонала организаций Госкорпорации «Росатом» в области учета, контроля и физической защиты ядерных материалов. Приказ генерального директора Госкорпорации «Росатом» от 20 апреля 2009 № 248, с изменением «Перечня категорий специалистов, подлежащих обучению в области УиК ЯМ» по Приказу № 1/98-П от 23.01.2024.
13. ГОСТ Р 8.932-2022 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Требования к методикам (методам) измерений в области использования атомной энергии. Основные положения
14. ГОСТ Р 8.609-2018 Государственная система обеспечения единства измерений. Стандартные образцы системы государственного учета и контроля ядерных материалов. Основные положения, Госстандарт России, 2018 г.
15. ГОСТ Р 8.984-2019 ГСИ. Внутренний контроль качества измерений в области ИАЭ.
16. ГОСТ Р 8.703-2020 «Учет и контроль ядерных материалов. Система измерений. Основные положения».
17. ГОСТ 31282-2021. Устройства пломбировочные. Классификация.
18. ГОСТ Р 52525-2019. Устройства пломбировочные. Состав и требования к системам пломбирования.
19. ГОСТ Р 53418-2009. Устройства пломбировочные. Порядок контроля состояния ПУ в процессе эксплуатации.

20. Руководство по выражению неопределенности измерения. Санкт-Петербург, ВНИИМ, 1999. ISO/TAG4, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement," International Standards Organization (June 1992).
21. РМГ 43-2001 Применение "Руководства по выражению неопределенности измерений", Минск, 2001
22. S.Guardini, G.Guzzi, F.Mousti, M.Cyupers (1989), Assessment of Non-Destructive Assay and Characterization of Reference Materials for Safeguards NDA, ESARDA Bulletin, 17: 5-19
23. Томас Сэмпсон, Джорж В. Нельсон и Томас Келли. Программа FRAM для измерения изотопного состава плутония. Nuclear. Materials. Manage.19, 420 (1990).
24. Программа для гамма спектрометрического анализа Genie™ 2000. Copyright 2006, Canberra Industries, Inc.
25. Методы неразрушающего анализа. Методические материалы курса. Учебно-методический центр по учету и контролю ядерных материалов. Обнинск, ГНЦ РФ-ФЭИ, 2002.
26. D. Reilly, N. Ensslin, H. Smith, S. Kreiner. Passive Nondestructive Assay of Nuclear Materials. NUREG/CR-5550 LA-UR-90-732. March 1991.
27. Счетчик нейтронных совпадений JCC-51, Руководство пользователя.
28. Счетчик нейтронных совпадений JCC-31, Руководство пользователя.
29. Bill Harker, Merlyn Krick. Программа INCC, Руководство пользователя.
30. Практическая гамма-спектрометрия. А. Бушуев, Е. Петрова и др. Москва, МИФИ, 2006.

6 Список использованной литературы

1. Терминологический словарь «Учет, контроль и физическая защита ядерных материалов». Москва, СКЦ Росатома (письмо Госкорпорации «Росатом» от 20.12.2011 № 1-4/45594).
2. Статистические методы для контроля качества измерений. Методические материалы курса. Учебно-методический центр по учету и контролю ядерных материалов. Обнинск, ГНЦ РФ-ФЭИ, 2010.
3. Гарантии МАГАТЭ. Руководящие принципы государственных систем учета и контроля ядерных материалов. МАГАТЭ, Вена, 1993г., IAEA/SG/INF/2, ISSN 1014-157X.
4. Культура Безопасности», МАГАТЭ, Серия изданий по безопасности, INSAG-4, 1991.
5. Статистические методы для определения и анализа инвентаризационной разницы. Методические материалы курса. Учебно-методический центр по учету и контролю ядерных материалов. Обнинск, ГНЦ РФ-ФЭИ, 2012.