



ППСР
2025

13-17 октября
📍 Санкт-Петербург

Проблемы прикладной
спектрометрии
и радиометрии

Сборник тезисов
XVII Международного совещания
им. Владимира Николаевича Даниленко



 **RITVERC**
Isotopenprodukte

 **ПОЛИТЕХ**
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

 **АСРМ**

**«Проблемы прикладной спектromетрии и радиометрии»
им. Владимира Николаевича Даниленко**

**Сборник тезисов
XVII международного совещания**

**13 – 17 октября, 2025
Санкт-Петербург**

Организаторы XVII международного совещания

АО «РИТВЕРЦ»

ООО «ЛСРМ»

**Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра
Великого**

Организационный комитет

В.А. Кожемякин, Ю.А. Верхуша	УП «АТОМТЕХ», г. Минск, Беларусь
В.М. Савин, А.В. Прохоров	АО «НПЦ «АСПЕКТ» г. Дубна, Россия
А.А. Екидин	ООО «Агентство экологической безопасности «Альфа-X91», г. Екатеринбург, Россия
Н.Н. Моисеев, С.В. Сэпман	ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» С.-Петербург, Россия
М.В. Ивлиев	АО «ВНИИИМ им. А.А. Бочвара» г. Москва, Россия
С.В. Малиновский, В.Ф. Ельцин	ООО НИПП «ГРИН СТАР ИНСТРУМЕНТС», г. Москва, Россия
К. Нурлыбаев	ООО «НПП «ДОЗА» г. Зеленоград, Россия
А.А. Смирнов, В.С. Хрунов	АО «ИФТП», г. Дубна, Россия
А.А. Трохан	ООО «ЛСРМ» г. Зеленоград, Россия
Р.С. Ахмадиев	ГК «МЕДТЕХАТОМ», г. Казань, Россия
С.К. Васильев	АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» С.-Петербург, Россия
А.Б. Рогозов, И.В. Бурьяненко	АО «РИТВЕРЦ» С.-Петербург, Россия
Р.В. Лукашевич	ООО "МЕДТЕХАТОМ", г. Ташкент, Узбекистан
С.В. Кривашеев	ООО «ЭкоСфера», г. Москва, Россия
В.В. Матонин, В.В. Матонин	ТОО «ЭКОЭКСПЕРТ», г. Караганда, Казахстан

Программа XVII международного совещания «Проблемы прикладной спектromетрии и радиометрии» им. Владимира Николаевича Даниленко

**Понедельник
13.10.2025
Отель Azimut Сити**

- 9:00-14:00 *Регистрация*
- 9:00-9:30 *Кофе-брейк*
- 9:30-10:00 **Открытие XVII международного совещания «Проблемы прикладной спектromетрии и радиометрии» им. Владимира Николаевича Даниленко**
- 10:00-10:30 **Рогозов Андрей Борисович**
«Проблемы импортозамещения в области прикладной спектromетрии и радиометрии»
- 10:30-11:00 **Лобанов Юрий Васильевич**
«Проблемы импортозамещения на примере разработки аналогов линейных ЗРИ для систем контроля уровня расплава»
- 11:00-11:30 **Сэпман Сергей Владимирович**
«Государственный первичный эталон активности ГЭТ 6-2016 основа обеспечения единства спектromетрических и радиометрических измерений. Основные изменения в новой Государственной поверочной схеме ГОСТ 8.033-2023. Создание серийных типов стандартных образцов удельной активности радионуклидов в растворах»
- 11:30-12:00 **Кожемякин Валерий Александрович**
«Новые разработки и планы предприятия в области ядерного приборостроения»
- 12:30-13:30 *Обед*
- 14:00-14:20 **Тараканов Кирилл Олегович**
«Дозиметр-радиометр универсальный поисковый МКС-А07»
- 14:20-14:40 **Малиновский Сергей Владимирович**
«Спектromетрическое программное обеспечение жидкостцинтилляционных комплексов. Обновление»
- 14:40-15:00 **Баев Михаил Николаевич**
«Активный нейтронный метод контроля содержания ядерно-опасных делящихся нуклидов в упаковках неомогенных радиоактивных отходов»

Санкт-Петербург
2025

- 15:00-15:20 **Лайкин Андрей Игоревич**
«Конвейерные нейтронные влагомеры и нейтронные уровнемеры в линейке промышленного оборудования АО "НТЦ "РАТЭК" для добычи и переработки минерального сырья»
- 15:20-15:40 **Пономаренко Андрей Викторович**
«Спектromетрические комплексы производства НИЦ ЛСРМ»
«Комплекс спектromетрический альфа, бета, гамма излучений с индикатором трития»
- 15:40-16:10 *Кофе-брейк*
- 16:10-16:30 **Махнев Игорь Александрович**
«Проблема снижения чувствительности систем радиационного контроля транспортных средств за счет экранирования фона контролируемым грузом»
- 16:30-16:50 **Семерикова Веста Владимировна**
«Влияние примесей природного урана в пробах стройматериалов с радионуклидом Ra-226 на результаты измерений удельной эффективной активности спектromетром МКС-АТ1315»
- 16:50-17:10 **Ковальский Евгений Анатольевич**
«Программное обеспечение ООО "ЛСРМ" для сцинтилляционных спектromетров»
- 17:10-17:30 **Каретников Максим Донатович**
«Измерение отклика гамма-детекторов при облучении 14 МэВ нейтронами»
- 18:00-20:00 *Приветственный фуршет, Зал «Вена-Берлин», 18-й этаж, отель Азимут*

**Вторник
14.10.2025
Отель Azimut Сити**

- 9:30-14:00 *Регистрация*
- 9:30-10:00 *Кофе-брейк*
- 10:10-10:30 **Чуваев Сергей Владимирович**
«О стандартах Технического комитета ТК45В МЭК»
- 10:30-10:50 **Моисеев Николай Николаевич**
«Исследование возможности создания эталонных полей для калибровки гамма-спектрометров в диапазоне энергий от 50 кэВ до 10 МэВ»
- 10:50-11:10 **Лазаренко Сергей Владимирович**
«Оценка неопределенности при измерениях дозиметрических характеристик полей линейных ускорителей электронов»
- 11:10-11:30 **Козуб Валерий Андреевич**
«Комплексный подход к определению характеристик мёссбауэровских источников»
- 11:30-11:50 **Титов Эдуард Александрович**
«Разработка новых типов эталонов и стандартных образцов для применения в области использования атомной энергии»
- 11:50-12:10 **Лукашевич Роман Васильевич**
«Актуальные вопросы метрологического обеспечения радиационного контроля в Узбекистане»
- 12:30-13:30 *Обед*
- 14:00-14:20 **Сеньковский Константин Геннадьевич**
«Опыт разработки, изготовления, поставки и ввода в эксплуатацию поверочных установок и стендов гамма-, бета-, рентгеновского и нейтронного излучений»
- 14:20-14:40 **Прохоров Александр Валериевич**
«Семейство установок паспортизации РАО производства АО «НПЦ «АСПЕКТ»

14:40-15:00 **Пономаренко Андрей Викторович**

«Средства радиационного контроля акваторий и подводных радиационно-опасных объектов»

«Передвижные лаборатории радиационного контроля»

15:00-15:20 **Алексейчук Иван Анатольевич**

«Экспериментальные исследования параметров дозиметра ДКС-АТ1123 в полях импульсного фотонного излучения микросекундного диапазона»

15:20-15:40 **Тележинская Надежда Сергеевна**

«Применение программного обеспечения ООО «ЛСРМ» в образовательном процессе»

15:40-16:10 *Кофе-брейк*

16:10-16:30 **Бабин Владимир Ильич**

«Сцинтилляционные свойства детекторов с добавлением металлоорганических добавок»

16:30-16:50 **Сэпман Сергей Владимирович**

«Измерение удельной активности раствора радионуклида ^{108m}Ag и уточнение квантовых выходов гамма-линий ^{108m}Ag с целью создания спектрометрических источников для калибровки гамма-спектрометров»

16:50-17:10 **Скогорев Иван Анатольевич**

«Проблемы идентификации загрязнений, вызванных отложениями ДПР Радона и Торона в газодобывающих отраслях»

17:10-17:30 **Батяев Вячеслав Феликсович**

«Активный нейтронный метод контроля содержания ядерно-опасных делящихся нуклидов в упаковках неомогенных радиоактивных отходов»

**Среда
15.10.2025
Отель Azimut Сити**

- 9:30-14:00 *Регистрация*
- 9:30-10:00 *Кофе-брейк*
- 10:10-10:30 **Ельцин Владимир Федорович**
«Производство и поставка российских цифровых спектрометрических комплексов для неразрушающего анализа ядерных материалов»
- 10:30-10:50 **Хусаинов Марат Айратович**
«Конвейерная установка измерения массовой доли хлорида калия в линейке промышленного оборудования АО "НТЦ "РАТЭК" для добычи и переработки калийного сырья»
- 10:50-11:10 **Ничипорчук Андрей Олегович**
«Математическое моделирование измерительного канала автоматизированного погружного спектрометра для радиационного in situ мониторинга водных сред»
- 11:10-11:30 **Ковригин Иван Михайлович**
«Влияние дефектов в монокристаллах германия на скорость дрейфа лития»
- 11:30-11:50 **Бредихин Иван Сергеевич**
«Комплекс ПАК-ИИ для поиска и идентификации гамма-излучающих нуклидов на основе машинного обучения»
- 11:50-12:10 **Бредихин Иван Сергеевич**
«Диджитайзеры как основа построения современного научного оборудования»
- 12:10-12:30 **Бухарин Николай Алексеевич**
«Повышение квалификации в области радиационной безопасности в современных условиях: новые вызовы и адаптивные подходы»
- 12:30-13:30 *Обед*
- 14:00-18:00 *Экскурсия*

**Четверг
16.10.2025
Отель Azimut Сити**

- 9:30-10:00 *Кофе-брейк*
- 10:10-10:30 **Вахнина Арина Игоревна**
«Разработка учебного спектрометра гамма-излучения на базе кристалла NaI(Tl) и кремниевого фотоумножителя (SiPM)»
- 10:30-10:50 **Чуваев Сергей Владимирович**
«Детектор смешанного излучения АСРКБ1У.06»
- 10:50-11:10 **Загороднюк Алексей Александрович**
«Расчет и применение оператора «спектр-доза» для сцинтилляционного блока детектирования на основе пластмассового детектора большого объема, используемого в составе порталных радиационных установок»
- 11:10-11:30 **Мелешко Даниил Алексеевич**
«Х: компаратор ионизирующего излучения»
- 11:30-11:50 **Рыжов Сергей Анатольевич**
«Межклиническое сравнение контроля вводимой активности в отделениях ядерной медицины»
- 11:50-12:10 **Микляев Петр Сергеевич**
«Результаты годового радонового мониторинга в помещении с повышенным содержанием радона (г. Белокуриха алтайского края)»
- 12:10-12:30 **Бомбин Роман Николаевич**
«О повышении квалификации специалистов по спектromетрии и радиометрии в Санкт-Петербургском филиале АНО ДПО «Техническая академия Росатома»»
- 12:30-13:30 *Обед*
- 14:00-15:30 **Стендовые доклады**
- 15:30-16:00 *Кофе-брейк*
- 16:00-17:00 **Круглый стол**
- 18:00-22:00 *Торжественный ужин, теплоход «Москва-178», место посадки: причал Набережная Макарова, 34.*

**Пятница
17.10.2025
СПБПУ Петра Великого, зал «Семёнов»**

- 9:30-10:00 *Кофе-брейк*
- 10:10-10:30 **Барило Никита Алексеевич**
«Особенности радиационного загрязнения природных ландшафтов, как следствие химической переработки урана на территории Новосибирской области»
- 10:30-10:50 **Стариков Михаил Александрович**
«Простой способ визуализации совмещения поперечного сечения пучка протонов с мишенью циклотрона»
- 10:50-11:10 **Ахметова Дарья Рамилевна**
«Автоматизированное радиомечение металл-органических каркасов на основе циркония изотопом радий-223 для локорегионарной терапии рака молочной железы»
- 11:10-11:30 **Русакова Владислава Александровна**
Разработка платформы на основе карбоната кальция для комбинаторной радиохимиотерапии меланомы
- 11:30-12:30 **Подведение итогов**
- 12:30-13:00 **Заккрытие XVII международного совещания «Проблемы прикладной спектromетрии и радиометрии» им. Владимира Николаевича Даниленко**

Содержание

Проблемы импортозамещения в области прикладной спектрометрии и радиометрии	14
Конструирование ЗРИ для систем контроля уровня расплава.....	15
Государственный первичный эталон активности ГЭТ 6-2016 - основа обеспечения единства спектрометрических и радиометрических измерений. Основные изменения в новой Государственной поверочной схеме ГОСТ 8.033-2023. Создание серийных типов стандартных образцов удельной активности радионуклидов в растворах	17
Новые разработки и планы предприятия в области ядерного приборостроения.....	19
Дозиметр-радиометр универсальный поисковый МКС-А07	23
Спектрометрическое программное обеспечение жидкостцинтилляционных комплексов. Обновление	25
Исследование характеристик отечественного устройства детектирования гамма-излучения на основе прецизионного германиевого блока детектирования с системой электроохлаждения.....	26
Конвейерные нейтронные влагомеры и нейтронные уровнемеры в линейке промышленного оборудования АО "НТЦ "РАТЭК" для добычи и переработки минерального сырья	27
Спектрометрические комплексы производства НИЦ ЛСРМ.....	28
Комплекс спектрометрический альфа, бета, гамма-излучений с индикатором трития	30
Проблема снижения чувствительности систем радиационного контроля транспортных средств за счет экранирования фона контролируемым грузом	32
Влияние примесей природного урана в пробах стройматериалов с радионуклидом Ra-226 на результаты измерений удельной эффективной активности спектрометром МКС-АТ1315.....	33
Программное обеспечение ООО «ЛСРМ» для сцинтилляционных Спектрометров	35
Измерение отклика гамма-детекторов при облучении 14 МэВ нейтронами.....	36
О стандартах Технического комитета ТК45В МЭК.....	39
Исследование возможности создания эталонных полей для калибровки гамма-спектрометров в диапазоне энергий от 50 кэВ до 10 МэВ	43
Оценка неопределенности при измерениях дозиметрических характеристик полей линейных ускорителей электронов	44

Комплексный подход к определению характеристик мёссбауэровских источников.....	46
Разработка новых типов эталонов и стандартных образцов для применения в области использования атомной энергии	47
Актуальные вопросы метрологического обеспечения радиационного контроля в Узбекистане.....	51
Опыт разработки, изготовления, поставки и ввода в эксплуатацию поверочных установок и стенов гамма-, бета-, рентгеновского и нейтронного излучений	53
Семейство установок паспортизации РАО производства АО «НПЦ «АСПЕКТ».....	55
Средства радиационного контроля акваторий и подводных радиационно-опасных объектов.....	57
Передвижные лаборатории радиационного контроля	58
Экспериментальные исследования параметров дозиметра ДКС-АТ1123 в полях импульсного фотонного излучения микросекундного диапазона.....	60
Применение программного обеспечения ООО «ЛСРМ» в образовательном процессе	62
Сцинтилляционные свойства детекторов с добавлением металлоорганических добавок..	64
Измерение удельной активности раствора радионуклида ^{108m}Ag и уточнение квантовых выходов гамма-линий ^{108m}Ag с целью создания спектрометрических источников для калибровки гамма-спектрометров	66
Проблемы идентификации загрязнений, вызванных отложениями ДПР Радона и Торона в газодобывающих отраслях	69
Активный нейтронный метод контроля содержания ядерно-опасных делящихся нуклидов в упаковках неомогенных радиоактивных отходов	73
Производство и поставка российских цифровых спектрометрических комплексов для неразрушающего анализа ядерных материалов	77
Конвейерная установка измерения массовой доли хлорида калия в линейке промышленного оборудования АО "НТЦ "РАТЭК" для добычи и переработки калийного сырья	78
Математическое моделирование измерительного канала автоматизированного погружного спектрометра для радиационного in situ мониторинга водных сред.....	79
Влияние дефектов в монокристаллах германия на скорость дрейфа лития	81

Комплекс ПАК-ИИ для поиска и идентификации гамма-излучающих нуклидов на основе машинного обучения.....	84
Диджитайзеры как основа построения современного научного оборудования.....	85
Повышение квалификации в области радиационной безопасности в современных условиях: новые вызовы и адаптивные подходы	86
Разработка учебного спектрометра гамма-излучения на базе кристалла NaI(Tl) и кремниевого фотумножителя (SiPM)	88
Детектор смешанного излучения АСРКБ1У.06	90
Расчет и применение оператора «СПЕКТР-ДОЗА» для сцинтилляционного блока детектирования на основе пластмассового детектора большого объема, используемого в составе порталных радиационных установок.....	93
Х: компаратор ионизирующего излучения	96
Межклиническое сравнение контроля вводимой активности в отделениях ядерной медицины.....	97
Результаты годового радонового мониторинга в помещении с повышенным содержанием радона (г. Белокуриха алтайского края)	101
О повышении квалификации специалистов по спектromетрии и радиометрии в Санкт-Петербургском филиале АНО ДПО «Техническая академия Росатома»	105
Особенности радиационного загрязнения природных ландшафтов, как следствие химической переработки урана на территории Новосибирской области	108
Простой способ визуализации совмещения поперечного сечения пучка протонов с мишенью циклотрона.....	111
Автоматизированное радиомечение металл-органических каркасов на основе циркония изотопом радий-223 для локорегионарной терапии рака молочной железы	114
Разработка платформы на основе карбоната кальция для комбинаторной радиохимиотерапии меланомы	117
К вопросу о факторах, влияющих на точность измерения МАЭД в таможенной практике	119

Проблемы импортозамещения в области прикладной спектromетрии и радиометрии

Рогозов А.Б.

АО «РИТВЕРЦ», Санкт-Петербург, Россия

arogozev@ritverc.com

Вследствие политической напряженности наша отечественная экономика встала перед необходимостью усиленно заниматься вопросами импортозамещения. Но, поскольку западные технологии внедрились в нашу промышленность глубоко и повсеместно, то решать задачу импортозамещения приходится не «точно», а системно, масштабно и принципиально. По сути, чтобы преодолеть зависимость от поиска готовых технических решений за рубежом, нужно провести промышленную революцию, которая перестроит принципы, подходы и мышление всех участников рынка. Т.е., по сути, нужно будет создать новую культуру, которая должна прийти на место отжившим свой срок подходам, родившимся после слома социалистической модели во времена перехода к рыночной экономике.

Отрасль, в которой нам посчастливилось работать стоит особняком и предъявляет ко всем участникам повышенные требования по безопасности, надежности технических решений... поэтому, в дополнение к общим, у нас появляются собственные, частные ценности. Т.е., тогда мы приходим к тому, что должна формироваться субкультура предприятий, работающих в атомной промышленности.

ППСР-2025, проходящее в этом году в «Культурной столице», возможно, очень удобная площадка для обсуждения данных вопросов.

Конструирование ЗРИ для систем контроля уровня расплава

Ю. В. Лобанов, И. В. Бурьяненко, А. Б. Рогозов, А. А. Беспокоев, А. В. Копылов

АО «РИТВЕРЦ», Санкт-Петербург, Россия

ylobanov@ritverc.com

В 2022 г. страна оказалась в крайне затруднительном положении в связи с тем, что, будучи технологически зависимой от многих западных компаний, осталась без их технической поддержки. Данная проблема не обошла и отрасль ядерного приборостроения, причем в первую очередь встала проблема разработки или подбора аналогов импортных ЗРИ в связи с короткими сроками службы (от одного года) и отказом западных компаний ввозить ЗРИ в РФ.

Основываясь на многолетнем опыте разработки, изготовления и поставки ЗРИ, оказания услуг в области использования атомной энергии, компания РИТВЕРЦ провела серию разработок с целью импортозамещения ЗРИ в промышленности и медицине.

Одним из направлений стала разработка аналогов линейных ЗРИ для систем контроля уровня расплава. Данные системы используются для динамического контроля и поддержания уровня расплава в машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) на сталелитейных заводах. Необходимо отметить, что радиометрический метод – единственный, который может обеспечить такую высокую скорость реакции на изменения в столь сложных условиях.

Данные системы используют в качестве ИИИ – линейные или точечные ЗРИ с кобальтом-60 или цезием-137 в совокупности с точечными или линейными детекторами (как правило – NaI (Tl) с вакуумным ФЭУ. Системы контроля уровня расплава производятся компанией Бертольд (Berthold).

Разработка аналога велась с учетом следующих ограничений:

- высокая стоимость простоя оборудования;
- отсутствие подробной документации;
- невозможность проведения доводочных испытаний на оборудовании заказчика;
- крайне сжатые сроки;
- отсутствие подобной номенклатуры ЗРИ в РФ.

Несмотря на сложности, задача замены импортного ЗРИ была успешно решена. Это дает время заняться более широкой проблемой, а именно – импортозамещением всей системы контроля уровня расплава.

Для решения столь масштабной задачи необходима кооперация между предприятиями с разным профилем деятельности: заказчики – сталелитейные заводы, разработчики МНЛЗ,

разработчики ЗРИ и блоков источников, разработчики детекторного оборудования и программного обеспечения.

В данном докладе рассказано об опыте разработки аналогов линейных ЗРИ, примененных конструкторских решениях, освещена проблема импортозамещения всей системы, рассказано об конструировании испытательного стенда на производственной базе АО «РИТВЕРЦ» для целей проведения совместно с НИЯУ МИФИ разработки аналога системы контроля уровня расплава (в качестве первого шага), а также – улучшения системы по собранным замечаниям на сталелитейных производствах.

**Государственный первичный эталон активности ГЭТ 6-2016 -
основа обеспечения единства спектрометрических и
радиометрических измерений. Основные изменения в новой
Государственной поверочной схеме ГОСТ 8.033-2023. Создание
серийных типов стандартных образцов удельной активности
радионуклидов в растворах**

Сэпман С.В.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Адрес: 190005, Россия, Санкт-Петербург

Московский пр., 19

Основой метрологического обеспечения спектрометрических и радиометрических измерений является Государственный первичный эталон единиц активности радионуклидов, удельной активности радионуклидов, потока и плотности потока альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников ГЭТ 6-2016. Первичный эталон обеспечивает воспроизведение, хранение и передачу единиц этих величин с наивысшей в Российской Федерации точностью.

Процесс передачи регламентируется государственной поверочной схемой ГОСТ 8.033-2023 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений активности радионуклидов, удельной активности радионуклидов, потока и плотности потока альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников».

Государственная поверочная схема - это документ, устанавливающий порядок передачи единицы величины от государственного первичного эталона единицы величины эталонам единицы величины, имеющим более низкие показатели точности, и средствам измерений;

(в ред. Постановления Правительства РФ от 21.10.2019 N 1355)

В документе «РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения» говорится, что поверочная схема это иерархическая структура, устанавливающая соподчинение эталонов, участвующих в передаче единицы или шкалы измерений от исходного эталона средствам измерений (с указанием методов и погрешностей при передаче), утверждаемая в установленном порядке в виде нормативного документа.

Больше полувека одной из основных ветвей передачи размера единицы была ветвь эталонных растворов радионуклидов. Эталонные радионуклидные растворы широко применялись при испытаниях, поверках, разработке и контроле методик измерений, изготовлении эталонных наборов твёрдых источников. Были главным инструментом при

международных сличениях и внутренних интеркалибрациях и межлабораторных сравнительных испытаниях. К сожалению, из-за ужесточения законов пришлось исключить ветвь растворов из поверочной схемы, так как при передаче размера единицы должны использоваться только эталоны и стандартные образцы. В федеральном информационном фонде нет растворов радионуклидов, так как они не проходили процедуру испытаний с целью утверждения типа.

В настоящее время идёт процесс введения в поверочную схему нового вида эталонов активности и удельной активности радионуклидов – государственных стандартных образцов (ГСО). Основная задача - разработка серийных стандартных образцов удельной активности радионуклидов в растворах и проведение испытаний в целях утверждения типа. Сейчас наш отдел проводит испытания стандартных образцов растворов радионуклидов сразу для трёх организаций: ПО МАЯК, АО Ритверц, РИ им.Хлопина.

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ И ПЛАНЫ ПРЕДПРИЯТИЯ В ОБЛАСТИ ЯДЕРНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

В.А. Кожемякин

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
г. Минск, Республика Беларусь*

В период с 2023 по 2025 гг. предприятием «АТОМТЕХ», в соответствии с планом НИОКР и отдельных научно-технических проектов, выполнен ряд разработок, а также освоены в производстве изделия по многим направлениям в области ядерного приборостроения. Сфера разработок и проектов охватывала следующие направления:

1. В области спектрометрической и радиометрической аппаратуры разработаны и освоены в производстве:

- модернизированный вариант аппаратуры радиационного сканирования – спектрометр МКС-АТ6101СЕ с использованием спектрометрического блока детектирования высокого разрешения на основе сцинтиллятора $\text{SrI}_2(\text{Eu})$. Используется главным образом в антитеррористических целях;

- спектрометрический комплекс радиационного сканирования высокой чувствительности МКГ-АТ6111 на основе $\text{NaI}(\text{Tl})$ – сцинтиллятора объемом 2 л, предназначенного для использования в пешеходной геофизической гамма-съемке и определения концентрации радионуклидов К-40, Th-232, U-238, Cs-137;

- погружной роботизированный гамма-спектрометр МКС-АТ6104ДМ с использованием сцинтилляционного детектора $\text{NaI}(\text{Tl})$ размером $\varnothing 63 \times 63$ мм, предназначенного для радиационного мониторинга водных сред и донных отложений и определения их удельной объемной активности по радионуклидам К-40, Ra-226, Th-232, I-131, Cs-137, Cs-134;

- стационарный гамма-радиометр-спектрометр РКГ-АТ1145 с модификациями блоков детектирования на основе $\text{NaI}(\text{Tl})$ и $\text{SrI}_2(\text{Eu})$, предназначенный для измерения удельной (объемной) активности радионуклидов I-131, Cs-134, Cs-137, Co-60 и К-40 в пробах окружающей среды, пищевой и сельскохозяйственной продукции, материалах и веществах;

- радиометр РКС-АТ1329 для одновременного и отдельного измерения альфа- и бета-активности проб и счетных образцов;

- радиометр РКС-АТ100 для измерения активностей эталонных альфа- и бета-источников при проведении аттестации и поверки.

2. В области дозиметрической аппаратуры выполнены:

- модернизация и внедрение в производство широкодиапазонных дозиметров ДКГ-АТ2533 и устройства детектирования рентгеновского и гамма-излучения УДКГ-37 с верхней границей диапазона измерений непрерывного излучения 5000 Зв/ч, импульсного излучения – 1000 Зв/ч, в диапазонах энергий 10 кэВ – 10 МэВ;

- разработка дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М в варианте использования с широким набором сфер Боннера и методическим обеспечением измерений мощности дозы и плотности потока нейтронов, внедрение в производство;

- разработка новой модификации эталонного дозиметра фотонного излучения ДКС-АТ5351 в части электрометра с улучшенными параметрами, с возможностью использования в составе дозиметра ионизационных камер с различной системой соединений;

- разработка портативного дозиметра-радиометра МКС-АТ6131 с функциями измерения мощности дозы гамма-излучения, плотности потока бета-частиц и обнаружения альфа-излучения;
- разработка блока детектирования БДКГ-206 для измерения дозы и мощности дозы гамма-излучения как в непрерывных, так и в импульсных полях;
- разработка индикатора альфа излучения ИР-АТ2522 (альфа-сенсор) и бета-гамма излучения (бета-гамма-сенсор) ИР-АТ2523.

3. В области портальных радиационных мониторов выполнены:

- модернизация и внедрение в производство портального быстросазвертываемого гамма-нейтронного радиационного монитора РПМ-АТ6110;
- разработка многопрофильной установки радиационного контроля гамма-нейтронного излучения УРК-АТ2329 в 6-ти вариантах исполнения (радиационные мониторы) и внедрение в производство.

4. В области автоматизированных постов радиационного мониторинга территорий выполнена:

- разработка и внедрение в производство стационарных постов ПРК-АТ2341, функционально обеспечивающих дозиметрические измерения, спектрометрию и идентификацию радионуклидов (варианты с NaI(Tl) и LaBr₃), контроль метеопараметров и передачу данных мониторинга по беспроводной связи на верхний уровень.

5. В области оснащения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) устройствами и аппаратурой аэро-гамма съемки:

- в состав БПЛА разных видов внедрена линейка интеллектуальных блоков детектирования дозиметрического и спектрометрического назначения.

6. В области метрологического обеспечения калибровочных, градуировочных процедур и поверки дозиметрической аппаратуры выполнены:

- разработка и изготовление установки дозиметрической бета-излучения УДБ-АТ200, постановка на производство;
- разработка и изготовление автоматизированного калибровочного стенда, входящего в состав российского эталона импульсного рентгеновского излучения, для ВНИИМ им. Д.И. Менделеева;
- разработка и изготовление по отдельным проектам установок УДГ-АТ130 и УДГ-АТ130К для предприятий Госкорпорации «Росатом», Белорусского государственного института метрологии;
- разработка и изготовление установок УДГ-АТ130 и УПН-АТ140 для АЭС «Аккую» (Турция);
- разработка и изготовление по отдельному проекту установки УДГ-АТ110 для оснащения предприятия в Турции.

7. НИОКР и проекты, планируемые к завершению в 2026-2027 гг.:

- снижение нижней границы диапазона измерений бета-активности альфа-бета-радиометра РКС-АТ1329 (модификация АТ1329М);
- разработка новой модели портативного гамма-спектрометра МКС-АТ6106 в вариантах с NaI(Tl) и LaBr₃ сцинтилляционными кристаллами;
- разработка портативного дозиметра-радиометра альфа-, бета- и гамма-излучения МКС-АТ1118 (три вида излучения в одном блоке детектирования);
- разработка индивидуального цифрового дозиметра непрерывного и импульсного рентгеновского и гамма-излучения;
- модернизация дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М в части замены основной элементной базы;

- разработка системы радиационного контроля СРК-АТ2330 взамен СРК-АТ2327 с расширенным функционалом и вариантами исполнения;
- разработка низкофоновой установки для калибровки дозиметрической аппаратуры от 0,03 мкЗв/ч;
- изготовление и поставка градуировочных установок УДГ-АТ130, УПН-АТ140 и УДБ-АТ200 для АЭС «Руппур» (Бангладеш);
- изготовление и поставка градуировочных установок УДГ-АТ130 и УПН-АТ140 для ПО «МАЯК» (г. Озерск);
- изготовление и поставка градуировочной установки УПН-АТ140 для ОИЯИ (г. Дубна) и другим заказчикам;
- изготовление и поставка эталонного оборудования для воспроизведения и передачи единиц поглощенной дозы бета-излучения для нужд специальной метрологии (г. Мытищи);
- изготовление и поставка ряда изделий в Российскую Федерацию, Республику Беларусь, страны ЕАЭС и дальнего зарубежья (Европа, Северная Америка, Южная Америка, Африка, Австралия, Ближний восток, Юго-восточная Азия).

8. О формировании Программы Союзного государства «Кристаллы и детекторы» (ПСГ).

Формирование ПСГ началось два года назад, в настоящее время проходит согласование на высоких уровнях. Есть надежда, что она заработает с 2026 г. Предприятие принимает активное участие в ПСГ.

В рамках программы планируется создание средств детектирования по направлениям разработки и освоения:

- детекторов ядерных излучений – ОЧГ, CdZnTe, алмазных, кремний-литиевых, ионно-имплантированных кремниевых, SrI₂(Eu), CsI(Tl), CWO, фосвич-детекторов, жидких сцинтилляторов, тканеэквивалентных пластмассовых сцинтилляторов, ТЛД, сцинтилляционных экранов ZnS/LiF, ионизационных камер для эталонных дозиметров фотонного излучения и др.;
- работы, связанные с применением разработанных детекторов в ряде изделий ядерного приборостроения в целях импортозамещения;
- проекты, связанные с комплексированием обновленных блоков, устройств, приборов и аппаратуры для измерения ионизирующих излучений в составе систем и оборудования радиационного контроля и метрологического обеспечения.

9. О формировании Государственной программы «Ядерная и радиационная безопасность» в Республике Беларусь.

Планируется в рамках этой программы (раздел «Ядерное приборостроение») выполнение предприятием следующих НИОКР и проектов, конечной целью которых является внедрение в производство, изготовление опытных партий оборудования и его поставка заранее определенным пользователям (организациям).

Предусмотрена реализация следующих задач в период с 2027 по 2030 гг.:

- комплекс воздушной радиационной разведки местности на основе малогабаритного беспилотного летательного аппарата;
- автоматизированная территориальная система контроля радиационной обстановки в зоне влияния пункта захоронения радиационных отходов БелАЭС;
- передвижная радиометрическая лаборатория;

- модернизация средств радиационного контроля с учетом оперативных критериев аварийного реагирования.

Уровень технологического уклада обозначенных проектов – V.

В докладе также обозначен перечень проблем и вопросов, вызывающих значимые затруднения при разработке, изготовлении и поставках изделий ядерного приборостроения.

ДОЗИМЕТР-РАДИОМЕТР УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПОИСКОВЫЙ МКС-А07

Тараканов К.О.

АО «НПЦ «АСПЕКТ», Россия, Дубна

Дозиметр-радиометр универсальный поисковый МКС-А07 (далее – дозиметр) предназначен для поиска источников гамма-излучения и измерений мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения, и измерений плотности потока альфа- и бета-частиц. Дозиметр может быть использован для контроля за перемещением делящихся и радиоактивных материалов, оперативного контроля несанкционированного проноса и провоза ядерных и радиоактивных материалов на объекты и территории в целях обеспечения требования их антитеррористической защищенности и для контроля радиационной обстановки службами министерства чрезвычайных ситуаций и государственной санитарно-эпидемиологической службой России.

Дозиметр представляет собой компактный универсальный прибор в виде моноблока, выполненный на основе газоразрядных счетчиков. Каждый измерительный канал является независимым. Независимость измерения бета излучения бета-гамма-счетчиком обеспечивается компенсацией гамма от гамма-счетчика. Большой объем счётчиков обеспечивает высокую чувствительность (не менее 20 имп/с/мкЗв/ч), что позволяет сократить время измерений. В режиме поиска и измерения гамма-излучения, суммируются показания с бета-гамма-счётчика и гамма-счётчика. Применённые технические решения позволили расширить диапазон измерений по гамма-излучению до 50 мЗв/ч с погрешностью не более 15 %, по плотности потока бета-частиц до 100 000 ч/см²/мин с погрешностью не более 20 % и плотности потока альфа-частиц до 50 000 ч/см²/мин с погрешностью не более 30 %. Подобранные фильтры позволяют получить энергетическую зависимость не более 25 % в диапазоне регистрируемых энергий гамма-излучения от 0,06 до 1,25 МэВ.

Измеренные значения и погрешность в режиме реального времени индицируется на OLED дисплее вместе с датой и временем. При превышении порогов, установленных пользователем, прибор выдаёт световую и звуковую сигнализацию, а данные записываются в энергонезависимую память. Использование в качестве детекторов счётчиков Гейгера-Мюллера, OLED-дисплея и Li-Po аккумуляторной батареи обеспечивает работу прибора в широком диапазоне температур от минус 40 °С до плюс 50 °С с дополнительной погрешностью измерений не более 5 %. По степени защиты от внешних воздействий, дозиметр соответствует IP54. Также дозиметр оснащён USB Type-C портом, благодаря которому упрощается использование устройства в части зарядки и связи с ПК. Конструкция прибора и разработанное программное обеспечение обеспечивают простое использование, не требующее от оператора специальных знаний в области радиационных измерений.

В настоящее время завершаются работы по внесению дозиметра-радиометра МКС-А07 в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в качестве средства измерений.

Отличительные черты изделия:

- независимость измерительных каналов
- высокая чувствительность (для детекторов на основе счетчиков Гейгера), оперативность выполнения измерений
- широкий динамический диапазон измерения МАЭД гамма-излучения
- низкая погрешность измерения
- развитые функции поиска источников гамма-излучения
- журнал измерений с привязкой к данным геолокации (опция)
- высокая степень пылевлагозащиты
- широкий температурный диапазон
- простота и надежность, удобство пользования прибором

Спектрометрическое программное обеспечение жидкосцинтилляционных комплексов. Обновление

Малиновский Сергей Владимирович

E-mail: SpectraDec@gmail.com *Тел.:* +7(903)768-24-41

Представлена новая версия программного обеспечения (ПО) SpectraDec/LiquidMaster, предназначенного для обработки результатов измерений на жидкосцинтилляционных спектрометрах с целью получения радионуклидного состава измеряемых проб.

ПО позволяет проводить радионуклидный анализ проб, измеренных на всех типах жидкосцинтилляционных спектрометров. Обрабатывает оперативно в автоматическом режиме спектры с малой статистикой, плохим разрешением, со значительным перекрытием энергетических спектров составляющих нуклидов. Позволяет разделять альфа- и бета- составляющие спектра и определять их суммарные показатели.

Одним из основных отличий обновлённой версии является способность работы не только в операционных системах семейства Windows, но и во всех ОС семейства Linux, включая Astra Linux и другие Debian- и Ubuntu-системы.

Обновление потребовало, в частности, полной переработки математических модулей обработки спектров и модулей работы с радионуклидной библиотекой.

Представлены математические подходы к обработке спектров.

Приведены примеры использования ПО в различных задачах аналитических измерений.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОТЕЧЕСТВЕННОГО
УСТРОЙСТВА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА
ОСНОВЕ ПРЕЦИЗИОННОГО ГЕРМАНИЕВОГО БЛОКА
ДЕТЕКТИРОВАНИЯ С СИСТЕМОЙ ЭЛЕКТРООХЛАЖДЕНИЯ**

Баев М.Н., Туровцев Н.О., Червяков Р.В.

ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова», г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.

Смирнов А.А.

АО «ИФТП», г. Дубна, Московская обл.

В докладе представлены результаты исследований устройства детектирования (УД) гамма-излучения на основе детектора из особо-чистого германия с системой электроохлаждения отечественной разработки.

УД (опытный образец) разработан АО «ИФТП» (г.Дубна) в целях импортозамещения и предназначен для проверки и подтверждения основных технических решений и характеристик, заложенных при создании отечественного технологического спектрометра для оснащения атомных станций малой мощности.

Разработанное устройство детектирования включает следующие блоки и составные части:

- блок детектирования;
- газовый криогенный электроохладитель;
- блок источника питания;
- блок контроллера;
- магниторазрядный насос.

Приводятся результаты испытаний и сравнительный анализ основных характеристик спектрометрического тракта, построенного на базе разработанного УД и отечественного цифрового спектрометрического устройства, с известными аналогами импортного производства:

- диапазона регистрируемых энергий гамма-излучения;
- энергетического разрешения;
- максимальной входной статистической загрузки;
- нестабильности характеристики преобразования во времени;
- относительной эффективности регистрации и пределов допускаемой относительной погрешности эффективности регистрации;
- времени выхода на рабочую температуру детектора.

**КОНВЕЙЕРНЫЕ НЕЙТРОННЫЕ ВЛАГОМЕРЫ И
НЕЙТРОННЫЕ УРОВНЕМЕРЫ В ЛИНЕЙКЕ
ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ АО "НТЦ "РАТЭК"
ДЛЯ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Гжибовский Н.Э., Гольцев М.А., Жуков М.Н., Лайкин А.И. *, Сорокин П.А., Хусаинов
М.А., Челядинов Д.А.

АО "НТЦ "РАТЭК", Санкт-Петербург

В докладе рассмотрены характеристики, область применения и принципы работы конвейерного нейтронного влагомера НВМ-01 и нейтронного уровнемера НУМ-РАТ-01, разработанных и поставляемых АО "НТЦ "РАТЭК".

Применение нейтронного влагомера актуально для материалов, имеющих высокую проводимость, а также для измерения концентрации кристаллизационной воды в контролируемом материале. При разработке прибора проведен анализ различных способов измерения влажности с использованием нейтронов и выбран метод измерения ослабления пучка быстрых нейтронов от радиоизотопного источника.

Разработанный на предприятии нейтронный уровнемер предназначен для бесконтактных измерений уровней жидкой фазы агрессивных водородосодержащих веществ в емкостях большого размера под давлением. Такая задача актуальна для нефтеперерабатывающих предприятий. Принцип работы уровнемера основан на измерении потока обратно рассеянных нейтронов от радиоизотопного источника.

Созданные приборы уже используются на промышленных предприятиях России.

Спектromетрические комплексы производства НИЦ ЛСРМ

Пономаренко А.В., Лебедева Т.Г., Пономаренко Р.А.

ООО «НИЦ ЛСРМ», Москва

ООО «НИЦ «ЛСРМ» создано 19 апреля 1997 года с целью разработки и производства оборудования и программного обеспечения для радиационного контроля.

Основной деятельностью ООО «НИЦ «ЛСРМ» в настоящее время является разработка и производство стационарных комплексов контроля, оборудования, систем и мобильных комплексов, и программных продуктов, методического обеспечения радиационного и химического контроля.

ООО «НИЦ «ЛСРМ» выполняет работы, поставляет оборудование и программное обеспечение в рамках Государственного оборонного заказа, для нужд МЧС, Министерства обороны РФ, ГК «Росатом» в постоянном сотрудничестве с ФГУП «ВНИИФТРИ».

За последние 10 лет разработан ряд средств контроля радиационной обстановки, в том числе наземных, акваторий и подводных радиационно-опасных объектов, включающих средства измерения и индикаторы, предназначенные для:

- контроля параметров радиационной обстановки гамма и нейтронного излучения в зоне расположения радиационно-опасных объектов;
- обнаружения и идентификации источников гамма-излучения и нейтронов;
- наземного мониторинга и подводного мониторинга радиационной обстановки акваторий.

Разработанные средства контроля включают:

- блоки детектирования гамма-излучения для измерений МЭД рентгеновского и гамма-излучения;
- блоки детектирования нейтронного излучения для измерений плотности потока нейтронного излучения;
- спектрометры гамма-излучения для определения радионуклидного состава среды;
- индикаторы нейтронного и гамма-излучения с функцией индикации плотности потока нейтронного излучения и МЭД гамма-излучения в полях высокой интенсивности;
- программное обеспечение, обеспечивающее сбор и передачу данных оператору или сбор данных при автономной работе изделий.

Условия применения и исполнения изделий устанавливаются в соответствии с требованиями назначения, живучести и стойкости к внешним воздействиям при эксплуатации, при

Санкт-Петербург

2025

размещении изделий на наземных и погружных носителях, в автономном режиме и при проведении измерений in-situ.

Калибровки оборудования, климатические и механические испытания, проведение испытаний средств измерения в целях утверждения типа производится в сотрудничестве со специалистами ФГУП «ВНИИФТРИ».

Комплекс спектрометрический альфа, бета, гамма-излучений с индикатором трития

Лебедева Т.Г., Пономаренко А.В., Пономаренко Р.А.

ООО «НИЦ «ЛСРМ», Москва

Разработан, изготовлен, прошел государственные испытания опытный образец комплекса спектрометрического альфа-, бета-, гамма-излучений с индикатором трития (далее-комплекс), предназначенный для оснащения радиохимических лабораторий, лабораторий контроля окружающей среды для измерения потока и энергии альфа-, бета-частиц и гамма- квантов, при решении задач:

- обнаружения и идентификации радионуклидов в загрязненных объектах окружающей среды и технологических средах;

- контроля обращения с радиоактивными отходами.

Комплекс обеспечивает измерение:

- суммарной бета - активности, объёмной активности изотопов йода (J-131, J-132, J-133, J-134, J-135) и Cs-138 в пробах воды и технологических средах;

- объёмной альфа-активности воды и теплоносителя АЭС;

- суммарной объёмной активности, объёмной активности отдельных радионуклидов Sr-90, Cs-137, Ba-139, Ba-140, La-140, Ce-144 и H-3 при обращении с жидкими радиоактивными отходами;

- определение радионуклидного состава и объёмной активности проб объектов внешней среды (вода морская; питьевая вода; донные отложения; водоросли; бентосные организмы; перифитон; рыба морская; аэрозоли и атмосферные осадки; почва, растительность) и др.;

- качественный и количественный анализ пробы с неизвестным радионуклидным составом, в том числе определение объёмной активности отдельных радионуклидов технологических контуров АЭС (F-18, Na-24, Mn-54, Mn-56, Mo-99, W-187, Co-58, Co-60, Fe-59, Eu-152, Eu-154, Gd-153) и др.;

Санкт-Петербург
2025

- измерение активности нормируемых радионуклидов в пищевых продуктах.

Комплекс реализован на отечественной элементной базе, включает спектрометр гамма-излучения высокого разрешения на основе LaBr, бета-спектрометр на основе пластикового сцинтиллятора, альфа-спектрометр-радиометр на основе кремниевого ионно-имплантированного детектора, индикатор трития спектрометрический на основе жидкосцинтилляционной технологии.

Разработаны и аттестованы:

- Методика измерений суммарной объемной активности альфа-излучающих радионуклидов в пробах теплоносителя I контура контуров ядерных энергетических установок и жидких радиоактивных отходов.

Диапазон активности от $4,0 \cdot 10^2$ до $1,0 \cdot 10^9$ Бк·дм⁻³. Основная относительная погрешность средства измерений – альфа-спектрометра не более 15 %.

- Методика измерений суммарной объемной и объемной активности гамма-излучающих радионуклидов в пробах воды I, II, III контуров ядерных энергетических установок и жидких радиоактивных отходов

Диапазон активности от 40 до $4,0 \cdot 10^8$ Бк·дм⁻³. Основная относительная погрешность средства измерений – спектрометра энергии гамма-излучения не более 10 %

- Методика измерений суммарной объемной и объемной активности бета-излучающих радионуклидов в пробах воды I, II, III контуров ядерных энергетических установок. Диапазон активности от 40 до $4,0 \cdot 10^8$ Бк·дм⁻³. Основная относительная погрешность средства измерений – спектрометра бета-излучения не более 10%.

Комплекс внесен в Реестр средств измерений военного назначения РФ.

**Проблема снижения чувствительности систем радиационного
контроля транспортных средств за счет экранирования фона
контролируемым грузом**

Махнёв И.А.

Научно-производственное предприятие «ОПЫТ»

Проблема снижения чувствительности СРК, за счет экранирования фона контролируемым грузом, известна специалистам и описана, к примеру, в журнале АНРИ / № 1 (104) 2021 5 / НАУЧНЫЕ СТАТЬИ /. "Вторым недостатком традиционных порталных мониторов является фактор подавления естественного фона транспортом, проходящим через зону контроля. В зависимости от вида транспорта, подавление меняется в широком диапазоне – от нескольких процентов для небольших легковых автомобилей до 70–80% для большегрузного транспорта, а в некоторых случаях вплоть до 90–95%. В то же время, согласно требованиям различных стандартов и по результатам тестирования, характеристики мониторов, как правило, определены при отсутствии подавления фона. А это в свою очередь приводит к тому, что при высоком уровне подавления фона в реальных полевых условиях эксплуатации монитор не способен обнаружить потенциально опасные искусственные источники, хотя согласно заявленным параметрам, должен это делать, что вводит в заблуждение потребителей и может привести к тяжелым последствиям"

В работе изложен метод решения этой проблемы путем применения новой геометрии регистрации излучения от груза в транспортном средстве. Для исключения влияния радиационного фона окружающей среды детектор ионизирующего излучения располагается в пассивной защите на поверхности грунта, или в заглублении под транспортным средством. Это исключает эффект экранирования фона транспортным средством и снижает колебания фона при атмосферных осадках.

Расчёты показывают, что в предлагаемой геометрии измерения достигается большая чувствительность системы, при меньшем объеме детектора.

Все эти преимущества позволяют достичь лучшей надежности обнаружения по сравнению с системами, использующими традиционное расположение стоек (по бокам от транспорта).

Предлагаемый метод контроля транспортных средств получит применение в составе самостоятельных (бюджетных) систем радиационного контроля транспортных средств и в качестве дополнения к существующему оборудованию.

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ ПРИРОДНОГО УРАНА В ПРОБАХ СТРОЙМАТЕРИАЛОВ С РАДИОНУКЛИДОМ Ra-226 НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ УДЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ АКТИВНОСТИ СПЕКТРОМЕТРОМ МКС-АТ1315

В.В. Семерикова, А.А. Загороднюк, Е.А. Коновалов

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
г. Минск, Республика Беларусь*

Пользователи гамма-бета-спектрометров МКС-АТ1315 сталкиваются с проблемой при измерении удельной активности естественных радионуклидов (ЕРН) в стандартных образцах стройматериалов. Проблема заключается в расхождении до $\pm 40\%$ между результатами измерений удельной активности ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , удельной эффективной активности и аттестованными значениями стандартных образцов.

Гамма-бета-спектрометр МКС-АТ1315, работающий под управлением программного обеспечения «SPTR», использует метод максимального правдоподобия для обработки спектров и расчета удельной активности радионуклидов [1]. Данный метод заключается в одновременном анализе спектров от гамма-канала (детектор NaI(Tl) размерами $\varnothing 63 \times 63$ мм) и бета-канала (детектор сцинтилляционная пластмасса размерами $\varnothing 128 \times 9$ мм) спектрометра в энергетическом диапазоне 50 – 3000 кэВ (гамма-канал) и 150 – 3500 кэВ (бета-канал). В случае измерений образцов стройматериалов и определения удельной эффективной активности обрабатывается только гамма-спектр.

Целью данной работы являлось установление причины расхождения между результатами измерений удельной активности естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и аттестованными значениями активности стандартных образцов стройматериалов, а также поиск решения данной проблемы.

Для достижения поставленной цели с помощью гамма-бета-спектрометра МКС-АТ1315, а также блока детектирования БДКГ-05С (с детектором на основе кристалла $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ размерами $\varnothing 38 \times 38$ мм) с энергетическим разрешением 3,2 %, размещенного в блоке защиты от спектрометра МКС-АТ1315, были измерены и проанализированы гамма-спектры от различных образцов: стандартных образцов ^{226}Ra , точечного источника ^{226}Ra , и плоского источника ^{238}U . Было обнаружено, что в гамма-спектрах от стандартных образцов ^{226}Ra присутствует пик с энергией 64 кэВ, который отсутствует в гамма-спектрах от точечного источника ^{226}Ra . Проанализировав перечень гамма-линий ^{226}Ra , ^{238}U и ^{235}U [2], а также экспериментальные спектры от источников ^{226}Ra и ^{238}U было установлено, что в стандартных образцах ^{226}Ra содержится природный уран.

Природный уран содержит ^{238}U , который в своем спектре имеет гамма-линии его дочернего радионуклида ^{234}Th 63,3 кэВ, 92,4 кэВ, 92,8 кэВ, и ^{235}U с гамма-линией 185,7 кэВ, поэтому были получены результаты измерений удельной активности ЕРН при обработке спектров в различных диапазонах энергий. Было установлено, что при смещении левой границы диапазона энергий, расхождения между измеренными значениями удельной активности естественных радионуклидов и аттестованными значениями уменьшаются до $\pm 15\%$.

Таким образом, уменьшение диапазона энергий при обработке спектра со стороны низких энергий позволит исключить влияние примесей природного урана в образцах стройматериалов на результаты измерений удельной активности естественных радионуклидов при использовании метода максимального правдоподобия. Для спектрометра МКС-АТ1315 уменьшение диапазона энергий может быть реализовано

путем редактирования одного из системных файлов программы «SPTR» без необходимости внесения изменений в градуировку спектрометра.

Литература:

1. Гамма-бета-спектрометр МКС-АТ1315. – URL: <https://atomtex.com/ru/gamma-beta-spektrometr-mks-at1315> (датаобращения: 19.08.2025).
2. National Nuclear Data Center. – URL: <https://www.nndc.bnl.gov/> (дата обращения: 19.08.2025).

Программное обеспечение ООО «ЛСРМ» для сцинтилляционных Спектрометров

Е.А. Ковальский, М.Б. Кувыкина,
С.Л. Соловьева, А.А. Трохан, В.Н. Фесенко
ООО «ЛСРМ», г. Зеленоград, Россия.

В настоящее время для измерения активности образцов все чаще используются спектрометры на базе сцинтилляционных детекторов. По большей части такая ситуация обусловлена отсутствием на рынке достаточного количества полупроводниковых спектрометров, но также следует отметить относительно низкую стоимость и большой ассортимент выпускаемых сцинтилляционных спектрометров.

Компания ООО «ЛСРМ» представляет специальную версию кросс-платформенного ПО (Windows, Astra Linux), адаптированную для сцинтилляционных спектрометров, в которой учтена их специфика (особенности обработки спектров, необходимость периодического контроля спектрометрического тракта, использование в рутинных измерениях).

В разработанном ПО для сцинтилляционных спектрометров доступен набор функций, реализующих контроль спектрометрического тракта, включая контроль фона и подкалибровку по энергии. Есть возможность выполнять одновременные бета-гамма-измерения и совместную обработку спектров. Интерфейс главного окна программы значительно упрощен, оставлена возможность быстрого вызова основных функций и рутинных операций.

Программное обеспечение для сцинтилляционных спектрометров адаптировано под конкретного производителя. В настоящее время такое ПО реализовано для спектрометров производства «НПЦ «Аспект», «АТОМТЕХ», «Радэк». Наша компания открыта к сотрудничеству с другими производителями сцинтилляционных спектрометров для адаптации ПО.

Измерение отклика гамма-детекторов при облучении 14 МэВ нейтронами

В.Ф. Батяев, С.Г. Беличенко, М.Д. Каретников, А. Д. Мазницин, А.Ю. Пресняков
ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Измерение гамма-спектра в присутствии фоновых 14 МэВ нейтронов актуально для многих задач прикладной ядерной физики, например, термоядерных исследований, нейтронного активационного анализа, измерения сечений нейтронного взаимодействия.

Для нахождения отклика гамма-детектора при облучении быстрыми нейтронами используют расчетные и экспериментальные методы. До энергии несколько МэВ основной вклад в аппаратный спектр детектора вносят гамма-кванты, возникающие при неупругом рассеянии нейтронов на ядрах сцинтиллятора. При более высоких энергиях доминирующее влияние оказывают вторичные заряженные частицы (протоны, дейтроны, альфа-частицы), возникающие в (n,p), (n,d) и (n, α) реакциях. Формула Биркса, дающая хорошие оценки для органических сцинтилляторов, имеет ограниченное применение из-за особенностей механизмов высвечивания неорганических сцинтилляторов. Поэтому для корректного расчета световыходов необходимо дополнительно экспериментально или теоретически определить зависимость световыхода от типа и энергии для различных частиц, возникающих в сцинтилляторе при нейтронной бомбардировке, что требует большого объема дополнительных экспериментальных и/или расчетных работ. Сложность этой задачи усугубляется еще вариациями световыхода кристаллов одного типа в зависимости от качества исходного сырья и технологии изготовления.

При экспериментальном измерении гамма-отклика от быстрых нейтронов различных энергий необходимо использовать поток моноэнергетичных нейтронов без сопутствующего гамма-излучения и замедлившихся нейтронов. Такие эксперименты трудоемки, дороги и, в общем случае, требуют использования ускорителей ионов на энергию выше 1 МэВ с системой сепарации ионного пучка и генерируемого нейтронного излучения. В связи с этим рациональным решением проблемы является сочетание расчетных и экспериментальных методов, когда основной объем данных производится расчетным путем, но они нормируются по экспериментальным результатам гамма-откликов от моноэнергетических нейтронов, которые можно получить относительно легко в нейтронных D-D и T-D генераторах.

При применении нейтронного генератора существенный вклад могут вносить гамма-кванты и тепловые нейтроны, образующиеся при взаимодействии нейтронов с элементами конструкции нейтронного генератора. Одним из возможных путей обеспечения «чистого» потока нейтронов является использование метода меченых нейтронов, основанного на пространственно-временном анализе событий, возникающих при движении быстрого нейтрона, время вылета, энергия и направление движения которого известны благодаря регистрации сопутствующей нейтрону альфа-частицы. Результатами измерений являются события- сигналы с гамма-детекторов, сопровождающиеся регистрацией сигналов с альфа-детектора в узком временном диапазоне. События представляются четырьмя параметрами: номер сработавшего пикселя альфа-детектора, номер гамма-детектора, время между моментами регистрации сигналов с гамма- и альфа-детекторов, амплитуда сигнала с гамма-детектора.

Метод меченых нейтронов имеет следующие особенности:

- Измерение нейтронного потока встроенным альфа-детектором с абсолютной погрешностью менее 5%, а относительной менее 1%, что существенно меньше погрешности стандартных средств измерения.
- Эффективная пространственно-временная дискриминация сигналов с детекторов, не сопровождаемых сопутствующими альфа-частицами. Это позволяет подавить спектральный фон на несколько порядков
- Возможность on-line калибровки гамма-детекторов с помощью гамма-линий от эталонных радиоизотопов в гамма-спектре без совпадений, причем за счет пространственно-временной дискриминации сигналов эти гамма-линии практически отсутствуют в спектре альфа-гамма совпадений.
- Определение угла вылета нейтрона с погрешностью около 0,02 рад (при использовании 256 пиксельного альфа-детектора с размером пикселя 2х2 мм).

Для измерения отклика гамма-детектора при облучении 14 МэВ нейтронами был создан экспериментальный стенд на базе генератора меченых нейтронов ИНГ-27 с 256-пиксельным альфа-детектором с размером пикселя 2х2 мм. Гамма-детекторы располагали на расстоянии 53 см от мишени нейтронного генератора, что обеспечивало пространственно-однородный поток меченых нейтронов на гамма-детекторе. В работе измерены отклики гамма-детекторов на основе неорганических (LaBr₃, BGO, LYSO) сцинтилляторов диаметром 76 мм и высотой 76 мм при облучении 14 МэВ нейтронами. Приведены нормализованные на флюенс нейтронов спектры гамма-квантов. Полученные

данные находятся в хорошем соответствии с результатами численных расчетов и экспериментальными результатами других авторов.

Важной особенностью использования метода меченых нейтронов в данных экспериментах является эффективная дискриминация фона от активации кристаллов в процессе облучения, в первую очередь, за счет $(n,2n)$ реакций, а также от собственной активности кристаллов. В частности, характерной особенностью LYSO кристалла является дополнительный фон, обусловленный α -распадом изотопа ^{176}Lu . Максимальная энергия излучения ^{176}Lu составляет около 1.2 МэВ, удельная активность - 268 Бк/см³, т.е. для кристалла диаметром 76 мм и высотой 76 мм активность A близка к $A=92398$ 1/с. Тем не менее, это излучение практически не влияет на скорость набора событий и амплитудный спектр, поскольку эффективно дискриминируется от «полезных» событий.

О стандартах Технического комитета ТК45В МЭК

Чуваев С.В.

НТЦ “Ядерно-физические исследования”, Санкт-Петербург, РФ

Сотрудники АО «НТЦ «ЯФИ» с 2008 года принимают активное участие в работе Международной электротехнической комиссии по разработке международных стандартов в качестве экспертов.

Последние заседания ТК45 «Nuclear instrumentation» (*Ядерное приборостроение*) МЭК и его рабочих групп проходили в г. Кноксвилл (США) в период с 19 по 28 июня 2025 г. В настоящей работе приведена информация о стандартах, разработанных, находящихся в разработке и планируемых к рассмотрению в рабочих группах WG15 и WG17 Технического подкомитета ТК45В «Radiation protection instrumentation» (*Приборы радиационной защиты*).

Рабочая группа WG15 «Illicit trafficking control instrumentation using spectrometry, personal electronic dosimeter and portable dose rate instrumentation »

(«Инструментарий для контроля нелегального перемещения ЯМ с использованием спектрометрии, индивидуальных электронных дозиметров и портативных измерителей мощности дозы»)

Standard	Название стандарта	Год публ.
IEC 62244: Installed radiation monitors for the detection of radioactive and special nuclear materials at national borders	<i>Портальные радиационные мониторы для регистрации радиоактивных и специальных ядерных материалов на национальных границах</i>	2019
IEC 62327: Hand-held instruments for the detection and identification of radionuclides and for the indication of ambient dose equivalent rate from photon radiation	<i>Ручные приборы для обнаружения и идентификации радионуклидов и индикации мощности амбиентного эквивалента дозы фотонного излучения</i>	2018
IEC 62401: Alarming personal radiation devices (PRD) for detection of illicit trafficking of radioactive material	<i>Персональные радиационные детекторы для обнаружения незаконного оборота радиоактивных материалов</i>	2017

IEC 62484: Spectroscopy-based portal monitors used for the detection and identification of illicit trafficking of radioactive material	<i>Спектрометрические портальные радиационные мониторы для регистрации радиоактивных и специальных ядерных материалов на национальных границах</i>	2020
IEC 62533: Highly sensitive hand-held instruments for photon detection of radioactive material	<i>Высокочувствительные ручные приборы для обнаружения фотонного излучения</i>	2010
IEC 62534: Highly sensitive hand-held instruments for neutron detection of radioactive material	<i>Высокочувствительные ручные приборы для обнаружения нейтронного излучения радиоактивных материалов</i>	2010
IEC 62618: Spectroscopy-based alarming Personal Radiation Detectors (SPRD) for the detection of illicit trafficking of radioactive material	<i>Спектрометрические персональные радиационные детекторы для обнаружения незаконного оборота радиоактивных материалов</i>	2022
IEC 62694: Backpack-type radiation detector (BRD) for the detection of illicit trafficking of radioactive material	<i>Радиационные детекторы ранцевого типа для обнаружения незаконного оборота радиоактивных материалов</i>	2022
IEC 62755: Data format for radiation instruments used in the detection of illicit trafficking of radioactive materials	<i>Формат данных для радиационных детекторов для обнаружения незаконного оборота радиоактивных материалов</i>	2020
IEC 63121: Vehicle-mounted mobile systems for the detection of illicit trafficking of radioactive materials	<i>Мобильные системы, радиационных детекторов для обнаружения незаконного оборота радиоактивных материалов, устанавливаемые на транспортных средствах</i>	2020
IEC 63596: Replay tools for radioactive material detection systems	<i>Инструменты воспроизведения для систем обнаружения радиоактивных материалов</i>	В работе

Обсуждались возможности и перспективы развития новых проектов:

«Boat mounted systems standard. Стандарт для систем, монтируемых на судах»;
«Drone mounted systems standard. Стандарт для систем, монтируемых на БПЛА»;
«Detection of neutrons in the presence of photons. Обнаружение нейтронов в присутствии фотонов»

Рабочая группа WG17 «Security Inspection Systems Using Active Interrogation With Radiation»

(«Системы досмотра безопасности, использующие активные методы с использованием радиации»)

Standard	Название стандарта	Год
----------	--------------------	-----

		публ.
IEC 62523: Cargo/vehicle radiographic inspection system	<i>Радиографические системы досмотра транспорта</i>	2010
IEC 62709: Security screening of humans – Measuring the imaging performance of X-ray systems	<i>Технические требования при рентгеновском сканировании людей</i>	2024
IEC 62463: X-ray systems for the screening of persons for security and the carrying of illicit items	<i>Рентгеновские системы для досмотра людей в целях безопасности и проноса запрещенных предметов</i>	2024
IEC 62945: Evaluating the image quality of x-ray Computed Tomography (CT) security-screening systems	<i>Оценка качества изображения рентгеновских компьютерных томографов (КТ) для систем досмотра</i>	2018
IEC 62963: Bottle/can liquid x-ray inspection systems	<i>Системы рентгеновского контроля жидкостей в бутылках/банках</i>	2020
IEC 63085: System of spectral identification of liquids in transparent or semitransparent containers	<i>Система спектральной идентификации жидкостей в прозрачных или полупрозрачных емкостях</i>	2021
IEC 63391: General technical requirements for active millimeter-wave systems for security screening of humans	<i>Технические требования к активным системам миллиметрового диапазона для досмотра людей</i>	2024

Обсуждались возможности и перспективы развития новых проектов:

«Cargo vehicle backscatter standard. Стандарт обратного рассеяния грузовых транспортных средств»;

«Passenger vehicle and bus x-ray inspection system standard. Стандарт системы рентгеновского досмотра пассажирских транспортных средств и автобусов»;

«Technical requirements for X-ray computed tomography security inspection systems. Технические требования к системам досмотра с рентгеновской компьютерной томографией»;

«Evaluating the Automated Prohibited Items Detection Performance for X-ray Imaging Systems. Оценка эффективности автоматического обнаружения запрещенных предметов для систем рентгеновской визуализации».

Следует отметить, что для оборудования радиационного контроля, требования к которому регулируются стандартами МЭК рабочей группы WG15, в Российской Федерации действует лишь один национальный стандарт ГОСТ Р 51635-2000 «Мониторы радиационные ядерных материалов. Общие технические условия», который явно устарел.

Для стандартов МЭК рабочей группы WG17 аналогов в РФ нет вообще.

Требования к досмотровому оборудованию, используемому в системах физической защиты, регулируются национальным стандартом Российской Федерации ГОСТ Р 52860-2007 «Технические средства физической защиты. Общие технические требования». Стандарт введен в действие в 2007 году. За прошедшие с момента введения стандарта годы в процессе научного и технического развития оборудование, применяемое в системах физической защиты, существенно изменилось. Появились новые классы

оборудования, которые активно используются в системах физической защиты (например, обнаружители взрывчатых веществ). Возникла острая необходимость в пересмотре действующего (или разработке нового) нормативного документа.

В 2021 - 2022 гг. проектной рабочей группой ПРГ ФЗ «Системы физической защиты объектов использования атомной энергии» при техническом комитете по стандартизации ТК 322 «Атомная техника» стандарт ГОСТ Р 52860-2007 был кардинально переработан. Ожидалось, что стандарт будет введен в действие до конца 2022 г. Однако прошло три года, в силу каких-то формальных причин стандарт так и не принят.

Предложения по решению проблем недостаточности национальных стандартов в области досмотровой техники и ИТСФЗ заключаются в следующем:

- Ревизия и отмена устаревшей нормативной базы;
- Скорейшая разработка национальных стандартов в области ИТСФЗ и использование международных стандартов МЭК и МАГАТЭ;
- Объединение усилий различных ведомств, заинтересованных в развитии ИТСФЗ, в гармонизации ведомственных нормативов и разработке общенациональных стандартов, соответствующих современному уровню развития техники и науки.

**Исследование возможности создания эталонных полей для
калибровки гамма-спектрометров в диапазоне энергий от 50 кэВ до
10 МэВ**

Моисеев Н.Н., Терещенко Е.Е.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»

Санкт-Петербург

(e-mail: n.n.moiseev@vniim.ru)

Средства измерений, базирующиеся на спектрометрических методах, используются в атомной промышленности - для контроля качества ядерного топлива и мониторинга радиационной обстановки, в медицине - для измерений активности радионуклидов при диагностике и лечении онкологических заболеваний с помощью радиофармпрепаратов и для исследования метаболизма помеченных радионуклидами веществ в организме человека, в центрах гигиены и эпидемиологии - для контроля качества воды и пищевых продуктов и во многих других сферах деятельности.

По данным на начало 2025 года в Федеральном информационном фонде зарегистрировано 179 типов средств измерения, принцип действия которых основан на анализе гамма-спектров.

Все эти средства измерений должны быть обеспечены средствами поверки и калибровки.

В области энергий до 2,7 МэВ эта задача успешно решается с использованием точечных спектрометрических гамма-источников типа ОСГИ.

Для контроля радиационной обстановки вблизи работающих реакторов и ускорителей зараженных частиц, широко используемых в медицине, приходится проводить измерения в полях с более жёстким излучением. Средства калибровки в этом диапазоне энергий отсутствуют.

В отделе измерений ионизирующих излучений ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева» предлагается использовать для этой цели жёсткое гамма-излучение, рождающееся при взаимодействии конструкционных материалов с тепловыми нейтронами.

В работе описана процедура калибровки полупроводникового и сцинтилляционных гамма-спектрометров, результаты калибровок, результаты использования сцинтилляционного спектрометра для аттестации режимов (качеств излучения) R-C и R-F, используемых для калибровки дозиметрической аппаратуры.

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕЙ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ

С.В. Лазаренко, А.Ю. Тараев, А.А. Загороднюк

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
г. Минск, Республика Беларусь*

В работах [1–4] изложен метод измерения средней мощности амбиентного эквивалента дозы (далее – СМАЭД) импульсного микросекундного высокоэнергетического рентгеновского излучения на медицинских ускорителях электронов (далее – ускоритель), для целей установления характеристик дозиметрических средств измерений, в том числе дозиметра рентгеновского и гамма-излучения ДКС-АТ1123, блока-детектирования БДКГ-37 и экспериментального блока БДКГ-206. СМАЭД в опорной точке измерялась эталонным дозиметром ДКС-АТ5350/1 в составе с ионизационной камерой ТМ32002, которая калибровалась в высокоэнергетических полях 4,4 и 6,7 МэВ в национальном метрологическом институте Германии (РТВ). Однако в вышеизложенных работах не затронуты вопросы расчета неопределенностей измерений значения СМАЭД в опорных точках. В данной работе приведена модель расчета СМАЭД в полях ионизирующего излучения ускорителя. На ее основе представлен расчет и бюджет неопределенности измерений СМАЭД согласно требованиям изложенным в ГОСТ 34100.3.2-2017.

Суть модели заключается в переходе от мощности кермы к СМАЭД с помощью коэффициента перехода (значения которого указаны в СТБ ИСО 4037-3-2022) и с учетом поправочных множителей таких как:

- поправочный множитель на ионизационную камеру;
- поправочный множитель на плотность воздуха;
- поправочный множитель на эффект полярности;
- поправочный множитель на рекомбинацию ионов;
- поправочный множитель на погрешность длительности импульса рентгеновского излучения;
- поправочный множитель на погрешность частоты рентгеновского излучения.

Учитывая все составляющие из бюджета неопределенности измерений по типу А и по типу В был получен результат расширенной неопределенности измерений с коэффициентом охвата $k=2$ ($P=0,95$) равный 12,2 %.

Полученное значение расширенной неопределенности (12,2 %) меньше, чем значение основной относительной погрешности для ряда дозиметрических средств измерений, предназначенных для контроля радиационной обстановки. Например, дозиметр рентгеновского и гамма-излучения ДКС-АТ1123, блок-детектирования БДКГ-37 и экспериментальный блок БДКГ-206 имеют пределы допустимой основной относительной погрешности ± 15 % по ^{137}Cs и энергетическую зависимость 50 % для высокоэнергетического излучения. В связи с чем, можно утверждать, что ускорители допустимо применять для проверки работоспособности и калибровки дозиметрических средств измерений по СМАЭД в полях импульсного микросекундного высокоэнергетического рентгеновского излучения.

Литература:

1. Загороднюк, А.А. Влияние свинцового фильтра на среднюю энергию фотонного излучения медицинского линейного ускорителя электронов / А.А. Загороднюк, А.Ю. Тараев, С.В. Лазаренко, Д.И. Комар // АНРИ. – 2023. – №2 (113). – С. 13–24.
2. Загороднюк, А.А. О возможности использования медицинских линейных ускорителей электронов в качестве источника поля эталонного импульсного фотонного излучения / А.А. Загороднюк, А.Ю. Тараев, С.В. Лазаренко // Приборы и методы измерений. – 2023. – №3 (14). – С.179–190.
3. Загороднюк, А.А. Оценка характеристик полей фотонного излучения медицинских линейных ускорителей электронов различных производителей / А.А. Загороднюк, А.Ю. Тараев, С.В. Лазаренко, М.А. Богдан // АНРИ. – 2023. – №4 (115). – С.19–31.
4. Загороднюк, А.А. Оценка функционирования дозиметрического оборудования при проведении измерений в полях импульсного микросекундного фотонного излучения с известными характеристиками / А.А. Загороднюк, А.Ю. Тараев, С.В. Лазаренко, М.В. Масюкович // АНРИ. – 2024. – №2 (117). – С.17–26.

Комплексный подход к определению характеристик мёссбауэровских источников

В.А. Козуб, А.В. Копылов, В.Г. Семенов, А.Б. Рогозов, И.В. Бурьяненко

АО «РИТВЕРЦ», Санкт-Петербург

(vkozub@ritverc.com)

Эффект Мёссбауэра является одним из наиболее точных инструментов аналитической химии и физики твердого тела, обеспечивающим исключительно высокое энергетическое разрешение. Широкое применение мёссбауэровской спектроскопии в материаловедении, химии и нанотехнологиях требует использования источников излучения с точно известными мессбауэровскими характеристиками. Ключевыми параметрами, определяющими качество источника, являются ширина резонансной линии (Γ) и фактор Лэмба-Мёссбауэра (f -фактор). Отсутствие аттестованной методики их измерения обуславливает актуальность данной работы.

В данной работе апробированы два независимых метода для аттестации мессбауэровских источников на основе Co-57 путем точного измерения ширины резонансной линии и f -фактора. Определение ширины линии проводилось методом экстраполяции к нулевой толщине поглотителя с использованием набора поглотителей из ферроцианида калия ($\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$), а измерение f -фактора источника выполнялось прямым методом «чёрного поглотителя» (бесконечно толстого резонансного поглотителя), позволяющим определить вероятность безфононного резонансного поглощения.

Разработанный комплексный подход позволяет проводить аттестацию мессбауэровских источников. Методы экстраполяции к нулевой толщине и «чёрного поглотителя» рекомендованы для использования в качестве стандартных процедур для определения ширины линии и f -фактора соответственно. Представленная методика обладает потенциалом для адаптации к другим мессбауэровским изотопам, что способствует стандартизации измерений и повышению достоверности данных в мёссбауэровской спектроскопии.

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТИПОВ ЭТАЛОНОВ И СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Э. А. Титов, А. Б. Рогозов, Ю. В. Лобанов, Ю. А. Тычинкин
АО «РИТВЕРЦ», Санкт-Петербург

Проблема легитимности применения растворов радионуклидов возникла уже давно. Ещё в далёком 2016 году выдача свидетельств о поверке растворов была прекращена, поскольку в 2015 году была зарегистрирована и введена в эксплуатацию федеральная государственная информационная система «Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений», а растворы не были в неё включены. В тоже время, в соответствии с действующей поверочной схемой, утверждение типа эталонных растворов оказалось невозможным по ряду объективных причин.

В результате этого в отрасли образовался «пробел» ввиду того, что передача единицы измерений удельной активности радионуклида от Государственного эталона была приостановлена. Чтобы хоть как-то решить эту проблему и удовлетворить потребность в растворах радионуклидов, применяемых для калибровки, поверки и испытаний в целях утверждения типа радиометрических и спектрометрических средств измерения, для аттестации методик измерений, для проведения МСИ, и обеспечить прослеживаемость измерений, ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» проводил калибровку этих растворов по удельной активности целевого радионуклида.

Ситуация поменялась в декабре 2022 года, приказом Министерства промышленности и торговли РФ была введена новая Государственная поверочная схема для СИ активности радионуклидов, удельной активности радионуклидов, потока альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников, разработанная ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» (ГОСТ 8.033). В новой поверочной схеме вместо знакомых всем эталонных растворов появилась новая ветвь – стандартный образец удельной активности радионуклидов.

Первопроходцем в работе по испытаниям растворов радионуклидов в целях утверждения типа Стандартного образца стал ФГУП «ПО «МАЯК», утвердив по новой поверочной схеме стандартный образец тритиевой воды, а затем расширил свою линейку изотопов. Далее ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» разработал и утвердил тип стандартных образцов, представляющих собой смесь радионуклидного раствора и жидкого сцинтиллятора.

Параллельно РИТВЕРЦ вёл разработку более широкой номенклатуры радионуклидов. В процессе подготовки к процедуре испытаний был проведён анализ поставок радионуклидных растворов за прошедшие пять лет и выделены 12 наиболее востребованных изотопов: **H-3; C-14; Co-57; Co-60; Sr-90 + Y-90; Ba-133; Cs-137; Eu-152; Pu-238; U-238; Pu-239; Am-241.**

Процедура испытаний в целях утверждения типа СО выполнялась во ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» и прошла успешно. В ближайшее время в Федеральном информационном фонде по Обеспечению единств измерений появятся записи об утверждении новых типов стандартных образцов удельной активности альфа-, бета- и гамма-излучающих радионуклидов в растворах.

Таблица 1

Тип СО	Символ радионуклида	Химическая форма	Растворитель	Примесные радионуклиды	Содержание радионуклидных примесей, %, не более	Удельная активность раствора радионуклида ^{2), 3)} , кБк/г
СО УАР-Б-РТ	H-3	Вода	Вода	В сумме	0,1	1 - 1000
	C-14	Тимин	Вода	В сумме	0,1	1 - 100
		Карбамид				
СО УАР-Г-РТ	Co-57	Хлорид	Соляная кислота	Кобальт-56	0,1	1 - 1000
				Кобальт-58	0,05	
	Co-60	Хлорид	Соляная кислота	В сумме	0,1 ¹⁾	1 - 1000
СО УАР-Б-РТ	Sr-90 + Y-90	Нитрат	Азотная кислота	В сумме	0,1	1 - 1000
СО УАР-Г-РТ	Ba-133	Хлорид	Соляная кислота	В сумме	0,01	1 - 1000
		Ацетат	Уксусная кислота			
	Cs-137	Нитрат	Азотная кислота	Цезий-134	0,2	1 - 1000
		Хлорид	Соляная кислота	Другие	0,15	
	Eu-152	Хлорид	Соляная кислота	В сумме	1,0	1 - 1000
СО УАР-А-РТ	Pu-238	Нитрат	Азотная кислота	В сумме	0,4	0,1 - 100
	U-238	Уранил азотнокислый	Азотная кислота	В сумме	1,5	0,1 - 1
	Pu-239	Нитрат	Азотная кислота	В сумме	0,1	0,1 - 100
СО УАР-Г-	Am-241	Нитрат	Азотная	В сумме	0,2	5 - 1000

РТ			кислота			
Примечания:						
1) Указаны примеси по гамма-излучающим радионуклидам.						
2) Отклонения от номинальных значений удельной активности радионуклида не должны превышать $\pm 20\%$.						
3) Доверительные границы относительной погрешности измерений метрологических характеристик СО не превышают $\pm 5\%$ ($P = 0,95$)						

Ещё одной, весьма актуальной темой, является вопрос обеспечения отрасли и профильных организаций планарными источниками для испытаний, поверки и калибровки установок контроля поверхностной загрязненности персонала.

На рынке уже давно существуют изделия на основе изотопов **Sr-90** и **Pu-139**, однако они не полностью закрывают требования нормативных документов к средствам измерения загрязнения поверхности альфа-, бета-излучающими радионуклидами. Требовались источники на основе изотопов **C-14**, **Cl-36**, **Co-60**, **Cs-137** и **Am -241**.

Помимо прочего, в новой государственной поверочной схеме вернулась характеристика источника – плотность потока частиц. Чтобы аттестовать источник и по этой характеристике возникла необходимость контролировать равномерность нанесения активности на подложку. А вышедший в конце 2024 года ГОСТ Р 8.1035 определил требования к характеристике равномерности и методы её оценки.

В результате этой разработки в АО «РИТВЕРЦ» появятся абсолютно новые изделия: планарные источники альфа-, бета-излучения закрытые, с большим выбором радионуклидов (Таблица 2) и уже привычными габаритными характеристиками активной части (Таблица 1). В настоящий момент источники проходят процедуру испытаний в целях утверждения типа СИ. Источники будут утверждены в качестве рабочих эталонов 1-го разряда по потоку и плотности потока альфа-, бета-частиц в телесный угол 2π ср, с⁻¹ (ГОСТ 8.033-2023).

Внесение в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений запланировано на первую половину 2026 года.

Таблица 2

Типоразм ера	Размеры		
	Источник	Активный слой	
	Диаметр или длина × ширина, мм	Диаметр или длина × ширина, мм	Площадь, см ²
P.1	35	12	1,3
P.2	52	22	3,8
P.3	66	36	10,2
P.4	101	71	39,6
P.5	143	113	100,3
P.6	185 × 135	155 × 105	162,8

Таблица 3

Радионуклид	Номинальная активность радионуклида в источнике, кБк						
	C-14	Cl-36	Co-60	Sr-90 + Y-90	Cs-137	Pu-239	Am-241
P.1	0,185 – 3	0,185 – 0,3	0,185 – 3	0,185 – 3	0,185 – 1	0,185 – 3	0,185 – 3
P.2	0,185 – 3	0,185 – 1	0,185 – 3	0,185 – 10	0,185 – 1	0,185 – 10	0,185 – 10
P.3	0,185 – 3	0,185 – 2	0,185 – 3	0,185 – 30	0,185 – 1	0,185 – 30	0,185 – 30
P.4	0,185 – 3	0,185 – 3	0,185 – 3	0,4 – 100	0,185 – 3	0,185 – 30	0,185 – 30
P.5	0,185 – 5	0,185 – 3	0,185 – 3	0,5 – 300	0,185 – 3	0,185 – 50	0,185 – 30
P.6	0,185 – 10	0,185 – 5	0,1851 – 5	0,5 – 2000	0,185 – 3	0,185 – 50	0,185 – 50

Актуальные вопросы метрологического обеспечения радиационного контроля в Узбекистане

Лукашевич Р.В.

ООО «MEDTEXATOM», г. Ташкент, Республика Узбекистан

В мировой практике отмечается устойчивая тенденция развития метрологического обеспечения в сфере радиационного контроля. Эта сфера формирует основу для обеспечения надежности радиационного мониторинга, медицинской диагностики, ядерной энергетики и экологической безопасности. Международные организации такие как МАГАТЭ, ISO, COOMET и др. подчеркивают необходимость гармонизации методик, развития эталонной базы и проведения межлабораторных сличений для обеспечения сопоставимости и прослеживаемости результатов измерений.

В Узбекистане в последние годы наблюдается формирование внутреннего запроса на развитие эталонной и приборной базы в том числе в сфере радиационного контроля. Рост потребностей со стороны научных учреждений, медицинских организаций и промышленных предприятий актуализирует задачи по созданию современной метрологической инфраструктуры в этой сфере. При этом парк приборов в стране постепенно обновляется, однако остаётся недостаточно насыщенным, что ограничивает возможности проведения комплексных исследований и радиационно-гигиенического контроля.

К числу приоритетных направлений развития относятся внедрение прецизионных спектрометрических систем, цифровых дозиметрических комплексов и радиометров нового поколения, интегрированных в автоматизированные системы мониторинга. Важным условием является соответствие международным стандартам и обеспечение возможности участия в региональных и международных сличениях эталонов.

Отмечая высокий потенциал и растущие потребности в Узбекистане, группа компаний **МЕДТЕХАТОМ** инициировала свою деятельность на территории страны. Этот шаг был обусловлен как объективными тенденциями развития метрологии и радиационного контроля, так и запросом со стороны государственных и частных организаций на развитие метрологической инфраструктуры в сфере радиационного контроля, а также внедрение передовых технологий измерений и испытаний.

В условиях недостаточной насыщенности лабораторий современными средствами и методами измерений, первоочередным шагом стало создание испытательного лабораторного центра. Этот шаг позволяет не только сформировать базу для собственных исследований, испытаний и валидации методик, но и создать инфраструктуру для взаимодействия с потенциальными заказчиками и партнерами.

Лаборатория ориентируется на формирование комплексной системы радиационно-гигиенического контроля, охватывающей как объекты окружающей среды, так и условия труда и медицинской деятельности. Планируемая область аккредитации включает широкий спектр объектов контроля — от оценки природных и техногенных факторов до мониторинга производственных процессов и медицинской техники отделений лучевой диагностики и терапии. Такой подход обеспечивает полноту и достоверность измерений,

необходимых для ввода объектов в эксплуатацию, оценки воздействия на персонал и население, проведения санитарно-гигиенических обследований.

Следующим этапом развития является **налаживание сотрудничества с государственными и частными структурами** и выход на рынок как надежного поставщика оборудования. Наша цель — не только обеспечить организации современными средствами измерений, но и создать условия для их квалифицированного применения, включая обучение специалистов, сервисное и метрологическое сопровождение.

Таким образом, формирование современной инфраструктуры метрологического обеспечения радиационного контроля в Узбекистане становится стратегической задачей, от решения которой зависит как повышение качества и достоверности измерений, так и развитие рынка приборостроения и интеграции страны в международное метрологическое сообщество.

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ, ИЗГОТОВЛЕНИЯ, ПОСТАВКИ И ВВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ПОВЕРОЧНЫХ УСТАНОВОК И СТЕНДОВ ГАММА-, БЕТА-, РЕНТГЕНОВСКОГО И НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЙ

К.Г. Сеньковский, В.А. Кожемякин, В.Д. Гузов, В.Л. Раскоша, В.А. Николаев, В.В. Храмов

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
г. Минск, Республика Беларусь*

Обеспечение единства измерений в метрологии ионизирующих излучений невозможно без системы эталонов (национальных, первичных, вторичных, рабочих) измеряемых приборами единиц. Предприятие «АТОМТЕХ» уже почти 20 лет вносит свой вклад в развитие этой системы в странах СНГ и дальнего зарубежья. За эти годы были разработаны, изготовлены и поставлены заказчикам 29 эталонных дозиметрических установок гамма-излучения (УДГ-АТ110 и УДГ-АТ130), 5 поверочных установок нейтронного излучения (УПН-АТ140), 2 поверочных установки рентгеновского излучения (УПР-АТ300), стенд АТ-03 в составе установки УЭД5-50М Государственного первичного эталона Российской Федерации ГЭТ8-2011, стенд СИРИ-01 для модернизации Государственного эталона Российской Федерации импульсного рентгеновского излучения ГЭТ134-82, автоматизированная экстраполяционная ионизационная камера бета-излучения МЭК-1 и стенд С-1 в составе Государственного первичного эталона Российской Федерации ГЭТ9-2018 и в составе Национального эталона единиц мощности поглощенной дозы бета-излучения Республики Беларусь, установка дозиметрическая бета-излучения УДБ-АТ200 [1–5]. Для обеспечения требований в области измерений низкоинтенсивного гамма-излучения завершается разработка установки гамма-излучения с защитой от внешнего излучения УДГН-АТ100.

Разработка и изготовление эталонного оборудования ведётся в тесном взаимодействии с заказчиками. Для успешной эксплуатации эталонного оборудования, при разработке учитываются требования национальных и международных стандартов, требований радиационной безопасности, требования и особенности помещений заказчиков для размещения эталонного оборудования. Каждая установка адаптирована под место и особенности ее применения. Поставка установок включает полный комплекс мероприятий, необходимых для их успешного ввода в эксплуатацию и использования по назначению: согласование технического задания, разработка схемы размещения, оценка радиационной защиты помещения и выработка рекомендаций по ее улучшению, корректировка конфигурации и комплектности поставки, изготовление и приемосдаточные испытания, поставка заказчику, монтаж и пуско-наладка, сопровождение при загрузке источников, подготовке к первичной поверке и самой поверке установок, обучение персонала работе на установках и их обслуживанию.

Постоянно проводится отслеживание изменений в нормативно-правовой базе и обработка запросов пользователей для совершенствования уже разработанных изделий и разработки новых.

Литература:

1. Гузов, В. Д. Комплект автоматизированных поверочных дозиметрических установок гамма- и нейтронного излучения / В. Д. Гузов, В. А. Кожемякин, Р. В.

Лукашевич // 8-я Междунар. науч. конф. по военно-техн. проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения, Минск, 16–17 мая 2019 г. : сб. науч. статей. В 5 ч. Ч. 1 / Государственный военно-промышленный комитет Республики Беларусь. – Минск, 2019. – С. 49–51.

2. Кожемякин, В. А. Автоматизированные эталонные средства градуировки дозиметрической аппаратуры / В. А. Кожемякин // 30-я Международная научно-техническая конференция «Экстремальная робототехника», г. Санкт-Петербург, 13–15 июня 2019 г. : сб. тезисов / ЦНИИ робототехники и технической кибернетики. – Санкт-Петербург, 2019. – С. 365–367.

3. Кожемякин, В. А. Эталонное поверочное оборудование и средства измерений для градуировки дозиметрической аппаратуры / В. А. Кожемякин [и др.] // Ядерное приборостроение. Актуальные вопросы разработки, производства, эксплуатации. Метрология ионизирующих излучений: материалы науч.-техн. конф. : Сочи, 21–24 окт. 2019 г. : тез. докл. / АО «СНИИП». – Москва, 2019. – С. 18–19.

4. Кожемякин, В. А. Современное эталонное поверочное оборудование для градуировки дозиметрической аппаратуры / В. А. Кожемякин, В. Д. Гузов, В. Д. Зайцев, Р. В. Лукашевич, В. А. Николаев, В. Л. Раскоша, К. Г. Сеньковский // Автоматизированные системы управления технологическими процессами АЭС и ТЭС: материалы II Международной научно-технической конференции, Минск, 27–28 апреля 2021 / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2021. – С. 125–126.

5. Гузов, В. Д. Исследование характеристик полей от дозиметрических источников бета-излучения на установке УДБ-АТ200 / В. Д. Гузов, Р. И. Титков, С. А. Федина, В. А. Тренкин // АНРИ. – 2022. – №4 (111). – С. 61–65.

Семейство установок паспортизации РАО производства АО «НПЦ «АСПЕКТ»

Прохоров А.В.

АО «НПЦ «АСПЕКТ», г. Дубна, prohorov@aspect-dubna.ru

В докладе рассматривается ретроспектива, современное положение дел и перспективы разработки и применения установок паспортизации радиоактивных отходов производства АО «НПЦ «АСПЕКТ».

Рассматриваются принципы построения систем паспортизации РАО на основе семейства установок паспортизации СКГ-03, разработанного с учётом двадцатилетнего опыта разработки и производства предыдущего семейства установок СКГ-02.

За всё время нашим предприятием было произведено и поставлено более ста единиц установок паспортизации радиоактивных отходов. Наш опыт показывает, что задачи паспортизации сильно различаются: по категориям отходов, по нуклидному составу РАО, по геометрии измеряемых упаковок РАО, по условиям измерений; поэтому невозможно спроектировать одну универсальную установку для решения любой задачи паспортизации. Вместо этого требуются десятки вариантов установок.

Применяемые технические решения установок СКГ-03 позволяют проводить категоризацию радиоактивных отходов всех существующих категорий, а также осуществлять вывод из-под регулирующего контроля отходов, не являющихся РАО; проводить категоризацию РАО в любых стандартизованных геометриях (крафт-мешки, бочки, биг-бэги, стальные и бетонные контейнеры, капсулы для средне- и высокоактивных отходов, упаковочные комплекты типа УКТ, и т.п.). Установки паспортизации могут быть снабжены несколькими детекторами различных типов, что позволяет оптимизировать габаритные размеры установок и сократить время измерения упаковок с РАО. При разработке конечных решений особое внимание уделяется автоматизации процессов измерения и минимизации «человеческого фактора», что позволяет снизить дозовую нагрузку на обслуживающий персонал и таким образом повысить уровень безопасности труда.

Программное обеспечение установок позволяет управлять спектрометрическими и дозиметрическими трактами установок, различными внешними устройствами (актуаторами, двигателями, поворотными платформами, весами, сканерами штрих-кодов, сигнализацией), позволяет выполнять сопряжение с внешними устройствами (СКУ), реализует метод радионуклидного вектора, выдаёт паспорт упаковки РАО в соответствии с действующими нормативами. Программное обеспечение установок включено в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных.

Установки паспортизации радиоактивных отходов СКГ-03 являются средством измерения, для них разработана и аттестована методика измерений, на установки получены сертификаты соответствия требованиям ТР ТС 004/2011 и ТР ТС 020/2011.

Средства радиационного контроля акваторий и подводных радиационно-опасных объектов

Лебедева Т.Г., Пономаренко А.В., Пономаренко Р.А.,

ООО «НИЦ «ЛСРМ», 2025

Погружные средства и системы радиационного контроля акваторий и подводных радиационно-опасных объектов представляют собой автономные герметичные спектрометры и дозиметры- радиометры, созданные для погружения в воду любой солености на глубины с исполнениями 0-30 м, 0-400 м и 0-12 000 м.

Обеспечивается контроль объемной активности гамма-излучающих радионуклидов и донных отложений, дозовых полей и потока ионизирующих излучений.

Выпускаются в формате переносных средств контроля (чемодан), обладающих собственной системой электропитания и размещаемых на любом плавсредстве. Два исполнения: эксплуатируемые в режиме постоянного погружения с автоматическим режимом измерений и размещаемые на плавсредстве и погружаемые в точке контроля, размещаемые на погружных носителях с получением информации в режиме он-лайн.

Для измерений в режиме он-лайн комплекс снабжается системой питания и защищенным ПК с ПО «ГИС Акватория», где обеспечивается отображение на ГИС-платформе карты акватории, точек контроля и результатов измерения объемной активности радиоактивных гамма-излучающих радионуклидов, дозовых полей и потока ионизирующих излучений. В автоматическом режиме обеспечивается сохранение данных на встроенный носитель информации или передача данных на верхний уровень АСРК.

Комплекс в зависимости от исполнения поставляется в капролоновых или глубоководных титановых капсулах с интерфейсом передачи данных по проводному или оптическому каналам Ethernet. Спектрометрические детекторы реализованы на основе материалов BGO, NaI(Tl), LaBr, CeBr, SrI(Eu), CdZnTe под задачу. Дозиметры-радиометры гамма и нейтронного излучения с интерфейсом передачи данных по проводному или оптическому каналам Ethernet в погружном исполнении реализованы впервые.

Все встроенные средства измерения внесены в Реестр СИ РФ, все системы, изготавливаемые ООО «НИЦ «ЛСРМ», обеспечены комплектом поверочным для проведения поверки без демонтажа.

Передвижные лаборатории радиационного контроля

Лебедева Т.Г., Пономаренко А.В., Пономаренко Р.А.

ООО «НИЦ «ЛСРМ», 2025

ООО «НИЦ» ЛСРМ предлагает инновационные средства контроля радиационной обстановки в составе передвижных лабораторий радиационного контроля, апробированные на Российских АЭС, в МЧС РФ и МО РФ, выпускаемые серийно.

Наиболее востребованные технические решения для автоматизированного контроля радиационной обстановки (РО) на территории промплощадки, в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения:

1. Унифицированные комплексы мониторинга радиационной и метеорологической обстановки АМК на мобильной платформе, управляемые одним оператором.
2. Бортовые поисковые системы серии спектрометров «Скай-гамма» на основе СЕГР-МСА527 TM.
3. Робототехнические и беспилотные системы контроля для аварийной ситуации.

Особенностью передвижных лабораторий радиационного контроля является:

- автоматизация процессов измерения;
- оборудование радиационного контроля монтируется на борту автомобиля и обеспечивает дистанционное измерение параметров РО;
- процесс измерения управляется одним оператором с ПК автомобиля;
- результатом измерения является электронная карта местности или паспорт территории.

Передвижные лаборатории радиационного контроля оснащаются:

- магистралью пробоотбора аэрозолей, подключаемой к оборудованию измерения объемной активности радиоактивных аэрозолей в режиме on-line и отображением результатов на карте местности;
- поисковыми системами бортового размещения «Скай-гамма», кроме стандартных функций гамма-съемки местности (контроля мощности дозы) система сигнализирует превышение пороговых значений МЭД и обеспечивает идентификацию радионуклидов и расчет активности непосредственно с борта автомобиля (без пробоотбора);

Результатом измерения спектрометров «Скай-гамма» является карта загрязненности местности, где изолиниями и цветовой индикацией указаны разные уровни МЭД, в точках локализации источников отображен радионуклидный состав источника и активность его нуклидов, паспорт загрязненной территории.

Система обеспечивает создание автоматических отчетов за рабочий день (наряд).

Комплексы снабжаются системами радиосвязи, автоматизированной системой индивидуального дозиметрического контроля, системой электроснабжения, при необходимости – системами безопасного хранения отобранных радиоактивных проб почвы, воды, фильтров (освинцованные спецконтейнеры и сейфы).

Передвижные лаборатории на отечественных шасси разработаны для оснащения робототехническими комплексами (РТК) и беспилотными летательными аппаратами с оборудованием дистанционного контроля зоны загрязнения в режиме рутинного радиационного контроля и в режиме аварии.

Передача данных осуществляется на ПК автомобиля и отображается в виде результата измерений на карте местности.

Роботы и беспилотные аппараты снабжаются не только средствами дозиметрического контроля, но и полноценными спектрометрами. РТК для контроля загрязнения почвы альфа- и бета радионуклидами дополнительно оснащаются радиометрическим оборудованием.

Приняты на снабжение и поставляются серийно спектрометрические аппаратные комплексы удаленного обнаружения и идентификации гамма-нейтронных источников в составе ПРЛ, в том числе для нужд МО.

Современные установки спектрометрические рентгеновского и гамма -излучений СЕГР-МСА527 включают детекторы высокого разрешения на основе современных материалов LaBr, CeBr, SrI(Eu), CdZnTe с полностью цифровыми МКА с помехозащищенным интерфейсом передачи данных Ethernet.

Кроссплатформенное спектрометрическое и ГИС программное обеспечение реализовано на ОС Linux SE, в т.ч. с сертификатом МО РФ, или на Windows по требованию заказчика.

Все системы, изготавливаемые ООО «НИЦ «ЛСРМ», обеспечены аттестованными методиками выполнения измерений, комплектом поверочным для проведения поверки без демонтажа.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДОЗИМЕТРА ДКС-АТ1123 В ПОЛЯХ ИМПУЛЬСНОГО ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МИКРОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА

И.А. Алексейчук, А.Ю. Тараев, А.А. Загороднюк,
В.Н. Вороньков, В.И. Петров, С.В. Лазаренко

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
г. Минск, Республика Беларусь*

В настоящий момент в промышленности и медицине увеличивается количество и разнообразие оборудования, которое генерирует непрерывное и импульсное фотонное излучение. В связи с этим увеличивается потребность в приборах дозиметрического контроля, которые способны работать в данных полях. Для возможности проверки корректности измерений дозиметров в полях импульсного фотонного излучения необходимы установки, способные генерировать эталонное импульсное излучение с заданными дозиметрическими характеристиками. Одной из таких установок является медицинский линейный ускоритель электронов (далее – ЛУЭ), способный генерировать стабильное и воспроизводимое (с точки зрения дозиметрических величин) поле импульсного микросекундного фотонного излучения (далее – ИМкФИ).

Целью исследования являлась оценка работы дозиметра ДКС-АТ1123 в полях ИМкФИ генерируемых ЛУЭ, основные значения характеристик которых не превышают паспортные значения прибора. Оценка работы дозиметра производилась путем прямых измерений средней мощности амбиентного эквивалента дозы (СМАЭД), генерируемой ЛУЭ в заданной точке, с последующим сопоставлением полученных результатов измерения с опорными величинами. Под опорной величиной понимается значение СМАЭД в заданной точке, измеренное при помощи высокоточного эталонного дозиметра ДКС-АТ5350 в составе с ионизационными камерами компании PTW-Freiburg (Германия) ТМ-30010 (наперстковая ионизационная камера с активным объемом 0,6 см³) и ТМ-32002 (сферическая ионизационная камера с активным объемом 1000 см³). При измерениях в высокоэнергетических полях ЛУЭ использовались защитные колпачки для того, чтобы в активном объеме ИК наступило электронное равновесие.

В качестве источника импульсного микросекундного фотонного излучения использовались медицинские линейные ускорители ElektaInfinity, VarianVitalBeam, VarianClinacIX с режимами работы 6, 10, 15, 18 МВ при разных значениях мощности дозы от 5 до 640 мониторных единиц (МЕ) в минуту [1–3]. Длительность импульса данных ЛУЭ варьировалась от 2 до 3,5 мкс, в зависимости от производителя. Частота следования импульсов пропорционально зависит от установленного значения мониторных единиц на ЛУЭ, максимально 400 Гц. Интересно отметить, что при одинаково установленном на ЛУЭ значении МЕ при различных режимах работы (6 – 18 МВ) частота следования импульсов отличается в 2 раза, что приводит к соответствующему изменению МАЭД в импульсе. Если не учитывать этот факт, можно значительно перегрузить прибор и получить неверные значения. Длительность и частота импульсов измерялась при помощи предназначенного для этого блока детектирования БДКГ-206 (новое изделие УП «АТОМТЕХ»). Значение СМАЭД в точке измерения задавалось отпускаемой ускорителем мощностью дозы (МЕ) и дополнительным свинцовым фильтром, используемым для уменьшения интенсивности излучения ЛУЭ до значений, попадающих в диапазон измерения исследуемого дозиметрического оборудования.

Оценка работоспособности дозиметра ДКС-АТ1123 в полях ИМкФИ, генерируемых ЛУЭ производилась следующим образом:

- на выходе излучателя ЛУЭ устанавливался дополнительный свинцовый фильтр заданной толщины;
- задавался режим работы и количество отпускаемых ЛУЭ мониторинговых единиц;
- определялось опорное значение СМАЭД в точке, расположенной на расстоянии 2 метра от зеркала ЛУЭ, путем прямых измерений с помощью эталонного дозиметра ДКС-АТ5350 в составе с ионизационной камерой и рассчитывалось значение в $\dot{H}^*(10)$ исходя из качества излучения;
- в точку измерения устанавливался дозиметр ДКС-АТ1123, показания которого сравнивались с опорными значениями, измеренными ДКС-АТ5350.

Установлено, что отклонение показаний дозиметра ДКС-АТ1123, работающего в поле ИМкФИ, генерируемого ЛУЭ, от опорных величин зависит как от значения СМАЭД, генерируемой в точке измерения, так и от мощности амбиентного эквивалента дозы в единичном импульсе (далее – МАЭД в импульсе) [4]. При МАЭД в импульсе $< 0,2$ Зв/с, отклонение измеренных величин СМАЭД от опорных составляет менее 10 %. При МАЭД в импульсе, лежащей в интервале $0,2$ Зв/с – $0,5$ Зв/с, отклонение достигает 33 %. При МАЭД в импульсе большей чем $0,5$ Зв/с, отклонение может достигать значений больших чем 70 %.

Во время проведения работы протестированы новые алгоритмы работы дозиметра ДКС-АТ1123, позволяющие определять появление импульсного излучения и производить необходимые переключения в автоматическом режиме.

Для сглаживания энергетической зависимости прибора при измерении высоких энергий разработан и протестирован колпачок, выравнивающий энергетическую зависимость в диапазоне от 12 до 20 МэВ.

Литература

1. Загороднюк, А.А. Влияние свинцового фильтра на среднюю энергию фотонного излучения медицинского линейного ускорителя электронов / А.А. Загороднюк, А.Ю. Тараев, С.В. Лазаренко, Д.И. Комар // АНРИ. – 2023. – №2 (113). – С. 13–24.
2. Загороднюк, А.А. О возможности использования медицинских линейных ускорителей электронов в качестве источника поля эталонного импульсного фотонного излучения / А.А. Загороднюк, А.Ю. Тараев, С.В. Лазаренко // Приборы и методы измерений. – 2023. – №3 (14). – С.179–190.
3. Загороднюк, А.А. Оценка характеристик полей фотонного излучения медицинских линейных ускорителей электронов различных производителей / А.А. Загороднюк, А.Ю. Тараев, С.В. Лазаренко, М.А. Богдан // АНРИ. – 2023. – №4 (115). – С.19–31.
4. Загороднюк, А.А. Оценка функционирования дозиметрического оборудования при проведении измерений в полях импульсного микросекундного фотонного излучения с известными характеристиками / А.А. Загороднюк, А.Ю. Тараев, С.В. Лазаренко, М.В. Масюкович // АНРИ. – 2024. – №2 (117). – С.17–26.

Применение программного обеспечения ООО «ЛСРМ» в образовательном процессе

Н.С. Тележинская, Е.А. Ковальский, М.Б. Кувыкина,
С.Л. Соловьева, Д.А. Бирюков, В.Н. Фесенко, И.В. Дудина,
Д.А. Яковлев, А.А. Подстрельнова

ООО «ЛСРМ», г. Зеленоград, Россия.

Проведение спектрометрических измерений требует особого подхода к обучению специалистов. Еще на этапе получения образования студентам необходимо приобретать теоретические знания и практический опыт работы, а в дальнейшем – регулярно их актуализировать и совершенствовать. При этом создание учебных лабораторий сопряжено с существенными затратами, что затруднительно даже для крупных предприятий и образовательных организаций.

Программное обеспечение (ПО) ООО «ЛСРМ» позволяет эмулировать весь процесс спектрометрических измерений. Программы для проведения измерения и обработки спектров семейства SpectraLine не привязаны к спектрометрам конкретного производителя. С их помощью можно эмулировать процесс измерения спектров и проводить обработку полученных данных с учетом специфики конкретного типа детектора. Программы для моделирования методом Монте-Карло Nuclide Master Plus и EffMaker предоставляют возможность создания моделей большинства используемых на практике спектрометров. Nuclide Master Plus позволяет рассчитывать эффективность регистрации и проводить генерацию гамма-спектров для произвольного набора радионуклидов в лабораторных геометриях, EffMaker – для больших объектов сложной формы. К ПО «ЛСРМ» прилагается методическое обеспечение в виде подробных лабораторных работ, список которых постоянно пополняется. Кроме того, в настоящее время ведется работа над специальным обучающим режимом в каждой из программ «ЛСРМ». Таким образом, можно создать полноценную виртуальную измерительную лабораторию без оборудования, без источников излучения и лицензии на работу с ними, без обеспечения специальных условий или подготовки специализированного помещения: нужно лишь наличие ПК.

Поскольку ПО «ЛСРМ» уже более четверти века применяется для решения спектрометрических задач в разных сферах и используется на многих предприятиях ГК «Росатом», в том числе на всех действующих и строящихся АЭС, нашей компанией сделан акцент на внедрении ПО в образовательный процесс. ПО «ЛСРМ» уже используется во многих высших учебных заведениях, которые готовят специалистов в области атомной энергетики: НИЯУ МИФИ, Химический факультет МГУ, Томский политехнический университет, Кабардино-Балкарский государственный университет, Новосибирский государственный технический университет, Воронежский государственный университет, Белорусский национальный технический университет,

Техническая академия Росатома, г.Обнинск и Филиал академии в г. Санкт-Петербург. Также наше ПО используется в образовательном процессе в университетах Чехии, Италии, Египта. В ходе такого сотрудничества ПО «ЛСРМ» регулярно совершенствуется, а обучающиеся получают знания и опыт, которые будут им нужны в их дальнейшей работе на предприятиях атомной энергетики как в нашей стране, так и за ее пределами.

Учебный центр «ЛСРМ» на регулярной основе проводит курсы повышения квалификации для специалистов в области практической спектроскопии. В ходе обучения объясняются теоретические основы природы излучений и проводятся практические занятия с использованием реальных полупроводниковых и сцинтилляционных спектрометров и калибровочных источников, где слушатели под руководством преподавателей выполняют все шаги процесса измерения и обработки спектров, а также подробно изучают большинство возможностей ПО «ЛСРМ». Слушателям выдаются удостоверения о повышении квалификации государственного образца.

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДЕТЕКТОРОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК

Смирнов А.А., Бабин В.И., Молодых Н.В, Вороньков В.Н., Алексейчук И.А., Кожемякин В.А., Шмидберская А.П.

АО «Институт физико-технических проблем»

Системы радиационного контроля являются неотъемлемой частью на объектах использования атомной энергии. Для контроля поглощаемой дозы внешнего ионизирующего излучения (ИИ) используются блоки детектирования и дозиметры, одним из важных элементов которых является детектор ИИ. В качестве основы для детекторов ИИ используют пластмассовые сцинтилляторы (ПС), преимуществом которых является возможности изменять типоразмер, варьировать состав для регистрации различных типов излучения, а также сравнительно недорогой способ их изготовления.

ПС обладают определенными ограничениями при регистрации рентгеновских лучей и мягких γ -квантов поскольку их химический состав в основном характеризуется элементами с малой атомной массой. Проблему можно решить путем добавления в состав ПС соединений тяжелых металлов, что позволит повысить эффективность регистрации высокоэнергетических фотонов.

В качестве металлоорганических добавок были выбраны органические соединения таких металлов как свинец, олово и сурьма. Для получения образцов была произведена модификация программы полимеризации в результате которой были получены образцы обладающие достаточно высокой прозрачностью (рис 1).

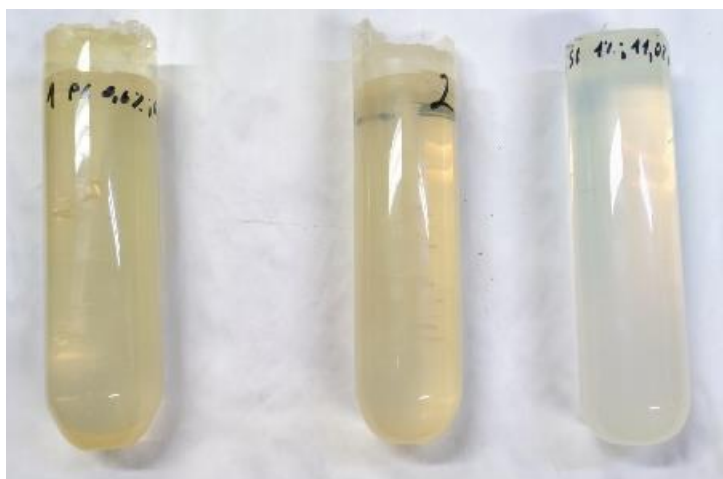


Рисунок 1. Полученные в результате модификации программы полимеризации образцы

Световыход полученных образцов сравнивался с зарубежным аналогом d30x15 мм

производства США (EJ 265), изготавливаемого на основе поливинилтолуола с добавкой 0,8% Pb (по весу). В таблице 1 представлены образцы с самым высоким показателем световыхода.

ПС с добавками	EJ 265	Pb (0.8%)	Sn (0.8%)	Sb (0.8%)
Световыход, УЕСВ	0.24	0.27	0.45	0.2

Таблица 1. Сравнение полученных сцинтилляторов с аналогом EJ 265

Для анализа также применялось математическое моделирование образцов с заданными характеристиками посредством метода Монте-Карло. Был произведен расчет относительной интенсивности генерации оптических фотонов в объеме ПС при плотности потока начальных гамма-квантов, соответствующей 1 мкЗв/ч для образцов содержащих свинец и олово (рис. 2а). Как можно заметить, чувствительность к регистрации высокоэнергетических фотонов значительно возрастает в сравнении со стандартным ПС.

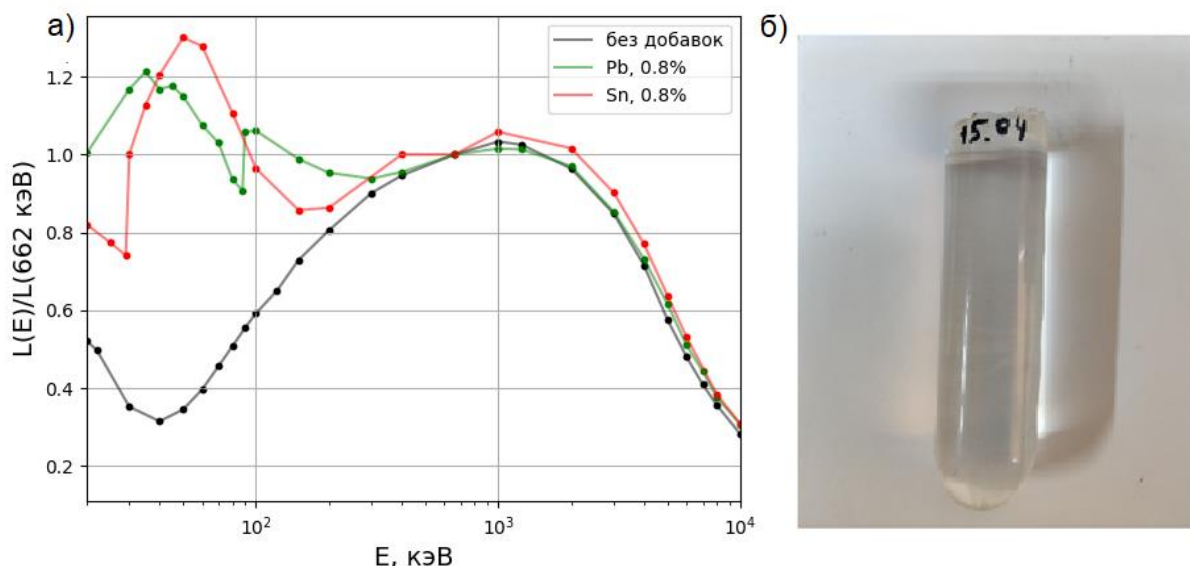


Рисунок 2. а) Относительная интенсивность генерации оптических фотонов в объеме ПС без добавок в сравнении с экспериментальными данными; б) Образец с содержанием Pb (0.8%), полученный в результате итоговой оптимизации процесса.

На основании полученных экспериментальных и расчетных данных можно сделать вывод, что образцы с содержанием свинца и олова являются наиболее перспективными. Поэтому было решено сконцентрировать усилия на оптимизацию технологии получения ПС с органическими соединениями данных металлов. В результате экспериментально была выведена оптимальная технология получения качественных ПС с содержанием свинца (рис. 2б)

**Измерение удельной активности раствора радионуклида ^{108m}Ag и
уточнение квантовых выходов гамма-линий ^{108m}Ag с целью
создания спектрометрических источников для калибровки гамма-
спектрометров**

Заневский А.В. Жуков Г.В. Нагорнова Е.С. Сэпман С.В. Терещенко Е.Е.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Адрес: 190005, Россия, Санкт-Петербург

Московский пр., 19

Гамма-спектрометры являются распространёнными приборами для качественного (радионуклидный состав) и количественного (измерение активности) анализа образцов. Поэтому крайне важно корректно провести процедуру калибровки, заключающуюся в построении кривой эффективности регистрации спектрометра. Для этого используются «реперные точки» - гамма-линии определённых энергий эталонных источников известной активности. При этом существует «белое пятно» в энергетическом диапазоне от 400 до 700 кэВ, которое не может быть закрыто широко распространёнными радионуклидами.

Решением этой проблемы может стать редкий и на сегодняшний день метрологически недостаточно исследованный радионуклид ^{108m}Ag . Уточнение его ядерно-физических констант представляет собой актуальную задачу для его применения в метрологических целях. Опубликованные данные об измерениях активности ^{108m}Ag , и уточнения квантовых выходов крайне скудные. Начиная с 60-х годов прошлого века насчитывается всего несколько публикаций, при этом отмечено, что необходимы дополнительные исследования ^{108m}Ag [1, 2].

При распаде ^{108m}Ag и его дочерних продуктов испускаются гамма-кванты с энергиями 79,1 кэВ, 433,9 кэВ, 614,3 кэВ и 722,9 кэВ. Три последние линии закрывают необходимый диапазон энергий, что повысит точность измерений на гамма-спектрометрах.

Перспективным направлением работы может стать внесение в стандартный комплект ОСГИ источника на основе ^{108m}Ag .

Для измерений был взят раствор ^{108m}Ag в 0,1 М HNO_3 без примесного радионуклида ^{110m}Ag , мешающего измерению (для ^{108m}Ag $T_{1/2} = 438$ лет, для ^{110m}Ag $T_{1/2} = 250$ дней).

Было проведено измерение его удельной активности в эпипендорфах на установке УЭА-7 из состава первичного эталона активности ГЭТ 6-2016, представляющей собой 2 сцинтилляционных кристалла NaI, обеспечивающих 4 π -геометрию. Использовался абсолютный метод 4 π - γ счета. Результаты измерения удельной активности были использованы для оценки оптимальной массы раствора при изготовлении точечных источников.

Затем было изготовлено 2 точечных источника нанесением раствора на полиимидную пленку с последующим высушиванием и герметизацией источника. Активность точечных источников ^{108m}Ag была измерена также на установке УЭА-7 методом 4π - γ счета и на установке УЭА-3 методом КХ- γ совпадений. Результаты измерений и рассчитанные расширенные неопределённости приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Результаты измерений активности ^{108m}Ag на дату измерений

№ источника	УЭА-7, кБк	$U_c (k=2)$	УЭА-3, кБк	$U_c (k=2)$	Отличие, %
№2	14,74	2,0	14,67	2,0	0,22
№7	27,97	2,0	27,89	2,0	0,14

Отличие результатов измерения активности точечных источников разными методами составило менее величины значения расширенной неопределённости измерений активности для каждого метода, что позволяет сделать вывод о достоверности полученных значений активности ^{108m}Ag двумя независимыми методами и использовать их для передачи единицы активности полупроводниковому гамма-спектрометру.

Полученные активности ^{108m}Ag были использованы для уточнения величины эффективности регистрации гамма-квантов спектрометра (ГВЭТ, рег. № 2.1.ZZB.0421.2022.) в области энергий 400 — 700 кэВ, где присутствует некий «провал» надёжных точек для калибровки. Радионуклид ^{108m}Ag способен решить данную проблему, т. к. гамма-кванты с энергиями 434 кэВ, 614 кэВ и 723 кэВ попадают в данный диапазон.

При измерении эффективности регистрации гамма-квантов ^{108m}Ag первоначально были использованы значения квантовых выходов из [3] и активность источников, полученных в данной работе. Было замечено отличие полученных значений эффективности регистрации от данных калибровки по эффективности регистрации из паспорта ГВЭТ.

На основании этого была произведена коррекция величины квантового выхода указанных энергий.

Полученные значения квантовых выходов и неопределённости представлены в таблице 2, включая сравнение их с уже опубликованными работами [3-5].

Таблица 2 — Значения квантовых выходов, I

	γ -линии					
	433,94 кэВ		614,28 кэВ		722,91 кэВ	
	I, %	U _c , % (k=2)	I, %	U _c , % (k=2)	I, %	U _c , % (k=2)
Эта работа	87,9	2,2	87,8	2,3	89,2	2,3
LNHB, [3]	90,1	1,2	90,5	3,2	90,8	3,2
INL, [4]	90,5	-	89,8	2,0	90,8	2,0
ГСССД, [5]	91,8	3,6	92,3	3,6	92,4	3,6

Полученные результаты. Было проведено измерение удельной активности раствора ^{108m}Ag методом $4\pi\gamma$ -счета на Государственном первичном эталоне единиц активности радионуклидов, удельной активности радионуклидов, потока альфа-, бета- частиц и фотонов радионуклидных источников ГЭТ 6-2016. Изготовлены точечные источники и проведено их измерение на установках УЭА-7 и УЭА-3 абсолютными методами с получением достоверных значений активности. Проведена калибровка гамма-спектрометра — государственного вторичного эталона единиц активности радионуклидов, рег. № 2.1.ZZB.0421.2022. Также произведено уточнение квантовых выходов для гамма-квантов ^{108m}Ag с энергиями 434 кэВ, 614 кэВ и 723 кэВ. Результатом работы стало улучшение функциональных характеристик государственного вторичного эталона единиц активности радионуклидов и уточнение ядерно-физической константы для ^{108m}Ag .

Список источников

1. L. Ferreux, M.-C. Lépy, M.-M. Bé, H. Isnard, V. Lourenço, Photon emission intensities in the decay of ^{108m}Ag and ^{110m}Ag , Applied Radiation and Isotopes, Volume 87, 2014, Pages 101-106.
2. Peter Volkovitsky, Absolute ^{108m}Ag characterization based on gamma–gamma coincident detection by two NaI(Tl) detectors, Applied Radiation and Isotopes, Volume 68, Issues 7–8, 2010, Pages 1286-1291.
3. Monographie BIPM-5, Volume 3, 2006, Pages 67-72.
4. Gamma-Ray Spectrum Catalogue, Idaho National Engineering&Environmental Laboratory.
5. Государственная служба стандартных справочных данных.

Проблемы идентификации загрязнений, вызванных отложениями ДПР Радона и Торона в газодобывающих отраслях

Скогорев И.А.¹, Ермилов С.А.²

¹ООО «ПримТехнополис», ²ООО «НТЦ Амплитуда»

Все встречающиеся в природе элементы присутствуют в земной коре, при этом, только восемь из них - кислород (O), кремний (Si), алюминий (Al), железо (Fe), кальций (Ca), натрий (Na), магний (Mg) и калий (K) - составляют 98,5%, а на оставшиеся приходится лишь 1,5%.

Деятельность человека, связанная с добычей и переработкой природного газа, может привести к нежелательному облучению и радиоактивному загрязнению окружающей среды, представляющему опасность для здоровья человека.

В рамках широкого понимания термина "Радиационная безопасность" необходимо соблюдать осторожность из-за множества неточностей в используемой в РФ нормативной документации. Это может привести к потенциальным ошибкам при принятии решений и неконтролируемым рискам для работников.

С потоками природного газа из земной коры поступает радиоактивный газ, продукты распада которого оседают на внутренних поверхностях трубопроводов образуя тонкий слой пыли.

Специалистами ООО «ПримТехнополис», для целей исследования, была взята проба пыли с элементов трубопровода предназначенного для транспортировки природного газа.

Мелкодисперсная пыль также образуется из продуктов коррозии, увлекаемых потоком транспортируемого газа с внутренней поверхности труб магистрального газопровода, и осаждается впоследствии на различных поверхностях обслуживаемых элементов газопровода (насосы, задвижки, ёмкости и пр.).

Проведенные гамма и бета-спектрометрические исследования показали наличие в веществе значительного количества (695 ± 56 Бк/г) долгоживущего изотопа свинец-210 с периодом полураспада 22,3 года при отсутствии каких-либо других гамма-излучающих радионуклидов, а также находящегося в состоянии радиоактивного равновесия с ним его дочернего продукта распада (ДПР) – бета-излучающего радионуклида висмут-210 (710 ± 73 Бк/г). Измеренное на альфа-радиометре значение удельной суммарной альфа-активности составило 680 ± 100 Бк/г, что в пределах неопределенности измерений совпадает с измеренными значениями удельной активности свинца-210 и висмута-210. Результаты проведенных измерений указывают на то, что альфа-излучение пробы обусловлено исключительно радионуклидом полоний-210, находящимся в состоянии радиоактивного равновесия с долгоживущим материнским изотопом свинец-210. Для

проверки этого предположения было проведено альфа-спектрометрическое исследование тонкослойного счётного образца, приготовленного методом спонтанного осаждения на медную подложку катионов металлов из раствора после кислотного выщелачивания вещества пробы. Результат обработки спектра альфа-излучения полученного образца подтвердил, что в пробе содержится единственный альфа-излучающий радионуклид полоний-210, измеренное значение удельной активности которого по результатам альфа-спектрометрических измерений составило 678 ± 61 Бк/г, что также хорошо согласуется с измеренными значениями удельной активности его предшественников свинца-210 и висмута-210.

В соответствии с таблицей Приложения 2 СанПиН 2.6.1.2523-09 (НРБ-99/2009) допустимая объёмная активность радионуклида полоний-210 во вдыхаемом воздухе для населения составляет 0,034 Бк/м³ – значение, которое может быть значительно превышено для сотрудников, проводящих сервисные и ремонтные работы в непосредственном контакте с мелкодисперсной пылью, значение удельной активности полония-210 в которой составляет сотни Бк/г. **Но провести такое исследование на работающем оборудовании не представляется возможным.**

Оперативное исследование уровня загрязнений в рамках производственного процесса возможно провести лишь на плотность потока альфа – и бета – частиц. Но Таблица 8.9 СанПиН 2.6.1.2523-09 (НРБ-99/2009) нормирует лишь допустимые уровни радиоактивного загрязнения поверхностей рабочих помещений и находящегося в них оборудования, кожных покровов, спецодежды, спецобуви и других средств индивидуальной защиты для «Персонала» (группы А или Б). **Оценить уровень снимаемого загрязнения для населения на соответствие российскому законодательству невозможно, законодательство на этот счёт отсутствует.**

Также действующее законодательство не содержит требований для контроля природных радионуклидов по альфа- и бета- каналу, а содержит лишь требования по оценке воздействия природных радионуклидов по гамма-каналу (например: эффективная годовая доза облучения гамма-излучения, эффективная удельная активность (Аэфф) гамма излучающих радионуклидов). **Оценка воздействия продуктов распада по уровню гамма-излучения без учёта вклада альфа- и бета- излучения приводит к ошибкам при принятии решений в области обеспечения радиационной безопасности,** а также может негативно отразиться на здоровье лиц, участвующих в регламентных работах, а также при обращении с образовавшимися отходами по окончании таких работ.

В соответствии с п. 1 документа «Критерии отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критерии отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критерии классификации удаляемых радиоактивных отходов» (далее - Критерии), утверждённого Постановлением Правительства РФ № 1069 от 19 октября 2012 года (с изменениями на 4 февраля 2015 года):

«Твердые, жидкие и газообразные отходы, содержащие радионуклиды, за исключением отходов, образующихся при осуществлении не связанных с использованием атомной энергии видов деятельности по добыче и переработке минерального и органического сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов, относятся к радиоактивным отходам в случае, если сумма отношений удельных (для твердых и жидких отходов) или объемных (для газообразных отходов) активностей радионуклидов в отходах к их предельным значениям согласно приложению превышает 1». Предельное значение удельной активности в твердых отходах для радионуклида свинец-210, находящегося в состоянии равновесия с его ДПР в соответствии с таблицей Приложения к Критериям составляет 10 Бк/г. Измеренное значение удельной активности свинца-210 в исследуемой пробе в 70 раз превышает предельное значение, при превышении которого отходы следовало бы отнести к ТРО. Однако указанные в таблице нормативные значения применимы только к техногенным радионуклидам, и в данном случае неприменимы, так как накопление радионуклида свинец-210 в трубопроводе обусловлено распадом короткоживущих ДПР радионуклида радон-222 природного происхождения, поступающего в газопровод вместе с природным газом.

В соответствии с Критериями радионуклиды природного происхождения могут быть отнесены к ТРО лишь по внешнему гамма-излучению с применением известного соотношения для удельной эффективной активности ЕРН:

$$A_{226\text{Ra}} + 1,31 \cdot A_{232\text{Th}} + 0,09 \cdot A_{40\text{K}} > 10 \text{ Бк/г.}$$

Таким образом, действующие на сегодняшний день в РФ нормативы не предусматривают никаких ограничений при обращении с производственными отходами при сколь угодно высоком значении в них удельной активности альфа и бета-излучающих радионуклидов природного происхождения, если значение удельной эффективной активности ЕРН не превышает 10 Бк/г.

Очевидно, что при составлении действующих в этой области нормативных документов (в частности, Критериев) просто не была учтена возможность накопления в отходах такой высокой концентрации долгоживущего радионуклида свинец-210 из ДПР радона-222 природного происхождения, так как сам факт необходимости отнесения содержащих его отходов к ТРО утверждается в тех же документах, но только в случае его техногенного происхождения. Таким образом, представляется очевидным, что бесконтрольная утилизация производственных отходов с удельной активностью свинца-210, превышающей указанное в таблице приложения к Критериям значение 10 Бк/г вместе с обычными производственными отходами, приведёт к значительному ухудшению радиоэкологической обстановки на десятки лет в местах их размещения, а также к серьёзным рискам для здоровья людей при их случайном или вынужденном контакте с данным материалом. Всё это указывает на необходимость принятия мер по обеспечению безопасного обращения с отходами производства.

Кроме того, на материал с удельной активностью свинца-210 природного происхождения, превышающей значение **100 Бк/г**, распространяется действие подпункта «г» п. 1.1.5

документа «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов. НП-053-16» (Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 сентября 2016 г. № 388).

В соответствии с пунктом 1.2.7. ГОСТ 19433-88 «Грузы опасные. Классификация и маркировка» к опасным грузам класса 7 относятся радиоактивные материалы, удельная активность которых более **70 Бк/г**.

Остаются непроявленными следующие вопросы:

- 1) Что будет являться источником ионизирующего излучения, налёт/осадок на внутренней поверхности трубопровода (или другой части технологической линии) или часть трубопровода (технологической линии), клапана, задвижки, и др. загрязнённой такими радионуклидами?
- 2) Излучение, создаваемое образовавшимся радиоактивным загрязнением из элементов, не являющихся полным радиоактивным рядом урана или тория, создаёт «Естественный радиационный фон» или «Техногенно измененный радиационный фон»?
- 3) Такой источник ионизирующего излучения будет относиться к «Источникам излучения природным» или «Источникам излучения техногенным»
- 4) Каким документом следует нормировать допустимые уровни радиоактивных загрязнений на поверхностях рабочих помещений, оборудования, кожных покровов, средств индивидуальной защиты для физических лиц («Работников»), не относящихся к категории «Персонал» (группы А или Б).

АКТИВНЫЙ НЕЙТРОННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ЯДЕРНО-ОПАСНЫХ ДЕЛЯЩИХСЯ НУКЛИДОВ В УПАКОВКАХ НЕГОМОГЕННЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

В.Ф. Батяев¹, С.Г. Беличенко¹, М.Д. Каретников¹, АД. Мазницын¹, А.Ю. Пресняков¹,
М.В. Батяева², А.П. Варлаков², А.В. Германов²

VFBatyayev@vniia.ru

¹ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», Москва

²АО «ВНИИНМ им А.А.Бочвара», Москва

Неразрушающий контроль содержания ядерно-опасных делящихся нуклидов (ЯОДН) в упаковках РАО требует активный нейтронный метод, который характеризуется высокой чувствительностью к ЯОДН при независимости от гамма-излучения продуктов деления. Особенностью предлагаемой реализации метода является определение угловых зависимостей индуцированных потоков вторичных нейтронов деления ЯОДН при вращении упаковки РАО, которые позволяют учесть неравномерность распределения ЯОДН и верно определить их полное содержание.

Разработана экспериментальная установка контроля содержания ЯОДН в упаковках РАО, которая состоит из модуля с импульсным нейтронным генератором ИНГ-013Т, размещенным в защите из борированного полиэтилена, и трех модулей с детекторами быстрых нейтронов ТСРМ85.100 и ТСРМ85.300. Вращение контролируемой упаковки РАО в установке осуществляется непрерывно с помощью поворотной платформы.

Установка прошла испытания с использованием аттестованного объекта (АО) содержания ЯОДН в РАО, размещенных в металлической бочке объемом 200 л с цементной, органической и металлической матрицей. В качестве имитатора ЯОДН использовали капсулы, заполненные ГСО содержания ^{235}U в закиси-оксида урана, произвольное размещение которых по объему матрицы обеспечивает содержание ^{235}U от 0,08 до 8 г. Размещение АО в экспериментальной установке показано на рисунке 1.

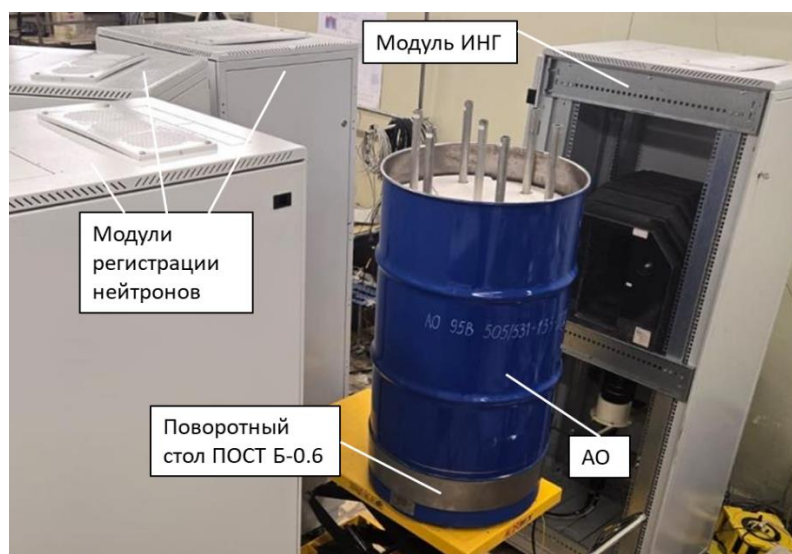
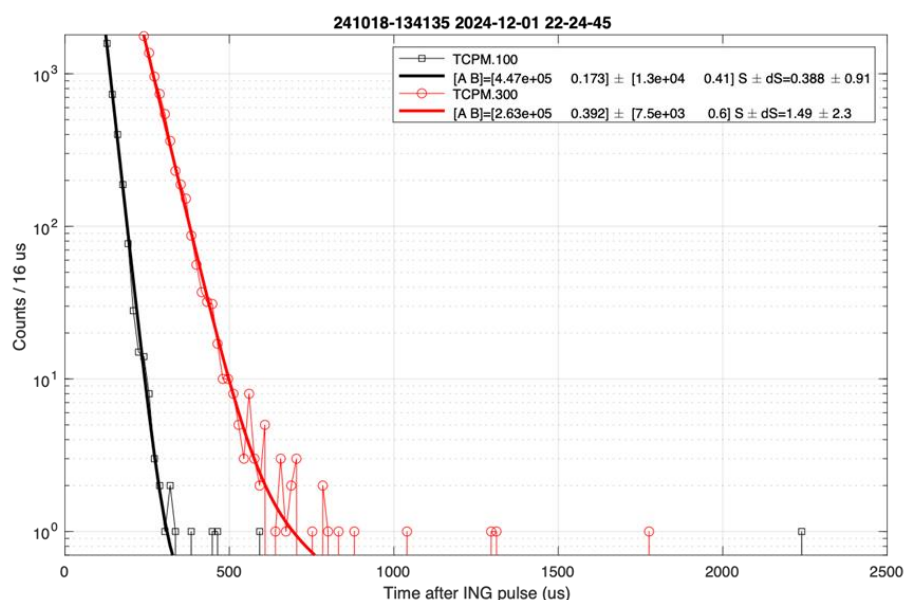


Рисунок 1 – Размещение АО в экспериментальной установке

В процессе испытаний были получены временные спектры при различном содержании ^{235}U в АО. На рисунках 2 и 3 представлены примеры временных спектров детекторов ТСРМ85.100 и ТСРМ85.300, полученные в отсутствие ^{235}U в АО с цементной матрицей и при загрузке в него 0,24012 г ^{235}U , соответственно. По величине правой части временного спектра можно судить о содержании ЯОДН (^{235}U) в измеряемом объекте.

Рисунок 2 – Временные спектры детекторов ТСРМ85.100 и ТСРМ85.300 в составе установки для АО с цементной матрицей без ^{235}U (фоновый спектр)

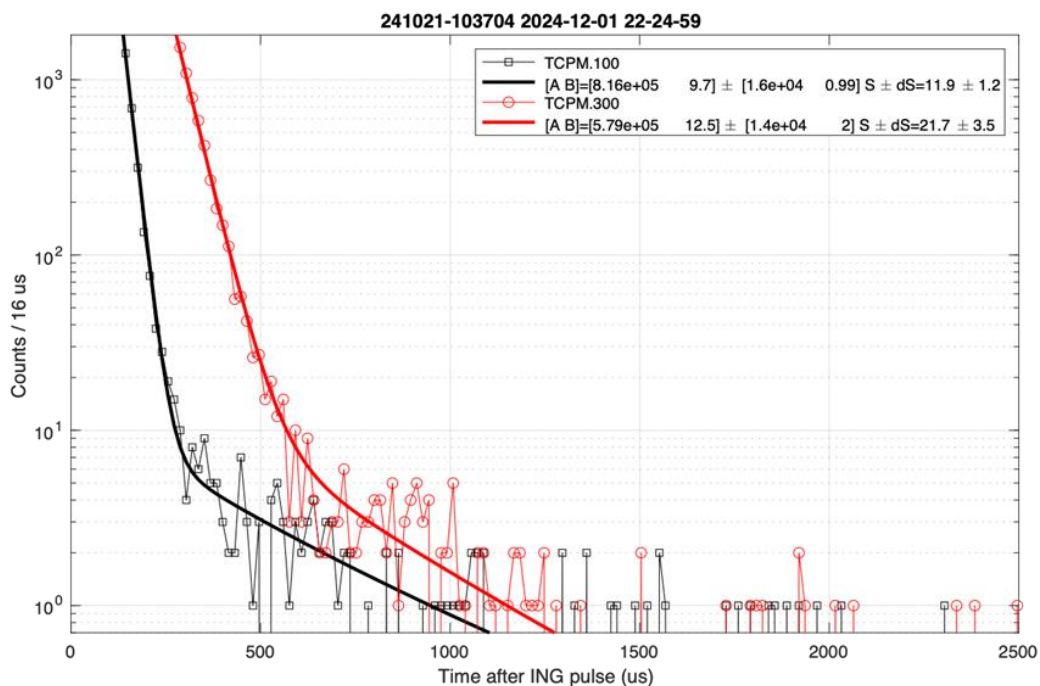


Рисунок 3 – Временные спектры детекторов TCPM85.100 и TCPM85.300 в составе установки для АО с цементной матрицей при загрузке 0,24012 г ^{235}U)

На основании полученных временных спектров были определены зависимости откликов детекторов и их статистической погрешности от содержания ^{235}U . Пример зависимости отклика детекторов от массы ^{235}U в АО с цементной матрицей представлен на рисунке 4. Выполненные оценки показали, что минимальная детектируемая масса ЯОДН в бочке с РАО объемом 200 л для всех типов матриц не превышает 0,05 г при длительности измерений не более 3 мин.

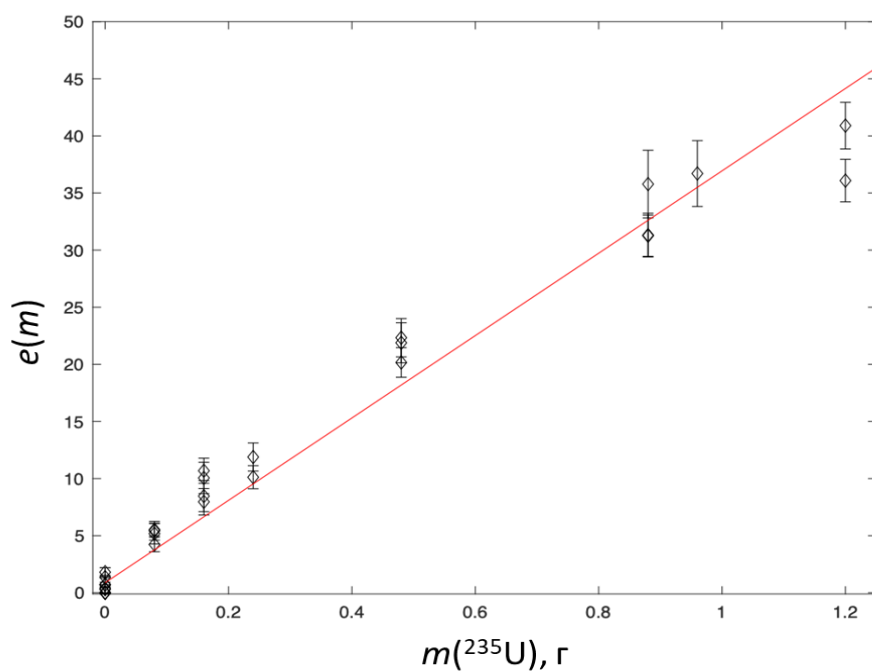


Рисунок 4 – Зависимость усредненного отклика детекторов от массы ^{235}U в АО с цементной матрицей

Дальнейшие шаги в разработке установки направлены на ее адаптацию для измерений содержания ЯОДН в РАО, размещенных в металлических и железобетонных контейнерах большого объема, и проведение испытаний с использованием АО на базе упаковок НЗК и КМЗ.

**Производство и поставка российских цифровых
спектрометрических комплексов для неразрушающего анализа
ядерных материалов**

Ельцин В.Ф., Скакун Г.Е., Чураков А.К., Ермак М.Г., Ельцин Д.В.,

Тимофеев А.В., Бойко Д.В.

ООО НИПП «ГРИН СТАР ИНСТРУМЕНТС»

E-mail: info@greenstar.ru, тел.: +7(499) 943-20-31

В докладе представлены новые разработки цифровых спектрометрических комплексов типа МКА группы предприятий «Грин Стар» для неразрушающего анализа ядерных материалов.

Результаты испытаний параметров нового цифрового амплитудного многоканального анализатора МКА-02, предназначенного для работы с детекторами ОЧГ, в соответствии с ГОСТ 22252-82 подробно изложены в первой части доклада.

Далее приведено сравнение нового мобильного цифрового анализатора МКА-07 с его предыдущей версией МКА-05, имеющего существенно меньшие габариты и вес при аналогичных потребительских качествах.

В конце доклада представлено несколько примеров серийной поставки цифровых анализаторов МКА-01 в составе измерительных спектрометрических комплексов для регистрации:

- гамма-излучения на базе полупроводниковых блоков детектирования с кристаллами CdZnTe и CdTe;
- гамма-излучения на основе сцинтилляционных детекторов, включая кристаллы NaI(Tl), CsI(Tl), CeBr, BGO, LaBr₃(Ce), SrI₂(Eu) и другие;
- рентгеновского-излучения с кремниевым Si-PIN детекторами или кремниевыми дрейфовыми детекторами SDD с термоэлектрическим охлаждением;
- альфа-излучения на базе кремниевых ионно-имплантированных детекторов или ионизационных камер;
- бета-излучения на основе детекторов, изготовленных из различных сцинтиллирующих пластиков или пленок;
- регистрации альфа- и бета-излучения с жидкосцинтилляционными устройствами детектирования.

**КОНВЕЙЕРНАЯ УСТАНОВКА ИЗМЕРЕНИЯ МАССОВОЙ ДОЛИ
ХЛОРИДА КАЛИЯ В ЛИНЕЙКЕ ПРОМЫШЛЕННОГО
ОБОРУДОВАНИЯ АО "НТЦ "РАТЭК" ДЛЯ ДОБЫЧИ И
ПЕРЕРАБОТКИ КАЛИЙНОГО СЫРЬЯ**

Арабули К.В., Жуков М.Н., Лайкин А.И., Никифоров В.И., Сорокин П.А., Хусаинов
М.А.*, Челядинов Д.А.

АО "НТЦ "РАТЭК", Санкт-Петербург

В докладе рассмотрены характеристики, область применения и принцип работы конвейерной установки измерения массовой доли хлорида калия в материале К-РАТ-01, которая разработана и поставляется АО "НТЦ "РАТЭК". Применение установки актуально для материалов, имеющих высокую концентрацию калия. При разработке прибора проведен анализ различных способов измерения концентрации калия в материале и выбран метод регистрации собственного гамма-излучения K^{40} без использования внешних радиоактивных источников. Такая задача актуальна для калийных комбинатов. Созданный прибор уже используется на промышленных предприятиях России.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОГРУЖНОГО СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ РАДИАЦИОННОГО IN SITU МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ СРЕД

А.О. Ничипорчук, Е.В. Быстров, В.А. Кожемякин, М.В. Масюкович, С.В. Прибылев,
В.А. Чирикало, Е.А. Коновалов

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
г. Минск, Республика Беларусь*

Радиационный мониторинг окружающей среды, в частности, акваторий, является необходимым условием обеспечения радиационной безопасности при нормальной эксплуатации АЭС, а также в случае возникновения аварийных ситуаций на предприятиях ядерного топливного цикла. Зачастую активность контролируемых естественных и техногенных радионуклидов оценивают методом представительного отбора проб с транспортировкой в лабораторию, подготовкой и измерением при помощи стационарных спектрометров. Несмотря на попытки снизить неопределенность результатов измерений, связанную с отбором и подготовкой проб для радиационного контроля, данный метод имеет ряд существенных недостатков, связанных, прежде всего, с высокой вероятностью случайных и систематических ошибок. В связи с трудностями получения качественных проб и длительностью измерений существует необходимость в измерении активности контролируемых радионуклидов методом *in situ* (без отбора проб).

Предприятием «АТОМТЕХ» разработан спектрометр МКС-АТ6104ДМ [1], состоящий из устройства детектирования с детектором NaI(Tl) размерами $\varnothing 63 \times 63$ мм, лебедки электронно-механической (ЛЭМ) с установленным на ней кабелем-тросом, блока питания ЛЭМ, модуля управления спектрометром (МУС), приемника глобальной навигационной спутниковой системы, кабелей питания, передачи данных и специализированного программного обеспечения. ЛЭМ позволяет использовать спектрометр на глубинах до 100 м, а корпус устройства детектирования устойчив к погружению на глубину до 500 м. Спектрометр предназначен для автоматизированного поиска и обнаружения источников гамма-излучения, потока нейтронов, измерения аппаратурного спектра гамма-излучения, идентификации гамма-излучающих радионуклидов, обеспечения радиационного мониторинга пресной, морской воды и донных отложений. Спектрометр позволяет выполнять задачи радиационного мониторинга в геометриях 4PI и 2PI. Геометрия измерений 4PI используется для определения удельной активности водной среды по радионуклидам ^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{60}Co в диапазоне от 3 до 10^6 Бк/кг. Геометрия измерений 2PI используется для определения удельной активности ^{137}Cs и ^{134}Cs в донных отложениях в слое от 20 см и более в диапазоне от 50 до 10^6 Бк/кг.

При помощи математического моделирования методом Монте-Карло [2] определена зависимость эффективности регистрации к гамма-излучению в энергетическом диапазоне 70 – 3000 кэВ для геометрии измерения 4PI при расположении устройства детектирования спектрометра в водной среде. Данная зависимость используется для расчета удельной активности основных дозообразующих естественных и техногенных радионуклидов.

Полученная зависимость была верифицирована путем измерений меры на основе препарата $^{60}\text{CoCl}_2$ объемом $1,0 \text{ м}^3$ с равномерно-распределенным радионуклидом ^{60}Co (ППП с энергией 1173 кэВ и 1333 кэВ) удельной активностью $38 \pm 3,8$ Бк/кг и меры на основе препарата $^{139}\text{CeCl}_2$ объемом $0,5 \text{ м}^3$ с равномерно-распределенным радионуклидом ^{139}Ce (ППП с энергией 166 кэВ) удельной активностью $94,3 \pm 6$ Бк/кг. Верификация зависимости эффективности регистрации была выполнена на 16 образцах спектрометра. Отклонения результатов измерений

удельной активности радионуклидов от аттестованных значений с использованием полученной зависимости эффективности регистрации находились в пределах $\pm 6\%$ для всех 16 образцов спектрометров.

Помимо измерения содержания радионуклидов при радиационном контроле водоемов в данной работе рассмотрена возможность обнаружения источников нейтронного излучения (плотности потока нейтронов). Метод обнаружения потока нейтронов в соленой воде с использованием сцинтилляционных детекторов на основе кристалла NaI(Tl) в изменяющихся фоновых условиях основан на регистрации PROMT (Prompt Gamma Rays Neutron Reaction) гамма-излучения ($n+p \rightarrow D+\gamma$ ($E_\gamma = 2,226$ МэВ)) на ядрах Na, Cl, I и аннигиляционных фотонов с энергией 0,511 МэВ после позитронного распада продуктов реакции ($n,2n$) на ядрах O [3].

Теоретические и экспериментальные исследования подтвердили возможность применения детекторов NaI(Tl) для обнаружения потока нейтронов за счет регистрации гамма-излучения, образующегося в результате нейтронного захвата.

Литература:

1. Руководство по эксплуатации «Спектрометр МКС-АТ6104ДМ» ТИАЯ.412155.012 РЭ.
2. Briestmeister J.F. Ed. MCNP- A general Monte-Carlo N-particle transport code, Version 4A. Report LA-12625-M, Los Alamos. NM, Los Alamos National Laboratory, 1994.
3. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Database of Prompt Gamma Rays from Slow Neutron Capture for Elemental Analysis, Non-serial Publications, IAEA, Vienna (2007).

Влияние дефектов в монокристаллах германия на скорость дрейфа лития

Смирнов А.А.¹, Летов А.Г.¹, Купцов В.В.¹, Ковригин И.М.¹

¹АО «Институт физико-технических проблем», Дубна, Россия

Современные задачи обеспечения радиационной безопасности на объектах атомной энергетики, в радиохимических производствах и при контроле ядерных материалов требуют применения высокочувствительных гамма-спектрометров с энергетическим разрешением, недостижимым для сцинтилляционных детекторов. Ключевым элементом таких приборов являются полупроводниковые детекторы на основе монокристаллов высокочистого германия, легированных литием — Ge(Li)-детекторы. Их характеристики (обратный ток, стабильность р-п перехода, энергетическое разрешение) напрямую зависят от структурного совершенства исходного материала. В условиях дефицита германиевого сырья, есть необходимость в импортозамещении, и критически важно оценить отечественные монокристаллы германия (марка ГДД-10-30) на соответствие мировым стандартам.

Цель работы — исследовать влияние структурных дефектов (дислокаций, пор, кластеров вакансий) в монокристаллах германия на кинетику дрейфа лития и, как следствие, на формирование рабочих характеристик детекторов гамма-излучения, включая однородность i-области, обратные токи и потенциальное энергетическое разрешение.

Методы исследования.

Изучены два образца монокристаллического германия р-типа, выращенных в направлении $\langle 111 \rangle$, с различной однородностью удельного сопротивления:

- Образец №1 — разброс $\rho = 50\%$ (10–30 Ом·см);
- Образец №2 — разброс $\rho = 1,5\%$ (18,0–18,5 Ом·см).

Проведены:

- Металлографический анализ для выявления и количественной оценки дислокаций, пор и кластеров точечных дефектов;
- Бесконтактное измерение времени жизни неравновесных носителей заряда (ННЗ) СВЧ-методом по спаду фотопроводимости — ключевой параметр, определяющий дрейфовую длину и эффективность сбора заряда;
- Диффузия и дрейф лития по методике ТУ 48-4-358-75: напыление при 400°C в вакууме 10^{-5} мм рт. ст., дрейф во фреоне при 100–500 В, токах 50–300 мА;
- Контроль глубины и однородности р-п перехода методом медирования (визуализация ОПЗ);

- Измерение вольт-амперных характеристик (ВАХ) до и после дрейфа для оценки качества перехода и обратных токов.

Результаты.

Образец №1 продемонстрировал крайне низкое структурное совершенство: плотность дислокаций достигала $3 \times 10^5 \text{ см}^{-2}$ на периферии и $2 \times 10^4 \text{ см}^{-2}$ в центре. Обнаружены поры размером до 250 мкм (вероятно, захваченный инертный газ при выращивании) и кластеры вакансий, создающие сильную рекомбинационную активность. Процесс дрейфа лития сопровождался нестабильностью: возникали пробой, эрозия материала под зондом, выпадение лития в преципитат на глубине $\sim 1,3 \text{ мм}$ — что визуализировалось как узкое окрашенное кольцо при медировании, указывающее на недостаточную толщину ОПЗ. Время жизни ННЗ составило в среднем 64 мкс, но с сильной неоднородностью (от 16 до 578 мкс), что подтверждает высокую локальную рекомбинацию на дефектах. Материал признан непригодным для производства детекторов.

Образец №2 показал значительно лучшие характеристики: плотность дислокаций — $5 \times 10^4 \text{ см}^{-2}$, более однородная структура без крупных пор. Дрейф лития проходил стабильно, без пробоев. После дрейфа ВАХ приобрела классический вид: резкое падение обратного тока, что свидетельствует о формировании качественного р-п перехода и нейтрализации литием электрически активных дефектов. Среднее время жизни ННЗ — 38,9 мкс (с меньшим разбросом, чем у образца №1). Глубина дрейфа за 2 суток увеличилась с 1,29 до 1,83 мм, что указывает на перспективную скорость формирования i-области. Образец признан перспективным для дальнейшей оптимизации и производства детекторов.

Выводы.

1. Структурные дефекты (дислокации, поры, кластеры вакансий) оказывают решающее влияние на процесс дрейфа лития: вызывают нестабильность, пробой, локальное выпадение лития, что делает невозможным формирование однородной i-области — основы высокого энергетического разрешения.
2. Ключевыми критериями отбора материала являются:
 - Низкий разброс удельного сопротивления ($\leq 2\%$);
 - Плотность дислокаций не выше 10^4 см^{-2} ;
 - Отсутствие макроскопических пор ($> 50 \text{ мкм}$);
 - Высокое и однородное время жизни ННЗ (предпочтительно $> 100 \text{ мкс}$ при комнатной температуре).
3. Подтверждена принципиальная возможность создания отечественных Ge(Li)-детекторов на базе российских монокристаллов — при условии строгого контроля качества исходного материала на этапе выращивания и введения оперативного контроля параметров в процессе производства.

4. Разработаны и апробированы методики быстрой оценки пригодности кристаллов: комбинированный анализ времени жизни ННЗ, металлографии и начальной ВАХ позволяет отбраковывать некондиционный материал до начала трудоёмкого процесса дрейфа.
5. Для формирования надёжных критериев отбраковки и прогнозирования характеристик детекторов необходимы дальнейшие исследования на расширенной выборке образцов с корреляцией параметров материала и финальных характеристик детекторов (энергетическое разрешение, обратный ток при 77К).

Практическая значимость.

Работа вносит прямой вклад в решение задачи импортозамещения в области высокочувствительной гамма-спектromетрии. Полученные данные позволяют оптимизировать технологию выращивания монокристаллов германия, повысить выход годных детекторов и сократить производственные издержки. Это критически важно для обеспечения атомной отрасли, служб радиационного мониторинга и научных исследований отечественными детекторами.

Комплекс ПАК-ИИ для поиска и идентификации гамма-излучающих нуклидов на основе машинного обучения

И.С. Бредихин

ООО «Гамматек» +79057650009, ivan@gammatech.pro

Работы по направлению разработки программных комплексов для идентификации гамма-излучающих нуклидов на основе машинного обучения реализуются в двух направлениях:

1. Улучшенное «пользовательское» ПО, позволяющее повысить качество обработки данных, получаемых на любых детекторах;
2. Изготовление отдельного спектрометрического прибора – идентификатора ПАК-ИИ и тестирование его работы на полигонах

Машинное обучение – это что-то, что действует на подобие человека. Когда вы видите много параметров, но вы в голове не вычисляете их, а «чуеете», что это должен быть тот или иной нуклид, из своего эмпирического знания, накопленного с годами. И точно также наши алгоритмы машинного обучения, подобно опытному спектрометристу, могут помочь вам проводить такую идентификацию. Машинное обучение хорошо именно в таких областях, где вам нужно находить сложные паттерны.

Доклад будет посвящен результатам 3-х лет разработки программно-аппаратного комплекса для идентификации гамма-излучающих нуклидов (ПАК-ИИ), работающего на основе методов машинного обучения для идентификации радиоизлучающих нуклидов на примере анализа гамма-излучения.

Будут приведены результаты сравнения обработки данных, получаемыми на реальных NaI(Tl) детекторах для классической модели и модели на ИИ алгоритме. ИИ алгоритмы показывают статистически обоснованно превосходящую точность по сравнению с классическими подходами.

Диджитайзеры как основа построения современного научного оборудования

И.С. Бредихин

ООО «Гамматек» +79057650009, ivan@gammatech.pro

Современные эксперименты в области ядерной физики требуют высокоточной регистрации и обработки сигналов с детекторов. Диджитайзеры играют ключевую роль в создании автономных измерительных комплексов, обеспечивая необходимую точность и надёжность. Сложность экспериментов приводит к появлению всё новых требований к цифровой электронике не только по скорости оцифровки, но и по всё усложняющейся обработке данных.

Доклад будет посвящен обзору линейки моделей диджитайзеров от ООО «Диджитайзер», их техническим характеристикам, алгоритмам потоковой обработки данных, реализуемым на уровне прибора, а также, и их применению в экспериментах, включая спектроскопию, измерения методом времени пролёта (TOF режим), регистрацию парных событий.

Будут даны примеры реализации научных установок (уже выпущенных, или находящихся в разработке), работающих на основе данных, производимых в РФ, систем оцифровки.

Таблица сравнения ключевых параметров и областей применения диджитайзеров

Модель	Каналов	МВыб/с	Бит	Применение
МКА-250	2	250	16	Спектроскопия & работа в режиме МКА
D125-16A	16	125	14	Спектроскопия & работа в режиме МКА Продвинутая обработка (усиление, форма)
D500-4/8/16	4 / 8 / 16	500	14	Средне-быстрые детекторы, суб-нс времена вместе с хорошим разрешением по энергии
D1000-2/4	2 / 4	1000	16	Сверхбыстрые детекторы (алмазные, MPCs, SiPMs). Изучение процессов с пикосекундным разрешением

Повышение квалификации в области радиационной безопасности в современных условиях: новые вызовы и адаптивные подходы

Бухарин Николай Алексеевич

*Центр межотраслевых инженерно-производственных компетенций Дирекции
дополнительного образования СПбПУ*

Актуальность проблемы

- История применения источников ионизирующего излучения (ИИИ) от СССР до наших дней. Расширение сфер применения ИИИ (наука, промышленность, энергетика, медицина) требует от специалистов более глубоких и разносторонних знаний.
- Международные и национальные стандарты радиационной безопасности (МАГАТЭ, Роспотребнадзор, Ростехнадзор) постоянно актуализируются, что делает регулярное обучение обязательным.
- Деятельность по повышению квалификации регулируется законом «Об образовании в Российской Федерации». Последняя редакция фактически разрешает проводить занятия по повышению квалификации практически всем желающим участвовать в образовательной деятельности.
- Закон о контрактной системе (закон о госзакупках) декларирует, что главный критерий – цена. Это привело к выходу на рынок неквалифицированных и, к сожалению, недобросовестных участников рынка повышения квалификации по любым направлениям, в том числе, работников с ИИИ.
- Большинство инцидентов и серьезных аварий с ИИИ происходит не из-за отказа техники, а по причине ошибок персонала, что подчеркивает критическую роль качественного обучения.

Эволюция целей и содержания программ повышения квалификации

- Современные программы делают акцент не на заучивании нормативов (хотя знания законодательства никто не отменял, в частности, введенных в 2025 г. новых санитарных правил и норм, и отмены большого числа старых), а на формировании практических навыков: оценка рисков, принятие решений в нестандартных ситуациях, использование средств индивидуальной и коллективной защиты.
- Особое внимание обращается на биологическое действие ИИИ, величины безопасных и опасных доз, детерминированные и стохастические последствия их действия, в том числе при проведении медицинских процедур с применением ИИИ.
- Активное внедрение дистанционных форм обучения. Преимущества и недостатки.

Современные образовательные технологии как ответ на вызовы времени

- Смешанный формат обучения: сочетание онлайн-модулей (для теоретической части) и очных практических занятий позволяет гибко подходить к обучению без потери качества.
- Активные методы обучения: внедрение деловых игр и групповых дискуссий развивает критическое мышление и навыки командной работы.

Ключевая роль преподавательского состава

- Преподаватель – эксперт в радиационной безопасности, владеющий современными педагогическими методиками.
- Повышение квалификации работников имеет важное значение для самих преподавателей: обмен лучшими практиками и знакомства с новейшими технологиями.

Оценка эффективности и перспективы

- Итоговая аттестация должна включать не только тесты, но и решение ситуационных задач, демонстрацию практических навыков.
- Повышение квалификации не разовое событие, а часть системы непрерывного профессионального развития.

Разработка учебного спектрометра гамма-излучения на базе кристалла NaI(Tl) и кремниевого фотоумножителя (SiPM)

Вахнина А.И.*, Александров И.С., Калашников Д.Е., Хромов А.В.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**AIVakhnina@mephi.ru*

В современном образовательном процессе, особенно в области ядерной физики и радиационного контроля, критически важно наличие доступного, безопасного и функционального учебного оборудования для школьников и студентов. Практическая работа на таком оборудовании является наиболее эффективным способом популяризации ядерных технологий и борьбы с радиофобией, позволяя учащимся на собственном опыте узнать о методах регистрации ионизирующего излучения. Для решения этих задач АО «РИТВЕРЦ» разрабатывает комплекс лабораторных работ RadLab, НИЯУ МИФИ осуществляет разработку и изготовление учебного спектрометра в рамках этого проекта.

Целью данной работы является разработка и внедрение в учебный процесс компактного и относительно недорогого спектрометра гамма-излучения, предназначенного для изучения основ спектрометрии, получения и анализа спектров искусственных и естественных радионуклидов. Ключевой особенностью данной разработки является ее ориентация на проведение учебных занятий, что позволило отказаться от дорогостоящих требований, предъявляемых к промышленным образцам, таких как влагозащищенность, широкий температурный диапазон и ударопрочность, и сосредоточить усилия на удобстве эксплуатации и масштабируемости для образовательных учреждений. Хотя конструкция спектрометра упрощена для образовательных целей, прибор остается доступным и удобным для использования. Прежде всего, установка позволяет проводить экспериментальное получение и анализ спектров гамма-излучения от стандартных калибровочных источников, таких как барий-133 (^{133}Ba), цезий-137 (^{137}Cs), америций-241 (^{241}Am).

В основе спектрометра используется сцинтилляционный кристалл NaI(Tl) размером 25×25 мм. Регистрация вспышек света осуществляется с помощью современного кремниевого фотоумножителя (SiPM). Электронная система спектрометра представляет собой обрабатывающую электронику, интегрированную в единый корпус, и включает в себя аналоговый тракт (усилитель), компаратор для установки порога регистрации излучения, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), а также управляющее ядро, реализованное на ПЛИС (Программируемой Логической Интегральной Схеме), что обеспечивает высокую скорость обработки данных, гибкость конфигурации и

стабильность работы. Для управления устройством и визуализации результатов разработано специализированное программное обеспечение, которое предоставляет пользователю функцию сбора и накопления спектра в режиме реального времени, первичной обработки спектра, а также удобный интерфейс для сохранения и загрузки данных.

Таким образом, комплексное использование прибора формирует у учащихся целостное представление о процессе ядерно-физического эксперимента — от регистрации частицы до анализа и интерпретации конечных данных.

Детектор смешанного излучения АСРКБ1У.06

Чуваев С.В.

НТЦ “Ядерно-физические исследования”, Санкт-Петербург, РФ

Детектор смешанного излучения АСРКБ1.06 (далее по тексту – ДСИ), разработанный в АО «НТЦ «ЯФИ», предназначен для регистрации гамма- и нейтронного излучения при работе в составе автоматизированной системы радиационного контроля помещений АСРКП «СКИТ-А» и выполнения автоматизированного контроля за изменением радиационной обстановки в режиме реального времени в местах расположения устройства.

В устройстве ДСИ для контроля радиационной обстановки используется два типа детекторов:

- Гамма-нейтронный радиометр (ГНР)
- Гамма-спектрометр (ГС)

Характерной особенностью устройства является то, что для регистрации нейтронов в ГНР используются не гелиевые счетчики, а альтернативные детекторы нейтронов на основе ${}^6\text{LiF:ZnS(Ag)}$.

Технические характеристики ДСИ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики ДСИ

Характеристика	Значение
Гамма-нейтронный радиометр	
Энергетический диапазон регистрации гамма-нейтронного радиометра: Гамма-излучение, МэВ Нейтронов, эВ	от 0,06 до 3,0 от 0,025 до $5 \cdot 10^6$
Максимальная входная статистическая нагрузка, имп/с	$1 \cdot 10^5$
Чувствительность к гамма-излучению: - во всем диапазоне рабочих энергий имп·см ² /фотон, не менее - к излучению изотопа ${}^{60}\text{Co}$, имп·см ² /фотон, не менее	4 6
Чувствительность к нейтронам спектра спонтанного деления, имп·см ² /нейтрон, не менее	2
Чувствительность нейтронного канала к гамма-излучению (n-γ разделение), не хуже	10^{-5}
Гамма-спектрометр	
Энергетический диапазон регистрации гамма- излучения, МэВ	от 0,06 до 3,0

Число каналов	1024
Относительное энергетическое разрешение по линии 661 кэВ ^{137}Cs , %, не более	8
Интегральная нелинейность, %, не более	± 1
Максимальная входная статистическая загрузка, имп/с	$1 \cdot 10^5$
Параметры ДСИ	
Время установления рабочего режима, мин, не более	5
Электропитание от внешнего источника питания, В	плюс 18 ÷ 36
Энергопотребление, мА, не более	150
Временная нестабильность чувствительности за 24 часа, %, не более	10
Габаритные размеры, мм	200×300×185
Масса, кг, не более	6,5

Чувствительным элементом гамма-нейтронного радиометра является сцинтиллятор из полистирола для регистрации гамма-квантов в форме параллелепипеда, одна плоскость которого оптически соединена с фотоумножителем (ФЭУ), а пять других плоскостей окружены сцинтилляционными пластинами на основе $^6\text{LiF:ZnS(Ag)}$ для регистрации нейтронов. Для повышения чувствительности детектора к нейтронам сборка полистирол - $^6\text{LiF:ZnS(Ag)}$ помещена в полиэтиленовый замедлитель.

В гамма-спектрометре кристалл NaI(Tl) оптически сопряжен с ФЭУ и помещен в алюминиевый корпус.

ДСИ предназначен для контроля радиационной обстановки, осуществляемой с использованием двух блоков детектирования (БД): ГНР и ГС. Предусмотрено функционирование ДСИ как в автономном режиме, так и в составе системы, при наличии связи с ведущим устройством на шине RS485 по протоколу MODBUS-RTU. Все информационно-управляющие функции ДСИ реализованы во встроенном программном обеспечении микроконтроллера. Полученную информацию о зарегистрированных частицах контроллер обрабатывает с использованием определенного математического алгоритма и в результате либо переходит к дальнейшему набору информации о зарегистрированных частицах, либо вырабатывает сигнал тревоги, который передается на устройство сбора и обработки информации (УСОП) АСРКП «СКИТ-А».

Логика работы ДСИ подразумевает нахождение устройства в двух основных состояниях: режим ожидания и режим контроля. Режим контроля в свою очередь разделяется на 3 подсостояния: режим измерения фона, режим анализа радиационной обстановки и режим тревоги.

Основной задачей ДСИ является анализ скоростей счета, соответствующих регистрации гамма-излучения и нейтронов в режиме контроля, а также выработка сигнала тревоги при выходе зарегистрированного значения за допустимые верхний и нижний

пределы. Этим обеспечивается предотвращение несанкционированного перемещения радиоактивных источников, находящихся на хранении.

РАСЧЕТ И ПРИМЕНЕНИЕ ОПЕРАТОРА «СПЕКТР-ДОЗА» ДЛЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО БЛОКА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПЛАСТМАССОВОГО ДЕТЕКТОРА БОЛЬШОГО ОБЪЕМА, ИСПОЛЪЗУЕМОГО В СОСТАВЕ ПОРТАЛЬНЫХ РАДИАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

А.А. Загороднюк, А.Н. Толкачев, Е.В. Быстров

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
г. Минск, Республика Беларусь*

Основным назначением портальных установок радиационного контроля на основе пластмассовых сцинтилляторов большого объема (далее – УРК) является мониторинг объектов с целью выявления и предотвращения несанкционированного перемещения радиоактивных материалов [1].

В общем случае УРК измеряет скорость счета (имп/с), создаваемую ионизирующим излучением в заданных энергетических окнах. На основе соотношения скоростей счета в различных энергетических окнах УРК может производить категоризацию источника излучения, выявляя естественный и техногенный характер. Такой подход решает важную задачу – определение наличия техногенного источника излучения в зоне контроля.

Однако согласно современным требованиям, необходимо не только выявить факт присутствия источника излучения, но и оценить степень потенциальной радиационной опасности [2, 3]. Для этого используется величина мощности амбиентного эквивалента дозы $\dot{H}^*(10)$. Наиболее оптимальным методом оценки $\dot{H}^*(10)$ при использовании сцинтилляционного детектора является свертка аппаратного спектра с оператором «спектр-доза» [4], основы которого были заложены ранее [5].

Целью настоящей работы являлся расчет и применение оператора «спектр-доза», позволяющего по данным спектрометрических измерений, выполняемых УРК на основе блока детектирования БДРМ-11 с активным объемом 11 литров (далее – БД), оценивать мощность амбиентного эквивалента дозы $\dot{H}^*(10)$.

Для достижения поставленной цели в среде Монте-Карло моделирования FLUKA [6] была разработана и верифицирована геометрическая и физическая модель БД БДРМ-11. На основе этой модели была рассчитана матрица отклика, представляющая собой набор энергетических спектров, формируемых при облучении БД БДРМ-11 моноэнергетическим гамма-излучением. С использованием полученной матрицы отклика был рассчитан оператор «спектр-доза», который был реализован в экспериментальном образце БД БДРМ-11.

Работоспособность экспериментального образца БД БДРМ-11 с внедренным оператором была проверена при помощи эталонной дозиметрической установки гамма-излучения УДГ-АТ110 [7] (источники ^{60}Co , ^{137}Cs и ^{241}Am). Дополнительно БД был протестирован в низкофоновой камере с применением набора эталонных точечных источников гамма-излучения типа ОСГИ-РТ (^{22}Na , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{88}Y , ^{109}Cd , ^{113}Sn , ^{137}Cs ,

^{139}Ce , ^{152}Eu , ^{228}Th , ^{241}Am). Расчетные значения величины $\dot{H}^*(10)$ для случая точечных источников гамма-излучения, определялись для каждого точечного источника согласно уравнениям [8, 9]:

$$K_a = \sum_i \beta \times E_i \times \varphi_i \times \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{tr} \quad (1)$$

где K_a – мощность кермы в воздухе, Гр/с

β – коэффициент перевода мДж/МэВ

E – энергия излучения, МэВ

φ – плотность потока излучения, 1/(см²×с)

$\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{tr}$ – массовый коэффициент передачи энергии, см²/г

$$\dot{H}^*(10) = K_a \times \alpha \quad (2)$$

где $\dot{H}^*(10)$ – мощность амбиентного эквивалента в воздухе, Зв/с

α – коэффициент перехода Зв/Гр

Сравнение величин $\dot{H}^*(10)$, рассчитанных по формулам (1), (2) для случая точечных источников типа ОСГИ-РТ внутри низкофоновой камеры, со значениями, измеренными БД БДРМ-11, показало хорошую сходимость – максимальное отклонение между измеренными и рассчитанными значениями не превышает 17 %.

Установлено, что различие между мощностью амбиентного эквивалента дозы $\dot{H}^*(10)$, измеренного экспериментальным образцом БД БДРМ-11 при помощи рассчитанного оператора «спектр-доза» и опорными величинами $\dot{H}^*(10)$, генерируемыми УДГ-АТ110 в точке измерения (под опорной величиной понимается значение $\dot{H}^*(10)$, взятое из свидетельства на поверку установки), не превышает 30 % при условии, что опорные величины $\dot{H}^*(10)$ не превышают значение, равное 25 мкЗв/ч. Применение дополнительных аппаратно-программных решений, учитывающих изменение формы аппаратного спектра при высокой интенсивности излучения, позволило повысить границу максимально измеряемой величины $\dot{H}^*(10)$ до значения 40 мкЗв/ч.

Литература:

1. Установка радиационного контроля УРК-АТ2329 URL: <https://atomtex.com/ru/ustanovka-radiacionnogo-kontrolya-urk-at2329> (Accessed August 3, 2025)
2. Шильникова Т. И., Алексеев И. В., Аршанский С. М., Домарацкий В. П., Жуков Г. В., Моисеев Н. Н., Оборин А. В. / Проблемы и перспективы в области испытаний средств измерений ионизирующих излучений в целях утверждения типа. Часть 1. // АНРИ. – 2022. – № 3. – С. 49–60.

3. Шильникова Т. И., Алексеев И. В., Аршанский С. М., Домарацкий В. П., Жуков Г. В., Заневский А. В., Литвинова А. И., Оборин А. В., Моисеев Н. Н., Сэпман С. В., Чуваев С. В. / Проблемы и перспективы в области испытаний средств измерений ионизирующих излучений в целях утверждения типа. Часть 2. // АНРИ. – 2023. – № 3. – С. 56–64.
4. Лукашевич, Р. В. Применение спектрометрического метода расчета мощности дозы для создания высокочувствительных образцовых средств измерения на базе сцинтилляционных блоков детектирования / Р. В. Лукашевич, Г. А. Фоков // Приборы и методы измерений. – 2017. – Т. 8. – №3. – С. 246–253.
5. Фоминых, В. И. Измерение малых уровней гамма-излучения спектрометрическим методом с использованием оператора «спектр-доза» / В. И. Фоминых, Г. И. Шульгович, В. А. Кожемякин // Метрология. – 1983. – 10. – С. 32 – 39.
6. Fluka-4 Manual. URL: <https://flukafiles.web.cern.ch/manual/index.html> (accessed August 3, 2025).
7. Дозиметрическая установка гамма-излучения УДГ-АТ110 URL: <https://atomtex.com/ru/dozimetriceskaya-ustanovka-gamma-izlucheniya-udg-at110> (Accessed August 3, 2025)
8. P. Andreo et. al. Fundamentals of Ionizing Radiation Dosimetry. Wiley, 2017, 1000p.
9. ISO 4037-3:2019: Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence.

Х: компаратор ионизирующего излучения

Мелешко Д.А.
meleshkoda@yandex.ru

В связи с развитием отечественного рынка, у государства неумолимо возрастает стремление к импортозамещению нового оборудования в стратегически важных отраслях.

Не менее важное место занимает модернизация устаревших измерительных комплексов на более простые и доступные системы, соответствующие современным требованиям заказчика.

Одним из факторов, которые могут обеспечить независимость и устойчивое развитие российской индустрии, является разработка локального программного обеспечения. Такое ПО поможет оптимизировать работу малых и средних предприятий, обслуживающих крупные стратегические организации.

Принцип локальности, избавленный от фантазий «скорого глобализма» позволяет малыми, но твердыми шагами выстроить фундамент качества и надежности продукта в промышленности и науке.

«Х: компаратор ионизирующего излучения» — упрощенное программное обеспечение с дружественным интерфейсом, позволяющее автоматизировать процесс первичных и периодических проверок альфа и бета источников методом компарирования, согласно ГОСТу 8.581/8.582-2003, с использованием детекторов отечественного производства на операционных системах Windows 10+ и Linux.

Литература:

Шефель Г. М., Морозов С. Б., Мелешко Д. // Двдцатая конференция «Свободное программное обеспечение в высшей школе» : материалы конференции / Переславль-Залесский, 07-09 февраля 2025 г. / отв. ред. Чёрный В.Л. - М.: МАКС Пресс, 2025. - с.29-32.

Межклиническое сравнение контроля вводимой активности в отделениях ядерной медицины

С.А. Рыжов^{1,2,3}, К.Д. Киселев^{1,4}, И.В. Глотова^{1,4}

¹ *Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия*

² *Ассоциация медицинских физиков России, Москва, Россия*

³ *Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Департамент здравоохранения города Москвы, Москва, Россия*

⁴ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Министерство образования и науки Российской Федерации, Москва, Россия*

Введение

Дозкалибратор является основным прибором для определения активности радиофармацевтических лекарственных препаратов (РФЛП) перед их введением пациентам. Кроме того, результаты измерений дозкалибратора используются для калибровки систем визуализации при проведении количественного анализа в ядерной медицине. Ошибки работы дозкалибратора напрямую влияют на качество исследований: недооценка активности приводит к снижению статистики счетов и ухудшению качества медицинского изображения, тогда как переоценка – к необоснованному увеличению дозовой нагрузки на пациента. Поэтому регулярный контроль работы дозкалибратора необходим для обеспечения качества исследований в ядерной медицине, а также воспроизводимости и сопоставимости их результатов между различными отделениями.

Цель работы – количественно охарактеризовать вариации результатов измерений контрольных радионуклидных источников с помощью дозкалибраторов в отделениях ядерной медицины Москвы.

Материалы и методы

Контрольные источники

Применялся набор закрытых радионуклидных источников Co-57, Ba-133, Cs-137 и Ge-68 типа ОИДК-Р и ОСГИ-РТ. Источники ОИДК-Р представляют собой герметичные пластиковые флаконы, внутри которых находится активная часть на основе эпоксидной смолы с равномерно распределенным радиоактивным материалом. В работе использовались источники с объемом смолы во флаконе 10 и 20 мл (всего 8-мь источников данного типа). Источники типа ОСГИ-РТ представляют собой радиоактивное вещество (активное пятно), загерметизированное между термически сваренными полиимидными пленками, установленными в кольцевой корпус из алюминия. Диаметр алюминиевого кольца 25 мм, толщина 3 мм. Диаметр активной части не более 3 мм.

Дозкалибраторы

Измерения проводились на 27-ти дозкалибраторах, установленных в 3-х отделениях ядерной медицины Москвы. Использовались дозкалибраторы трех производителей: Capintec (18 приборов), НТЦ Амплитуда (7 приборов) и Comescr (2 прибора). Причем в

Санкт-Петербург

2025

отделении «1» установлены дозкалибраторы одного производителя, в отделении «2» – двух производителей, в отделении «3» – всех трех производителей.

Все дозкалибраторы, вошедшие в исследование:

- имели действующие свидетельства о поверке или результаты калибровки.
- предварительно прошли испытания на измерение фонового излучения и воспроизводимость измерений в соответствии с рекомендациями AAPM TG 181.

Измерение контрольных источников

Перед измерением источника каждый дозкалибратор настраивался на используемый радионуклид, если таковой был заведен в библиотеке прибора. Источник размещался в камере дозкалибратора в соответствии с требованиями и инструкциями производителя – в частности, с использованием специального держателя. Проводилось 10-ть последовательных измерений активности источника.

Для каждой серии измерений рассчитывалось опорное значение активности, как среднее арифметическое значение измеренной активности контрольного источника. После чего определялось процентное отклонение опорного значения от активности контрольного источника, заявленной в паспорте. Паспортное значение активности источников было скорректировано с учетом радиоактивного распада радионуклидов на момент измерений.

Положительным результатом измерений считался тот, при котором отклонение опорного значения от паспортной активности не превышало 5%, что является рекомендацией большинства международных агентств и ассоциаций (AAPM, IAEA, EFOMP и др.).

Результаты

В связи с отсутствием заводских калибровочных коэффициентов для части радионуклидов у ряда дозкалибраторов выполнить полный объем измерений не удалось. Всего проведено 208 серий измерений из 324 возможных (65%).

В отделении 1 отклонение опорного значения активности от паспортной более чем на 5% наблюдалось во всех 6 сериях измерений (100%), в отделении 2 – в 26 сериях из 48 (45%), в отделении 3 – в 64 сериях из 154 (58%). Таким образом, положительный результат имеют только 47% измерений.

Медиана и диапазон отклонений опорных значений активности контрольных источников от их паспортных значений для образцов различного радионуклидного состава и геометрии приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Медиана (и диапазон) отклонений (%) измеренной активности контрольных источников от паспортных значений по совокупным данным трех отделений

Геометрия/ Радионуклид	10 мл	20 мл	Точечный источник
Co-57	2,7 (-1,5 ... 20,4)	2,1 (-9,3 ... 23,7)	-11,9 (-16,5 ... 18,4)
Ba-133	-1,2 (-14,3 ... 11,1)	2,9 (-14,1 ... 15,8)	4,7 (-14,7 ... 47,3)
Cs-137	0,2 (-69,1 ... 2,3)	1,1 (-69,2 ... 6,8)	-0,3 (-50,3 ... 15,2)
Ge-68	20,7 (-0,8 ... 38,4)	20,5 (-0,5 ... 30,1)	0,5 (-21,0 ... 8,1)

Для поверенных дозкалибраторов зафиксированы существенные расхождения в показаниях дозкалибраторов, как внутри одного отделения (до 69,3%), так и между различными отделениями (до 84,3%) (таблица 2).

Таблица 2 – Максимальная относительная разница показаний дозкалибраторов (%) в одном отделении и между различными отделениями.

Радионуклид	Внутри одного отделения			Между отделениями		
	1	2	3	1 и 2	1 и 3	2 и 3
Co-57	-	27,4	39,4	-	-	40,2
Ba-133	-	12,0	62,0	-	-	62,0
Cs-137	-	69,3	53,6	-	-	84,3
Ge-68	33,1	30,3	27,0	44,1	59,4	45,6

Заключение

Проведенные измерения выявили существенную неоднородность показаний дозкалибраторов как между различными отделениями, так и внутри одного отделения. Медианные отклонения активности контрольных источников от паспортных значений в ряде случаев превышают допустимые пределы, а положительный результат измерений наблюдается менее чем в половине серий. Полученные результаты указывают на необходимость дальнейшей интерпретации данных, анализа возможных причин расхождений (в том числе метрологических и организационных факторов). Исследование в данном направлении должно быть продолжено для повышения точности и сопоставимости измерений активности радионуклидных источников в отделениях ядерной медицины.

Значения отклонения активности контрольных источников от паспортных значений представлены на рисунке 1. Для улучшения наглядности шкала по оси ординат была ограничена, что позволило исключить влияние единичных экстремальных значений и сделать сравнение между сериями более информативным.

Отделение 1 – центр мозга, отделение 2 – ЭНЦ, отделение 3 – ДГОИ

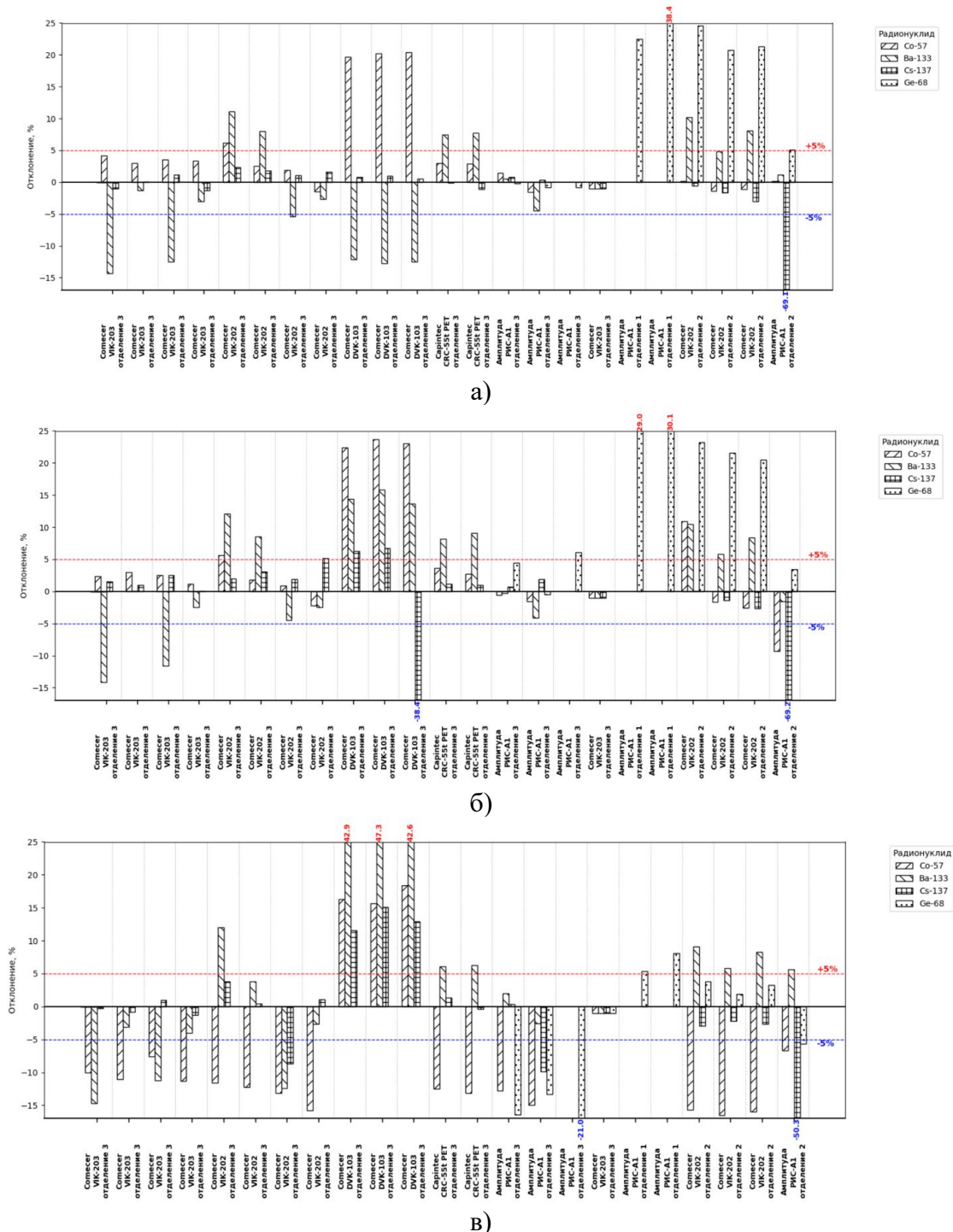


Рисунок 1 – Распределение отклонений опорного значения активности от значения активности, приведенной в паспорте для источника а) объемом 10 мл, б) объемом 20 мл и в) точечного.

РЕЗУЛЬТАТЫ ГОДОВОГО РАДОНОВОГО МОНИТОРИНГА В ПОМЕЩЕНИЯХ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ РАДОНА (Г. БЕЛОКУРИХА АЛТАЙСКОГО КРАЯ)

Микляев П.С.¹, Петрова Т.Б.^{1,2}, Кайгородов Е.И.^{1,3}

¹*Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва*

²*МГУ им. М.В. Ломоносова, химический ф-т, кафедра радиохимии, Москва*

³*ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России, Москва*

В целях изучения путей и механизмов поступления радона из грунтового основания в помещения зданий был проведен годовой мониторинг содержания радона в помещении частного дома в г. Белокуриха Алтайского края. Предварительно в выборочных жилых зданиях города были проведены измерения объемной активности (ОА) радона в помещениях методом сорбции радона на активированный уголь с применением измерительного комплекса «КАМЕРА-01». По результатам этих измерений наибольшие значения ОА радона были обнаружены в одном из частных домов, построенных у подножия склонов Белокурихинского гранитного массива. Граниты здесь характеризуются относительно высоким содержанием радия (до 50 Бк/кг) и значительной проницаемостью обусловленной выветриванием и повышенной трещиноватостью верхней части массива. В доме были проведены более детальные исследования, включая измерения ОА и ЭРОА радона в разных помещениях угольным и мгновенным методами (с применением радиометра радона «Альфа-Аэро»), измерения плотности потока радона (ППР) с поверхности грунта по периметру здания, а также по подножию склона гранитного массива в данном районе (с использованием комплекса «КАМЕРА-01»).

Детальные измерения содержания радона в помещениях дома показали, что наиболее высокие значения ОА радона фиксируются в помещениях первого этажа наиболее близко расположенных к горному склону (санузел и подсобное помещение). Так в санузле значения ОА радона, измеренные угольным методом с экспозицией 5 дней составили 913 ± 140 Бк/м³, а «мгновенные» значения ЭРОА радона составляли 113-156 Бк/м³. В подсобном помещении значения ОА радона достигали 2340 ± 250 Бк/м³, а ЭРОА радона – 705 ± 124 Бк/м³, что существенно превышает допустимые пределы (200 Бк/м³). Следует отметить, что подсобное помещение, где наблюдалась максимальная концентрация радона, врезано непосредственно в склон гранитного массива (помещение граничит с грунтом не только по полу, но и по одной из стен). Стены помещения не герметичные – кирпичные с вставками из бетонных плит с щелями на стыках плит. В остальных помещениях здания, расположенных как на первом этаже на удалении от склона, так и на втором этаже, содержание радона значительно ниже и не превышает 200 Бк/м³.

Измерения плотности потока радона с поверхности грунта показали, что значения ППР непосредственно по периметру дома принимают значения от 14 до 198 мБк/м²с при среднем 71 мБк/м²с, что не является высоким значением, а среднее не превышает допустимого уровня ППР для участков застройки (80 мБк/м²с). Низкие значения ППР связаны с тем, что на территории вокруг дома горный массив задернован и перекрыт в поверхности слоем влажных склоновых отложений суглинистого состава, который по-видимому выступает экраном для поступления радона к поверхности из трещиноватых гранитов. Это подтверждается результатами измерений на соседних участках в местах, где поверхностные склоновые отложения удалены и трещиноватые граниты выходят на поверхность. Например, в выемках дорог и в срезках склонов, сделанных для выравнивания площадок под строительство значения ППР существенно выше и составляют от 150 до 300 мБк/м²с, а в зоне дробления, вскрытой срезкой склона примерно в 600 м к северу от исследуемого участка, были зарегистрированы значения плотности потока радона от 1300 до 2900 мБк/м²с, что свидетельствует о наличии разгрузки радона по трещинам в гранитном массиве. Вероятно, такая же разгрузка радона по трещинам имеет место и под исследуемым нами домом.

В подсобном помещении дома был организован длительный непрерывный мониторинг содержания радона в воздухе с применением радонового монитора Radon Eye корейского производства. Монитор регистрирует объемную активность радона в воздухе с частотой 1 раз в час и автоматически записывает в память прибора. Длительность мониторинга составила ровно 1 год (8760 часов). Мониторинг продолжался ровно один год, был начат 1 сентября 2024 года и закончен 1 сентября 2025 года.

Результаты мониторинга приведены на рис. 1. При рассмотрении результатов обращает на себя внимание существенные временные вариации ОА радона в помещении. При среднегодовом значении ОА радона 1660 Бк/м³, размах колебаний составляет от 28 до 3700 Бк/м³. Причем максимальное значение является верхним пределом детектирования для радонового монитора Radon Eye. Реальная максимальная концентрация радона, по-видимому, еще выше. В колебаниях четко регистрируется мощный сезонный ритм с резкой разницей не только в абсолютных значениях, но и в характере колебаний радона в теплый и холодный период. Кроме сезонного, периодически проявляется четкий суточный, а также менее четкие периоды в несколько суток. Видны также, по-видимому, случайные всплески.

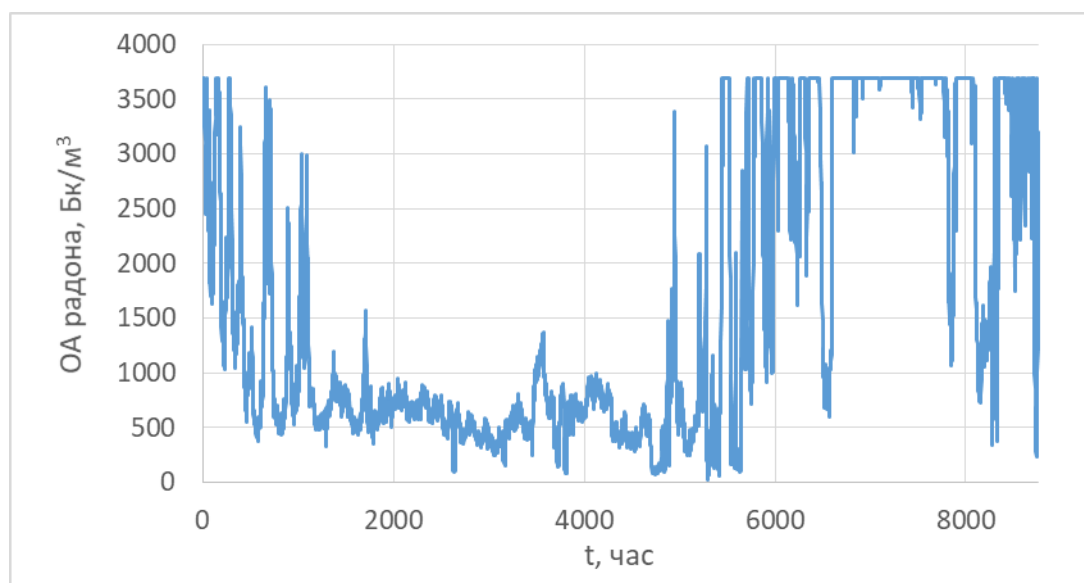


Рис. 1 Результаты годового радонового мониторинга в подсобном помещении.

Наибольший интерес на данном этапе представляет полученный сезонный ритм содержания радона в помещении. Как видно из рисунка, в течение первых полутора месяцев ОА радона в помещении испытывал периодические скачки до весьма высоких значений. Но примерно с середины октября в помещении устанавливаются постоянные относительно низкие значения содержания радона, которые наблюдаются в течение всего холодного периода вплоть до 20-х чисел апреля. Среднее за холодный период значение ОА радона составляет 595 Бк/м^3 , что значительно ниже среднегодового. С 20-х чисел апреля наблюдается резкий рост ОА радона в помещении. Вначале он выражается всплесками с ярко выраженным суточным ритмом с максимальными значениями днем и резким падением ночью, но к концу мая суточный ритм становится менее выраженным. Среднее за теплый период значение ОА радона составило 2827 Бк/м^3 .

Полученный характер временных колебаний радона дает информацию о механизме поступления радона из горного массива в помещение. Разный характер колебаний и резкое различие в концентрации радона в теплый и холодный период свидетельствует о разном механизме поступления радона в помещение зимой и летом. По-видимому, летом, когда температура воздуха в атмосфере выше чем, в прилегающем горном массиве, относительно более холодный воздух в горном массиве опускается вниз и разгружается через трещины и щели в помещение здания, расположенного у подножия склона горного массива. Таким образом создается мощный конвективный поток воздуха, обогащенного радоном, направленный из горного массива в помещения. Зимой же, когда воздух в горном массиве теплее, чем в окружающей атмосфере, он поднимается вверх и конвективное поступление радона в помещение прекращается, что видимо и обуславливает падение концентрации радона в помещении зимой. Полученные данные

свидетельствуют о том, что дома, построенные у подножия склонов горных массивов с относительно высоким содержанием радия и повышенной трещиноватостью, могут характеризоваться повышенной радоноопасностью в связи с возможным развитием конвективного поступления радона в здания в теплый период.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 24-17-00217.

**О повышении квалификации специалистов по спектromетрии и
радиометрии в Санкт-Петербургском филиале АНО ДПО
«Техническая академия Росатома»**

Бомбин Роман Николаевич

«Ядерная и радиационная безопасность» СПб филиала

АНО ДПО «Техническая академия Росатома»

Наличие высококвалифицированных кадров для обеспечения радиационной безопасности – обязательное требование согласно нормативно-законодательным актам РФ для организаций и предприятий, ведущих деятельность в области использования атомной энергии. О необходимости повышения квалификации прямо указывается в ФЗ №3 от 09.01.1996 “О радиационной безопасности населения”, ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ от 30.03.1999 и в ОСПОРБ-99/2009.

Администрация радиационного объекта несёт ответственность за радиационную безопасность и должна обеспечивать (в числе других требований) подготовку и аттестацию по вопросам обеспечения радиационной безопасности руководителей и исполнителей работ, специалистов служб радиационной безопасности, других лиц, постоянно или временно выполняющих работы с источниками излучения.

Целью повышения квалификации является обновление теоретических и практических знаний специалистов в связи с повышением требований к уровню квалификации и необходимостью освоения современных методов решения профессиональных задач (в ред. Постановления Правительства РФ от 10.03.2000 г. № 213).

Повышение квалификации проводится по мере необходимости, но не реже одного раза в 5 лет в течение всей трудовой деятельности работников. Периодичность прохождения специалистами повышения квалификации устанавливается работодателем.

Программы повышения квалификации, разработанные в АНО ДПО «Техническая академия Росатома», строго соответствуют требованиям действующего законодательства РФ.

В учебно-методическом центре «Ядерная и радиационная безопасность» СПб филиала АНО ДПО «Техническая академия Росатома» повышение квалификации в области радиационных измерений проводится уже более 14 лет.

Учебные программы УМЦ ЯиРБ в области спектromетрии, дозиметрии и радиометрии:

Код программы	Наименование программы	Продолжительность обучения, ак. часов Всего / Очно / Заочно
221.25	Методы и средства радиационного и дозиметрического контроля	Очно, 40
221.26/	Современные методы и средства спектрометрических измерений	Очно, 40
221.27/	Современные методы обработки данных спектрометрических измерений	Очно, 32
221.28/	Подготовка экспертов в области гамма-спектрометрических измерений	Очная, 72
221.29	Современные методы и средства жидкосцинтилляционной спектрометрии	Очно, 24
221.30	Производственный радиационный контроль первичного сырья, металлоизделий, строительных материалов, металлолома, отходов производства и потребления	Очно, 24
221.31	Радиационный контроль, контроль взрывобезопасности лома черных и цветных металлов	Очно, 24

С целью передачи слушателям максимально актуальных и востребованных работодателями компетенций к реализации программы привлекаются практикующие специалисты, работающие на предприятиях и в организациях Госкорпорации «Росатом» и в других научно-исследовательских и научно-производственных учреждениях и организациях Российской Федерации, фирмах - производителях и дистрибьюторах спектрометрического оборудования.

Постоянно участвуют в наших курсах в качестве преподавателей Васильев С.К., Пахомов С.А., Степанов А.В. (АО «Радиовый институт им. В.Г. Хлопина), Сэпман С.В. (ФГУП ВНИИМ им Д. И. Менделеева), Шикаленко Ф.Н. (ООО «НТЦ «РАДЭК»), Бурьяненко И.В. (АО «РИТВЕРЦ»), Кулькова М.А. (РГПУ им А.И. Герцена), сотрудники ООО «ЛСРМ» Корчагин П.А., Ковальский Е.А., Пономаренко Р.А., другие известные специалисты, за что мы им выражаем благодарность. В связи с временной приостановкой поставок спектрометрического оборудования зарубежного производства (Canberra, Ortec) возникла необходимость переориентировать содержание курсов на отечественные разработки.

Сегодня ещё существуют определенные проблемы с наличием учебного оборудования и учебно-методических материалов от отечественных разработчиков аппаратуры.

Приглашаем разработчиков и предприятия-изготовители поделиться учебными макетами, стендами, рекламными материалами и т. п.

В этом году в результате сотрудничества с ООО НПП «Доза» заключен договор на поставку спектрометра МКС-АТ6102, дозиметра-радиометра МКС-17Д «Зяблик», дозиметра гамма-излучения индивидуального ДКГ-05Д. Планируем продолжение закупок оборудования для пополнения учебно-материальной базы Академии в 2026 году.

Проводимые у нас курсы получают исключительно положительные отзывы слушателей. Наши курсы со стороны фирм-участников возможно использовать как рекламную площадку, а также для проведения консультаций представителям организаций, которые приобрели аппаратуру в конкретной компании.

Занятия на курсах повышения квалификации для спектрометристов проводятся в специально оборудованной лаборатории радиационного контроля, с использованием как действующих приборов, которыми располагает наш учебно-методический центр, так и с использованием программного комплекса GammaLab, разработанного ООО «ЛСРМ», предназначенного для имитации процесса измерения источников гамма-излучения с помощью полупроводниковых и сцинтилляционных спектрометров. Периодически организовываются технические туры на предприятия и в организации, имеющие спектрометрические лаборатории.

Практическая часть программы корректируется, в соответствии с потребностями сформировавшейся аудитории. После завершения курса проводится итоговая аттестация. Слушатели, успешно сдавшие зачет, получают удостоверение о повышении квалификации установленного образца.

Повышение профессиональной квалификации несомненно положительно отражается на качестве работы инженерно-технического персонала, поэтому в прохождении курсов заинтересованы не только профильные специалисты, но и их руководители.

Приглашаем на наши курсы.

Особенности радиационного загрязнения природных ландшафтов, как следствие химической переработки урана на территории Новосибирской области

Н. А. Барило¹, А. Д. Карпов², Е. А. Удадьцов¹

¹ *Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация*

² *Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, г. Пушкино, Российская Федерация*

20503vpo@gmail.com

В настоящее время естественные радионуклиды, такие как изотопы урана и тория, извлеченные из недр земли, являются значимыми источниками радиационного загрязнения окружающей среды. Масштабное поступление радионуклидов в окружающую среду возникает в местах работы предприятий ядерного топливного цикла, а также на объектах, выведенных из эксплуатации предприятий по добыче и переработке урановых руд, которые относятся к так называемому «урановому наследию» [1,2]. В местах накопления радионуклидов радиационному облучению подвержены не только объекты окружающей среды, но и население, проживающее вблизи таких объектов.

На территории Российской Федерации одними из основных источников поступления изотопов урана в окружающую среду выступают предприятия по добыче урановых руд (в основном открытым способом), а также предприятия переработки и производства ядерного топлива. Имеющиеся на территории страны объекты радиационного загрязнения такого типа образованы во второй половине 20 века, многие из которых на сегодняшний день давно уже выведены из эксплуатации.

Целью данной работы было оценить уровень радиационного загрязнения природных ландшафтов на территории города Новосибирска и его окрестностях, а именно: провести измерения мощности дозы на территории исследуемых объектов, определить радионуклидный состав и концентрацию радионуклидов в отобранных образцах.

В ходе исследования использовалось специализированное оборудование для дозиметрического и радиометрического контроля. Для измерения мощности амбиентного эквивалента дозы и поисковой гамма съемки использовались дозиметр–радиометр МКС–01СА1М, дозиметр–радиометр RadiaCode–101 и радиометр СРП–68–01 [3]. В ходе поисковой гамма–съемки на исследуемых полевых участках были обнаружены превышения радиационного фона, после чего были проведены измерения плотности потока радона. Измерения ППР проводились с использованием радиометра радона РРА–01М–01 «АльфаРад» с пробоотборным устройством ПОУ–04 в соответствии с методикой экспрессного измерения плотности потока радона ^{222}Rn с поверхности земли с помощью радиометра радона типа РРА [4].

В результате пешеходной гамма-съемки местности были выявлены два объекта с превышениями радиационного фона, расположенные в промышленной зоне г. Новосибирска и пригородном лесном массиве. В отдельных точках обследования мощность дозы достигала 30 мкЗв/ч, что превышает допустимые уровни фоновых значений более чем в 100 раз [5].

Измерения плотности потока радона на выявленных участках показали значения в диапазоне от 292 до 24089 мБк/(м²·с). Такая интенсивность эксхалации радона с поверхности говорит о наличии в земле значительных концентраций ²³⁸U и его ДПР, в том числе изотопа радия ²²⁶Ra.

На загрязненном участке лесного массива, в протекающем на его территории ручье, было отобрано 5 проб воды. Уровень содержания изотопа радона ²²²Rn в воде не превысил допустимой величины в 60 Бк/л [5]. Максимальное измеренное значение составило 37 Бк/л.

На двух указанных загрязненных участках были отобраны пробы почвы, растений и грибов для определения в них радионуклидного состава и значений удельной активности. Содержание радионуклидов определялось в лаборатории радиационного контроля (ФБУ ВНИИЛМ, г. Пушкино) с использованием гамма-спектрометрического комплекса на основе полупроводникового HPGe-детектора (BSI, Латвия) и ПО SpectraLineBG (ЛСРМ, Россия) [6]. В результате полевых работ было отобрано 50 проб почв, 15 проб растительности и 6 проб грибов. В пробах почвы установлено повышенное содержание радионуклидов, принадлежащих к ДПР ²³⁸U. Удельная активность радия ²²⁶Ra в почвах варьируется от 64 до 15000 Бк/кг, при среднем значении по всем пробам почв 2940 Бк/кг.

В грибах отчетливо прослеживается зависимость накопительной способности (коэффициент накопления – Кн) радия в зависимости от вида грибов. Так, для лесного участка, наибольшую аккумулирующую способность проявляют опята (3100 Бк/кг, Кн=0,65) и ложные опята (790 Бк/кг, Кн=0,49). Наименьшая аккумулирующая способность установлена у трутовых грибов (130 Бк/кг, Кн=0,33). Объясняется это произрастанием трутовых грибов на стволах древесной растительности на высотах более 1 метра.

В пробах растительности аккумулирующими радий являются побеги костяники (1660 Бк/кг, Кн=0,69), растительность нижнего яруса (1200 Бк/кг, Кн=0,72) и мох гиолокомиум (900 Бк/кг, Кн=0,61). Наименьшее накопление отмечается в побегах и плодах шиповника (120 Бк/кг, Кн=0,25).

Древесная растительность отличается значительно меньшими значениями Кн. Наибольшие значения выявлены в коре березы (450 Бк/кг, Кн=0,18). В пробах коры и древесины остальных деревьев (осина, тополь, клен) удельная активность варьируется от 130 до 350 Бк/кг, с Кн не более 0,15. Низкие значения удельной активности и коэффициентов накопления обусловлены поверхностным характером радиоактивного

загрязнения и тем, что корневая система деревьев расположена ниже загрязненного слоя почвы.

Полученные результаты являются важным аспектом при оценке радиационного воздействия на уровень жизнедеятельности человека на территории г. Новосибирска и Новосибирской области.

Литература

1. Титов А.В., Шандала Н.К., Бельских Ю.С., Серегин В.А., Дороньева Т.А., Филонова А.А., Семенова М.П., Гушина Ю.В., Павленко-Михайлов Ю.Н. Радиационная обстановка на территории площадки уранового наследия в пади Бамбакай (Забайкальский край) // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 3. С. 72-81.
2. Манахов Д. В., Егорова З. Н. Формы нахождения радия-226 в подзолах северо-востока острова Сахалин в зоне влияния нефтедобывающего предприятия // ПОЧВОВЕДЕНИЕ, 2014, № 6, с. 744–749.
3. МР 2.6.1.0361–24. Радиационный контроль земельных участков, предназначенных под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения, а также прилегающей к зданиям и сооружениям территории и территории общего пользования. утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 24 декабря 2024 г.
4. Методика экспрессного измерения плотности потока ^{222}Rn с поверхности земли с помощью радиометра радона типа РРА. ЦМИИ ГП ВНИИФТРИ. 1998. 21 с.
5. СанПиН 2.6.1.2523–09. "Нормы радиационной безопасности НРБ–99/2009". М.; Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиены, сертификации и экспертизы Минздрава России, 2009. 114 с
6. МР 2.6.1/2.3.7.0216-20. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. 2.3.7. Состояние здоровья населения в связи с состоянием питания. Радиохимическое определение удельной активности природных радионуклидов в пробах пищевой продукции, почвы, других объектов окружающей среды и биопробах" (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.09.2020).

УДК 539.1.01

Простой способ визуализации совмещения поперечного сечения пучка протонов с мишенью циклотрона

М.А. Стариков¹¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Введение. Ускорители циклотронного типа применяются во многих отраслях: от химии и физики до медицины [1,2]. Эффективная работа ускорителя является приоритетной задачей при эксплуатации установки, начиная от экономии электроэнергии и пространства, до экономии ресурса составляющих циклотрона. В рамках данной работы представлен простой способ визуализации совмещения поперечного сечения пучка протонов с мишенью циклотрона, который позволяет оценить эффективность облучения мишени.

Эффективность облучения определяется отношением площади поперечного сечения пучка к площади мишени. Это отношение называется эффективной площадью.

Для измерения площади поперечного сечения пучка нами был использован метод прожигания (burn test).

Burn test представляет собой процедуру в ходе которой мишень заменяется на цилиндр с закрепленным на нем индикатором. Индикатор представляет собой элемент в форме круга с нанесенными вспомогательными радиальными и прямыми линиями. Индикатор может быть выполнен из разных материалов, в этом исследовании индикатор выполнен из бумаги. При кратковременном облучении пучок прожигает индикатор, позволяя оценить площадь поперечного сечения пучка рис. 1.



Рис. 1. Вид прожжённого индикатора из бумаги после проведения burn test

Совмещение прожженного индикатора с мишенью циклотрона позволяет оценить эффективную площадь. На рис. 2 представлен индикатор с пунктирным контуром мишени, все сравнения результатов burn test были проведены с площадью внутри этого пунктирного контура, таким образом будет рассчитана эффективная площадь облучения.

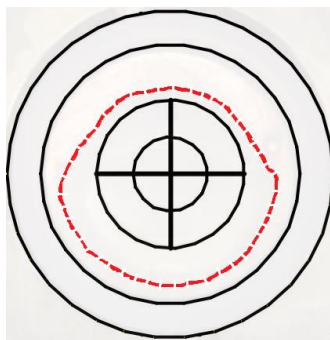


Рис. 2. Индикатор с нанесённым пунктирным контуром мишени

Камера циклотрона представляет собой пространство, в котором движется пучок [3]. Давление в камере циклотрона низкое и составляет порядка 10^{-8} - 10^{-5} торр, 1 торр = 1 мм ртутного столба или 133,3 Па [4].

Были проведены эксперименты с различным значением давления в камере циклотрона и измерена эффективная площадь для этих значений давления. Далее была проведена проверка повторяемости эксперимента и исследована зависимость результатов от разных типов бумаги, из которой выполнен индикатор.

Подсчеты площадей и вся обработка изображений проводилась с помощью библиотеки «Open CV» на языке python.

Результаты. На рис. 3 представлен график зависимости эффективной площади от значения давления в камере циклотрона. Значения ошибки рассчитаны как погрешность вычисления площади программным пакетом 3%.

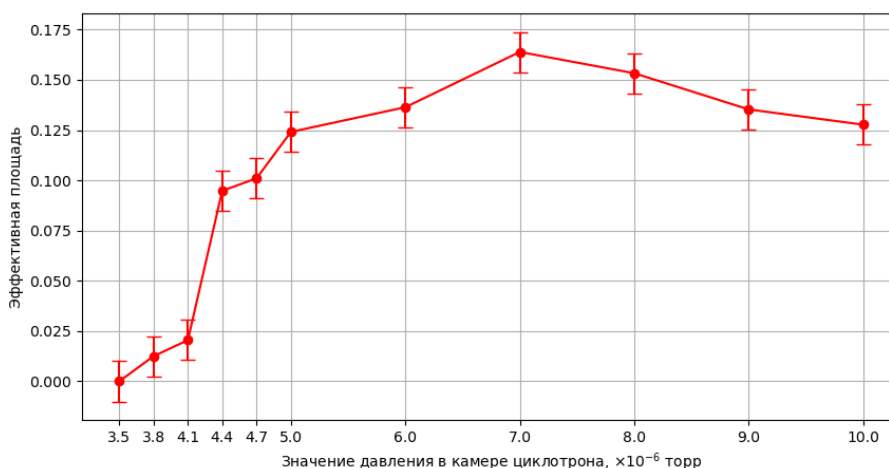


Рис. 3. График зависимости эффективной площади от давления в камере циклотрона

На рис. 4 представлены средние значения эффективной площади для индикаторов из бумаги различной плотности. Значения ошибки рассчитаны как среднеквадратичное отклонение для каждого образца [5].

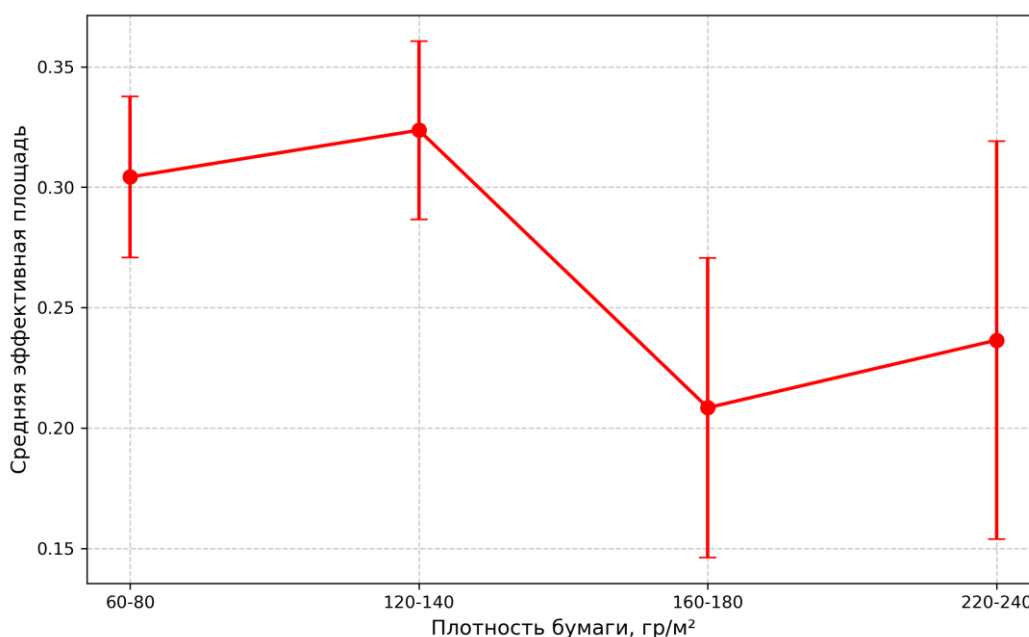


Рис. 4. График зависимости средней эффективной площади от плотности бумаги

Выводы. В данной работе предложен метод измерения площади поперечного сечения пучка (методом прожигания) и на его основе реализован простой способ совмещения поперечного сечения пучка протонов с мишенью циклотрона.

Приведены результаты по измерению площади поперечного сечения пучка в зависимости от давления в камере циклотрона:

- максимальная эффективная площадь достигается при значениях давления в камере циклотрона равном $7 \cdot 10^{-6}$ торр;
- оптимальной бумагой для проведения burn test является бумага плотностью 60-80 гр/м².

ЛИТЕРАТУРА

1. Livingston M.S., Blewett J.P. Particle Accelerators. – McGraw-Hill New York, 1962. – 556 p.
2. Wilson E.J.N. An Introduction to Particle Accelerators. – Oxford University Press Oxford, 2001. – 283 p.
3. Смирнов В.Л. Циклотрон и его моделирование // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2021. – Т. 52. – № 5. – С. 1158-1304.
4. Van de Graaff R.J., Trump J.G. Electrostatic Generators // Reports on Progress in Physics. – 1948. – Vol. 11. – № 1. – P. 1-18.
5. Агапьев Б. Д., Козловский С. С. Физика. Практическая обработка экспериментальных данных. – СПб.: СПбПУ, 2012. – 64 с.

**Автоматизированное радиомечение металл-органических каркасов
на основе циркония изотопом радий-223 для локорегионарной
терапии рака молочной железы**

Ахметова Д. Р.^{1,2,@}, Русакова В. А.², Тимин А. С.², Шипиловских С. А.^{1,2}.

¹Национальный исследовательский университет ИТМО, МНОЦ "Физики наноструктур",
Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
ИБСиБ, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: akhmetova.lab.dr@gmail.com

Развитие методов автоматизированного радиомечения новых перспективных материалов является высокостребованной задачей для перехода к отечественному малотоннажному производству радиофармпрепаратов (РФП) с уникальными свойствами в соответствии с требованиями надлежащей производственной практики (GMP) [1]. Металл-органические каркасы (МОК), благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, таким как высокая сорбционная емкость [2], стабильность [3] и вариативность состава [4], рассматриваются как многообещающие сорбенты и носители радионуклидов для терапии онкологических заболеваний.

Однако, данное направление исследований остается малоизученным. Так в области разработки нового поколения РФП существуют две основные проблемы, требующие поиска эффективных подходов. Во-первых, применение перспективных изотопов радия (например, радий-223) ограничено из-за их сложности хелатирования за счет катионной природы и большого ионного радиуса [5]. Во-вторых, большинство лабораторно апробированных методик радиомечения носителей не являются оптимальными для автоматизации синтеза и широкого клинического применения [6]. В данном исследовании был разработан автоматизированный метод радиомечения микро- и наноразмерных МОК на примере UiO-66-NH_2 и изотопа радий-223 для применения к локорегионарной терапии опухолевых заболеваний.

Для этого сольвотермическим методом были синтезированы микро- и наноразмерные МОК UiO-66-NH_2 . Полученные МОК были охарактеризованы современными физико-химическими методами, включая сканирующую электронную микроскопию (СЭМ), динамическое светорассеяние (ДСР), энергодисперсионную рентгеновскую спектроскопию (ЭРС), рамановскую спектроскопию, термогравиметрический анализ (ТГА) и анализ адсорбции по Брунауэру-Эммету-Теллеру (БЭТ).

Автоматизация радиомечения МОК изотопом радий-223 была реализована с использованием автоматизированной модульной системы синтеза путем оптимизации ручного лабораторного протокола, основанного на осаждении радия-223 в присутствии BaCl_2 и Na_2SO_4 с последующим исследованием эффективности радиомечения и стабильности удержания изотопа в 0,9% NaCl . Автоматизированный протокол радиомечения позволил достичь высокой эффективности радиомечения ($> 94\%$) для обоих

типов МОК. Ключевым результатом является высокая стабильность полученных комплексов, так вытекание радия-223 из МОК в течение 7 дней инкубации в 0,9% NaCl составила менее 10% (90–93% удержания), что подтверждает способность UiO-66-NH₂ эффективно удерживать катион радия при осаждении в присутствии BaCl₂ и Na₂SO₄ за счет аналогичной химии Ba²⁺ и Ra²⁺.

Профиль токсичности и захват клетками 4T1 (рак молочной железы) были исследованы методами AlamarBlue и конфокальной лазерной сканирующей микроскопии (КЛСМ). Исследования *in vitro* продемонстрировали высокую эффективность захвата микро- и наноМОК клетками 4T1. Терапевтическая эффективность разработанных РФП была исследована на мышах линии Balb/c с подкожной моделью рака молочной железы. Установлено, что введение ²²³Ra@МОК мышам с привитыми опухолями 4T1 привело к выраженному противоопухолевому эффекту без значительных побочных эффектов или потери массы тела. Было продемонстрировано ингибирование роста опухоли на 76% для микроразмерных МОК и на 83% для наноразмерных МОК по сравнению с контрольной группой.

Таким образом, в данной работе была успешно разработана и впервые реализована автоматизированная методика радиомечения МОК UiO-66-NH₂ изотопом радий-223, максимально приближенная к стандартам GMP. Продemonстрирована ключевая роль стабильной пористой структуры МОК UiO-66-NH₂ в эффективном захвате и длительном удержании терапевтического изотопа, что решает главную проблему при работе с изотопами радия. Полученные комплексы ²²³Ra@МОК обладают высокой стабильностью *in vitro* и проявляют выраженную противоопухолевую активность в отношении модели рака молочной железы. Наноразмерная форма показала незначительное преимущество в эффективности терапии за счет усиленного захвата клетками и более равномерного распределения при введении в опухоль. Проведенные исследования позволяют рассматривать разработанные РФП на основе МОК UiO-66-NH₂ в качестве высокоперспективных кандидатов для локорегионарной радионуклидной терапии онкологических заболеваний, в частности рака молочной железы. Представленная стратегия автоматизированного радиомечения открывает путь для масштабируемого и воспроизводимого производства новых РФП на платформе МОК.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда № 25-73-10091 «Дизайн и синтез новых биосовместимых наноструктурированных металл-органических каркасов, содержащих АФК-продуцирующие агенты, для комбинированной радионуклидной терапии злокачественных новообразований».

Список источников:

1. Vis R., Lavalaye J., van de Garde E.M. GMP-compliant ⁶⁸Ga radiolabelling in a conventional small-scale radiopharmacy: a feasible approach for routine clinical use // EJNMMI Res. 2015. Т. 5, № 1. С. 27.

2. Koryakina I.G. и др. Microfluidic synthesis of metal-organic framework crystals with surface defects for enhanced molecular loading // *Chemical Engineering Journal*. 2023. Т. 452. С. 139450.
3. Ma J. и др. Current and promising applications of UiO-based MOFs in breast cancer therapy // *React Funct Polym*. 2024. Т. 200. С. 105918.
4. Sadiq S. и др. A critical review on metal-organic frameworks (MOFs) based nanomaterials for biomedical applications: Designing, recent trends, challenges, and prospects // *Heliyon*. 2024. Т. 10, № 3. С. e25521.
5. Henriksen G., Hoff P., Larsen R.H. Evaluation of potential chelating agents for radium // *Applied Radiation and Isotopes*. 2002. Т. 56, № 5. С. 667–671.
6. Gillings N. и др. Guideline on current good radiopharmacy practice (cGRPP) for the small-scale preparation of radiopharmaceuticals // *EJNMMI Radiopharm Chem*. 2021. Т. 6, № 1. С. 8.

Разработка платформы на основе карбоната кальция для комбинаторной радиохимиотерапии меланомы

Русакова В. А.¹, Ахметова Д. Р.^{1,2}, Матвеев Д. А.¹, Толокнянникова Д. П.¹,
Шипиловских С. А.^{1,2}, Тимин А. С.¹

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
ИБСиБ, Санкт-Петербург, Россия

² Национальный исследовательский университет ИТМО, МНОЦ "Физики наноструктур",
Санкт-Петербург, Россия
e-mail: rusakovalada@gmail.com

В настоящее время одним из основных направлений в разработке диагностических и терапевтических препаратов в области лечения злокачественных новообразований является создание систем доставки на основе частиц с инкапсулированным противоопухолевым препаратом [1]. Одной из отличительных особенностей применения таких систем является снижение токсического действия на здоровые ткани. При разработке систем доставки лекарств необходимо принимать во внимание важные факторы, такие как процент инкапсуляции действующего вещества, его кинетику высвобождения из частиц и токсичность. Карбонат кальция (CaCO_3) является одним из популярных материалов для создания микрочастиц, благодаря простоте получения, экономической эффективности, биосовместимости, высокой пористости и поверхностной реакционной способности [2].

В данном исследовании изучена контролируемая загрузка замещенных производных 2-аминотиофена (2-АТ) в микрочастицы CaCO_3 , высвобождение препарата в нормальной и кислой среде, радиомечение полученной системы доставки, а также проведена оценка токсического эффекта на примере раковых клеток меланомы. Инкапсуляция 2-АТ в микрочастицы осуществлялась методом адсорбции и соосаждения. Процент загрузки 2-АТ и его высвобождения при pH 5 и pH 7 анализировались с использованием метода спектрофотометрии. В данном исследовании было использовано «холодное» и «горячее» радиомечение микрочастиц CaCO_3 с помощью метода, основанного на осаждении радия-223 в присутствии BaCl_2 и Na_2SO_4 с дальнейшим определением процента эффективности радиомечения и удержания изотопа в 0,9% NaCl . С помощью метода AlamarBlue на клеточной линии B16-F10 было оценено ингибирующее действие полученной системы доставки в отношении меланомы.

Инкапсуляция 2-АТ (0,5 мг/мл) путём адсорбции составила ~83%, путём соосаждения - ~89% (Рис. 1А). Скорость высвобождения лекарственного средства из микрочастиц была выше при pH 7, чем при pH 5. В нормальной среде за время эксперимента высвободилось ~29% (загрузка осуществлялась методом адсорбции) и ~29% (загрузка осуществлялась методом соосаждения) терапевтического препарата, в кислой среде – ~19% и ~26% соответственно (Рис. 1Б). Эффективность радиомечения микрочастиц составила 97%, процент удержания изотопа в течение 7 дней составил 94%.

Данные результаты показывают, что микрочастицы способны эффективно удерживать изотоп радий-223 для дальнейшего терапевтического использования. На Рис. 1В представлено СЭМ изображение полученной системы доставки. Результаты AlamarBlue теста показали, что выживаемость клеток составила ~67% при наибольшей концентрации микрочастиц (3 мг/мл).

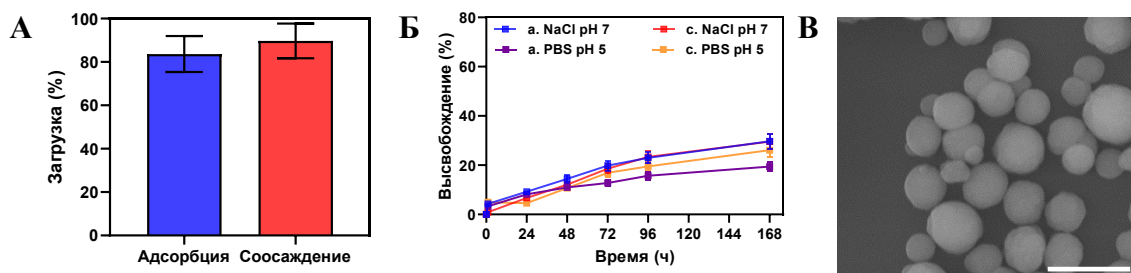


Рисунок 1. (А) График загрузки 2АТ в микрочастицы CaCO₃ с помощью методов адсорбции и соосаждения. (Б) График высвобождения 2АТ из микрочастиц при различных значениях рН в течение 168 часов (а. – адсорбция, с. – соосаждение). (В) СЭМ изображение меченных «холодным» радием микрочастиц CaCO₃ с инкапсулированным 2-АТ. Шкала соответствует 5 мкм.

Полученная информация позволяет в дальнейшем использовать меченные радием-223 микрочастицы CaCO₃ с инкапсулированным 2-АТ в исследованиях *in vivo* с целью терапии злокачественных новообразований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда № 25-25-00229 «Разработка нового метода брахитерапии рака молочной железы с использованием кальцийсодержащих нано- и микроносителей».

Список источников:

1. Awasthi R. et al. Nanoparticles in Cancer Treatment: Opportunities and Obstacles // *Current Drug Targets*. – 2018. – Vol. 19. – №14. – P. 1696–1709.
2. Biny L, Gerasimovich E, Karaulov A, Sukhanova A, Nabiev I. Functionalized Calcium Carbonate-Based Microparticles as a Versatile Tool for Targeted Drug Delivery and Cancer Treatment // *Pharmaceutics*. – 2024. – Vol. 16. - №5. – P. 653.

К вопросу о факторах, влияющих на точность измерения МАЭД в таможенной практике

А.В. Борисенко, Н.В. Берлова, Ю.В. Чубов

Владивостокский филиал Российской таможенной академии,

Введение

Обеспечение ядерной и радиационной безопасности государства на государственной границе Российской Федерации является одной из важнейших функций таможенных органов Российской Федерации. В рамках исполнения этой функции таможенные органы организуют и проводят таможенный контроль с применением переносных и стационарных технических средств радиационного контроля (ТСРК), позволяющих выявлять источники ионизирующего излучения среди перемещаемых через таможенную границу объектов таможенного контроля, измерять физические характеристики радиационных источников и испускаемых ими излучений.

Ключевым элементом оценки радиационной безопасности и контроля соответствия объектов таможенного контроля санитарным нормам является измерение мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) фотонного излучения. Вместе с тем, накопленный опыт показал, что при измерении МАЭД гамма-излучения от идентичных маломощных точечных источников, выявленных в ходе проведения радиационного контроля, значения, получаемые приборами разного типа, могут существенно отличаться. Это обусловлено рядом факторов, связанных как с техническими и конструктивными особенностями приборов, так и методиками их применения.

Настоящая работа посвящена анализу факторов, определяющих точность измерения МАЭД приборами, используемыми в таможенной практике.

1. Объекты и методика исследования

В качестве объектов исследования были выбраны ТСРК, имеющиеся на оснащении таможенных органов: дозиметры ДКГ-PM1203М, ДКГ-PM1621, ДКГ-PM1610, ДКС-АТ1123; измерители-сигнализаторы поисковые ИСП-PM1401К-01, ИСП-PM1401К-01М; радиометр-спектрометр МКС-А03. Для сравнительного анализа в исследование были включены некоторые приборы, применяемые в организациях Росатома, Роспотребнадзора, МЧС и др.: дозиметр ДКГ-PM1211, дозиметры-радиометры МКС-PM1405, МКС-15Д «Снегирь», МКС-АТ6130. Все приборы являются утвержденными средствами измерения в РФ. Выбранный перечень ТСРК характеризуется разнообразием по типу, виду, назначению и конструктивным особенностям, включая:

- размеры и количество детекторов;
- тип детекторов (газоразрядные, сцинтилляционные);
- алгоритм работы и программно-технические средства управления;
- расстояние между эффективным центром детектора и поверхностью прибора;
- заданную точность измерения дозиметрических величин.

Важно отметить, что некоторые из исследуемых приборов, например, ИСП-PM1401K-01 (энергетически не скомпенсирован для измерения МАЭД) и ДКГ-PM1610, ДКГ-PM1621 (предназначены для измерения мощности индивидуального эквивалента дозы МИЭД), на практике часто применяются таможенными органами для измерения МАЭД из-за особенностей их технического оснащения и стоящих задач. Показания этих приборов в рамках данного исследования интерпретировались как результаты измерения МАЭД.

Измерения МАЭД исследуемыми приборами проводились для ряда точечных радионуклидных источников типа ОСГИ (Cs-137, Ba-133, Eu-152, Co-60) и протяженных на основе Ra-226 и Th-232. При измерениях приборы располагались на расстоянии 0,1 м до места расположения источников, а в некоторых случаях располагались на их поверхности. Эти условия были выбраны в соответствии с критериями и требованиями проведения измерений, регламентированными, в частности, Решением Комиссии Таможенного союза № 299 от 28 мая 2010 г.

2. Результаты исследования

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что измеренные значения МАЭД гамма-излучения для каждого из радионуклидов, полученные приборами разного типа, имеют существенные различия. Наибольший разброс показаний приборов, достигающий 170%, наблюдался при измерении МАЭД гамма-излучения от источников Co-60 и Ba-133. В частности, для Co-60 аномально высокие показания зарегистрированы у приборов ДКГ-PM1610 и ДКГ-PM1211, в то время как показания МКС-15Д «Снегирь», МКС-А03 и ДКС-АТ1123 оказались значительно занижены. Для Cs-137 и Eu-152 результаты измерений МАЭД для большинства приборов укладывались в пределах погрешности 20%.

Полученные расхождения не позволяют провести однозначную интерпретацию результатов измерений без детального анализа факторов, влияющих на точность измерений. С подобной проблемой могут столкнуться не только должностные лица таможенных органов, но и сотрудники других контрольно-надзорных структур, что подчеркивает системность проблемы.

3. Обсуждение факторов, влияющих на точность измерений

Результаты измерения МАЭД зависят от ряда факторов, влияние которых может быть различным в каждом конкретном случае. В рамках данного исследования основной акцент сделан на анализе следующих аспектов:

а. Конструктивные особенности прибора. Одним из значимых факторов является геометрическое расположение детектора внутри корпуса прибора. Глубина расположения эффективного центра детектора относительно внешней поверхности прибора варьируется от 7 мм (МКС-АТ6130) до 34,5 мм (МКС-А03). Это имеет критическое значение при измерении МАЭД локальных источников на малых расстояниях или непосредственно на поверхности объектов контроля, поскольку стандартные методики и градуировка часто не учитывают этот параметр, что может привести к значительным ошибкам. Особое значение имеет также положение детектора относительно падающего излучения и направление градуировки по чувствительности.

б. Влияние программно-технических средств управления и обработки информации на базе микропроцессоров. В современных ТСРК активно используются микропроцессорные системы с программным обеспечением (ПО), управляющие всем процессом измерений – от тестирования узлов прибора до вычисления МАЭД и вывода результатов.

Практика показала, что точность измерений во многом определяется не только характеристиками детекторов, но и алгоритмами работы прибора, вычислительной мощностью микропроцессоров и качеством встроенного ПО. Примером является сравнительный анализ показаний ИСП-PM1401K-01 разных годов выпуска и ИСП-PM1401K-01M. Для ИСП-PM1401K-01 выпуска 2012 года наблюдалось превышение значений МАЭД от источников Th-232 в два раза, а от Ra-226 – более чем в три раза по сравнению с приборами 2004 и 2007 годов выпуска. ИСП-PM1401K-01M (2012 г.) также показал существенные отличия для Th-232 и Ra-226. Это объясняется энергетической некомпенсированностью ИСП-PM1401K-01 (гарантированная погрешность только по Cs-137) и применением различных алгоритмов обработки данных в зависимости от версии ПО и года выпуска прибора, а также, в случае ИСП-PM1401K-01M, – особенностями работы двухдетекторной системы.

с. Тип детектора дозиметра. Как правило, в дозиметрах применяются газоразрядные и сцинтилляционные детекторы. Газоразрядные счетчики, такие как СБМ-20 (в ДКГ-PM1203M, ДКГ-PM1211), имеют относительно малую эффективность регистрации гамма-излучения (до 2% в интервале 0,1 - 3 МэВ) и низкую чувствительность ($\sim 2,50$ (имп./с)/(мкЗв/ч) для Co-60), что требует значительного времени измерения для снижения статистической погрешности. Для выравнивания энергетической зависимости чувствительности (ЭЗЧ) в них используются фильтры. По сравнению с газоразрядными детекторами, сцинтилляционные детекторы (например, NaI(Tl) в МКС-A03, CsI(Tl) в ИСП-PM1401K-01) обладают значительно более высокой чувствительностью (на порядок выше, 25-100 (имп./с)/(мкЗв/ч)) и эффективностью. Однако ЭЗЧ неорганических сцинтилляторов сильно зависит от энергии излучения, особенно в области малых и средних энергий (десятки-сотни кэВ). Органические и пластиковые сцинтилляторы (как в ДКС-AT1123) более воздухоэквивалентны и имеют лучшие характеристики ЭЗЧ, при этом могут быть использованы способы компенсации ЭЗЧ для расширения диапазона регистрации. Также важен фактор собственного («темнового») фона детектора, который может достигать 0,03-0,10 мкЗв/ч для счетчиков Гейгера-Мюллера и вносить заметный вклад в показания приборов при измерениях в нормальной радиационной обстановке.

д. Влияние бета-излучения на результат измерений. Исследования показали, что наличие бета-излучения (проверено на Sr-90/Y-90) может оказывать существенное влияние на показания некоторых приборов, предназначенных для измерения гамма-излучения. В частности, для ДКГ-PM1203M, ДКГ-PM1610, ДКГ-PM1211, ДКС-AT1123 и МКС-AT6130 присутствие бета-источника заметно (иногда значительно, как для МКС-AT6130) увеличивало измеренные значения МАЭД. Для других исследованных приборов влияние бета-излучения отсутствовало. Игнорирование этого фактора при контроле объектов, содержащих источники бета-излучения, может привести к ошибочной оценке гамма-фона.

е. Влияние класса дозиметра на результаты измерения. Дозиметры делятся на инспекционные (измеряющие амбиентный эквивалент дозы $H^*(10)$) и индивидуальные (измеряющие индивидуальный эквивалент дозы $H_p(10)$). В таможенной практике приборы ДКГ-PM1610 и ДКГ-PM1621, относящиеся к индивидуальным, часто используются для измерения МАЭД. Однако индивидуальные дозиметры калибруются с учетом фантома, имитирующего тело человека, и его экранирующего и рассеивающего воздействия. При их применении в свободном пространстве для оценки МАЭД, особенно в полях с различным угловым распределением и энергетическим спектром, могут возникать существенные ошибки. Типовая энергетическая зависимость таких дозиметров показывает значительные отклонения в диапазонах энергий 150-400 кэВ и 800-1200 кэВ, что соответствует энергиям многих использованных радионуклидных источников.

Кроме того, дозиметры общего назначения, декларирующие широкий диапазон по энергии, обычно имеют худшую ЭЗЧ (25-30% отклонения относительно 661,6 кэВ), что также влияет на точность при измерении источников с другими энергиями.

Выводы

Проведенные исследования убедительно демонстрируют, что точность измерения МАЭД гамма-излучения в таможенной практике зависит от многих факторов, связанных с особенностями ТСРК. Выявленные существенные расхождения (до 170%) в показаниях приборов при измерении одних и тех же источников, зачастую превышающие заявленные эксплуатационные погрешности, обусловлены:

- Конструктивными особенностями: глубиной расположения детектора и его ориентацией относительно источника излучения.
- Влиянием программно-технических средств: различиями в алгоритмах обработки данных и версиях встроенного ПО, приводящими к несоответствию показаний для источников с широким энергетическим спектром.
- Типом детектора: его чувствительностью, энергетической зависимостью и уровнем собственного фона.
- Чувствительностью к бета-излучению: некоторые приборы реагируют на бета-излучение при измерении гамма-фона.
- Функциональным несоответствием: использованием индивидуальных дозиметров, предназначенных для измерения МИЭД, для оценки МАЭД в свободном пространстве.

Полученные результаты подчеркивают критическую важность учета этих факторов при выборе, эксплуатации и интерпретации показаний ТСРК в таможенной практике, необходимость для обеспечения достоверности радиационного контроля разработки и внедрение более унифицированных методик применения приборов, а также повышение квалификации персонала в вопросах влияния технических характеристик ТСРК на точность измерений, особенно при работе с локальными радионуклидными источниками.

Стендовые доклады

ДОСМОТРОВЫЕ УСТАНОВКИ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ С ФУНКЦИЕЙ КАТЕГОРИЗАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

**И.А. Алексейчук, Е.В. Быстров, В.И. Гуринович, В.А. Кожемякин, Е.А. Коновалов,
А.Н. Лопин, М.В. Масюкович, В.А. Николаев**

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
г. Минск, Республика Беларусь*

Разработаны и освоены в производстве высокочувствительные установки УРК-АТ2329, УРК-2329Б, предназначенные для обнаружения радиоактивных материалов по их гамма- и нейтронному излучению на автомобильных и железнодорожных пунктах контроля, в аэропортах, морских портах и относящиеся к классу порталных радиационных мониторов. В установках дополнительно реализована функция категоризации радионуклидов, позволяющая определить причастность обнаруженных радиоактивных материалов или объектов к естественным, либо техногенным источникам радиации.

Установки УРК-АТ2329 имеют шесть вариантов исполнения в зависимости от количества подключаемых устройств детектирования, в том числе три варианта для обнаружения по гамма-излучению и три варианта по гамма-нейтронному излучению. Установка УРК-2329Б имеет один вариант исполнения, только гамма-излучение. В качестве блоков детектирования гамма-излучения применены блоки БДРМ-11 на основе пластмассовых сцинтилляционных детекторов объемом 11 л (1000×220×50 мм), блоки детектирования нейтронного излучения БДКН-08 выполнены с использованием гелиевых пропорциональных счетчиков размерами Ø30×960 мм, окруженных полиэтиленовыми замедлителями. Количество устройств детектирования обоих типов варьируется вариантами исполнения УРК-АТ2329.

В состав УРК-2329, УРК-2329Б, кроме блоков детектирования, так же входят блоки управления, устройства звуковой и световой сигнализации, коммутатор, датчики присутствия, видеокамера, контрольная проба, комплект монтажных частей, соединительные кабели, а также персональный компьютер и специализированное программное обеспечение.

Алгоритм работы обеспечивает непрерывность процесса регистрации излучения, оперативный анализ поступающих данных и вывод результата на устройство сигнализации или автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора. При этом обеспечивается быстрая адаптация к изменениям уровня фонового излучения. Передача данных на АРМ оператора может осуществляться по интерфейсу RS-485 или Ethernet.

ПОРТАТИВНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ МКС-АТ6106С

Д.С. Данилевич, И.А. Лагуцкий, А.В. Антонов, А.О. Ничипорчук

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
г. Минск, Республика Беларусь*

Тенденции развития современных средств радиационного контроля требуют от производителей оборудования создания новых изделий, которые будут сочетать в себе малые размеры и высокую эффективность. Одним из направлений улучшений средств поиска и идентификации радионуклидов является создание спектрометров типа RИD на базе кристаллов высокого разрешения.

Опираясь на действующие международные стандарты по измерению ионизирующих излучений и стандарты по приборам радиационной защиты, разработан новый портативный спектрометр МКС-АТ6106С. Данный прибор выполнен на базе сцинтиллятора $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ размером $\varnothing 38 \times 38$ мм, который сочетает в себе высокое энергетическое разрешение (3,2 % для энергии 662 кэВ радионуклида ^{137}Cs) в совокупности с отсутствием собственного фона, что обеспечивает быстрый поиск и идентификацию радионуклидов. По сравнению с распространенными кристаллами $\text{NaI}(\text{Tl})$ и $\text{CsI}(\text{Tl})$, которые имеют энергетическое разрешение порядка 7,5 % и 10 % соответственно, применение данного детектора позволяет значительно увеличить качество идентификации за счет лучшего разрешения пиков полного поглощения в аппаратурном спектре при работе со сложными смесями радионуклидов, включая медицинские и ядерные,

Перечисленные факторы позволяют использовать разработанное устройство как компромисс между традиционным $\text{NaI}(\text{Tl})$ сцинтиллятором, который постепенно вытесняется из области спектрометрии гамма-излучения за счет низкого разрешения, и дорогостоящими крупногабаритными ОЧГ детекторами.

Благодаря наличию встроенной системы светодиодной стабилизации прибор имеет время непрерывной работы до 18 часов без необходимости повторной стабилизации. Измерение мощности амбиентного эквивалента дозы до 300 мкЗв/ч производится сцинтиллятором, что обеспечивает высокую точность, после чего прибор переключается на измерение от встроенного счетчика Гейгера-Мюллера, который расширяет диапазон до 100 мЗв/ч благодаря чему оператор будет знать характеристики поля гамма-излучения даже в аварийной обстановке.

Спектрометр обеспечивает непрерывную запись данных радиационного сканирования с привязкой к географическим координатам GPS для дальнейшего анализа с помощью экспертного ПО GARM. Корпус прибора обеспечивает высокую степень защиты от ударов, а также степень пыле-влагозащиты IP65.

Прибор может комплектоваться внешним блоком детектирования альфа-бета излучения БДКС-02 с фосвич-детектором для обследования поверхностей на предмет загрязнения, а также блоком детектирования нейтронного излучения БДКН-03 для измерения мощности амбиентного эквивалента дозы нейтронного излучения.

ОПЫТ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В ПОМЕЩЕНИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИБОРОВ RADEX MR107+ и RadonEye

Петрова Т.Б.^{1,2}, Микляев П.С.²

¹МГУ им. М.В. Ломоносова, химический ф-т, кафедра радиохимии, Москва

²Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва

В последнее время как в нашей стране, так и за рубежом, специалисты все больше внимания уделяют методам непрерывной регистрации радона с применением простых и недорогих детекторов, позволяющих непрерывно (1 раз в час) измерять содержание радона в воздухе помещений с записью результатов в энергонезависимую память. Как известно, нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) регламентируют допустимый уровень среднегодового значения эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в помещениях, которое не должно превышать 100 Бк/м³ для новых и 200 Бк/м³ для существующих зданий. Очевидно, что наиболее надежные результаты оценки среднегодового значения ЭРОА радона в помещениях могут быть получены посредством мониторинга радона в течение полного годового цикла. Однако круглогодичные измерения часто бывают трудноосуществимы, особенно когда речь идет о массовых рутинных измерениях. В этой связи представляет интерес изучение опыта непрерывного радонового мониторинга с применением упомянутых выше приборов, а также влияния длительности мониторинга радона на неопределенность оценки среднегодового значения ЭРОА радона в помещении.

В докладе приведены результаты непрерывного мониторинга содержания радона в помещениях двух зданий, расположенных в различных геологических и климатических условиях (г. Москва и г. Белокуриха Алтайского края). В Москве измерения проводились в период с 1 мая по 17 сентября 2025 года в двух помещениях старинного купеческого 3-х этажного особняка, расположенного в центре Москвы на крутом берегу р. Яузы, в комнате на первом этаже и в зале на 2 этаже с помощью индикаторов радона RADEX MR107+ (производство ООО «КВАРТА-РАД», Россия). Прибор регистрирует и записывает в память каждый час значения эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в воздухе, температуры воздуха, влажности воздуха, а также дату и время. Питание осуществляется от сети 220 В, встроенный аккумулятор позволяет прибору продолжать работу в случае перебоев с электричеством в течение 3-4 суток. Диапазон измерения ЭРОА радона 30-37 000 Бк/м³ с погрешностью не более 20%.

В г. Белокуриха измерения проводились в течение полного годового цикла, начиная с 1 сентября 2024 г, в цокольном помещении частного дома (здание врезано в склон, сложенный гранитами, таким образом контакт с грунтом осуществляется по полу и задней стене помещения) с помощью детектора радона RadonEye (производство FTLab, Южная Корея). RadonEye регистрирует и записывает в память каждый час значения объемной активности (ОА) радона в воздухе с заявленной погрешностью не более 10%, диапазон

измерения ОА радона от 1 до 3700 Бк/м³. Питание от сети 220 В, встроенных аккумуляторов или иных источников автономного питания не предусмотрено.

По результатам мониторинга в цокольном помещении г. Белокуриха были выявлены очень мощные сезонные колебания содержания радона, связанные по-видимому, с конвективным поступлением радона в помещение из разломной зоны в горном массиве через трещины в ограждающих конструкциях, в результате чего летом ОА радона часто достигает верхнего предела регистрации прибора (3700 Бк/м³). Зимой же содержание радона в помещении снижается до значений 400-800 Бк/м³. Коэффициент вариации составил 0,82.

В здании, расположенном в г. Москве зафиксированы значительно менее амплитудные колебания радона. Среднее значение ЭРОА радона в помещении первого этажа превышает допустимый уровень 200 Бк/м³. В помещении на 2 этаже по сравнению с первым этажом среднее содержание радона снижается в 4 раза, вместе с тем коэффициент вариации ЭРОА радона увеличивается почти в 2 раза. Относительно высокое содержание радона в помещении на 1 этаже связано, по-видимому, с наличием в комнате лестницы в подвал, где через трещины в конструкциях подземной части радон проникает из грунтов основания. Отсутствие резких периодических колебаний свидетельствует о спокойном режиме поступления радона в помещения, связанном, по-видимому с диффузионным проникновением радона из грунтов через строительные конструкции и накоплении его в помещениях.

Для изучения влияния длительности мониторинга радона на неопределенность оценки среднегодового значения содержания радона в зданиях измеренные почасовые значения содержания радона были усреднены с применением фильтра «скользящее среднее» по интервалам в 5 суток и в 30 суток. Результаты приведены в Таблице.

Таблица. Обобщение результатов мониторинга радона в помещениях: в числителе средние значения и коэффициент вариации, в знаменателе диапазон колебаний.

Место проведения измерений	Кол-во изм.	Почасовые результаты, Бк/м ³ (1 раз в час)	Усредненные значения, Бк/м ³	
			за 5 дней	за 30 дней
Москва, Николо-Ямская, 51, 1 этаж	3347	<u>272 (0,26)</u> 87-490	<u>274 (0,18)</u> 166-395	<u>280 (0,08)</u> 220-329
Москва, Николо-Ямская, 51, 2 этаж	3347	<u>67 (0,48)</u> <30-235	<u>67 (0,34)</u> 37-171	<u>64 (0,13)</u> 49-80

Белокуриха, Сосновый, 7 цоколь	8760	<u>1651 (0,82)</u> 28-3696	<u>1642 (0,76)</u> 168-3696	<u>1578</u> <u>(0,73)</u> 443-3689
-----------------------------------	------	-------------------------------	--------------------------------	--

Как видно из приведенных результатов в помещениях с достаточно равномерным режимом поступления радона (г. Москва) при длительности мониторинга более 30 дней усредненные значения в целом не существенно отличаются от среднегодового. Коэффициент вариации (отношение стандартного отклонения к среднему значению) не превышает 0,15, что свидетельствует об однородности полученной выборки. Максимальные и минимальные значения ЭРОА радона, усредненные за 30 дней не более чем на 20% отклоняются от среднего за весь период измерений. Таким образом, можно сделать вывод, что в данном случае мониторинг содержания радона в течении одного месяца может вполне удовлетворительно характеризовать среднегодовые значения.

В помещении где наблюдаются сильные сезонные колебания за счет конвективного поступления радона в помещение (г. Белокуриха), усреднение результатов в интервале 30 дней не приводит к существенному повышению надежности оценки среднегодового содержания радона в помещении по сравнению с «мгновенными» почасовыми измерениями, коэффициент вариации значений, усреднённых за 30 суток, лишь немного ниже, чем для исходного массива почасовых значений. Это связано с тем, что период сезонных колебаний превышает 1 месяц. Таким образом, для оценки среднегодового значения ЭРОА радона в помещениях, характеризующихся существенными сезонными колебаниями содержания радона, необходимо проводить либо полный годовой мониторинг, либо несколько сеансов мониторинга радона, продолжительностью в 1 месяц в теплый и холодный период года.

Полученный опыт показал высокую перспективность применения недорогих, компактных и простых в эксплуатации приборов, позволяющих непрерывно регистрировать содержания радона в помещениях. Основное преимущество перед традиционными методами измерения радона в помещениях заключается в возможности наблюдения за концентрацией радона в динамике, а при определенном усовершенствовании аппаратуры и в реальном времени (где это необходимо). По трудозатратам применение таких приборов несопоставимо ни с одним другим методом при вполне удовлетворительной точности и воспроизводимости результатов. Сравнение отечественных RADEX MR 107+ с корейскими RadonEye показывает, что несомненным преимуществом отечественных приборов является наличие автономного питания, которое включается автоматически при перебоях в электроснабжении, что критически важно для получения непрерывных рядов данных. К положительным сторонам можно отнести также запись температуры и влажности воздуха, а также даты и времени. Однако благодаря такому большому количеству записываемых параметров, памяти прибора хватает только примерно на 1 месяц, после чего данные необходимо обязательно скачивать во избежание их потери (происходит запись новых измерений на старые). Положительная сторона RadonEye –

возможность записи в память полного годового цикла мониторинга, благодаря чему скачивание данных можно проводить раз в год. Однако, отсутствие записи температуры воздуха, а также даты и времени измерений в сочетании с возможными отключениями электричества создают серьезные проблемы при интерпретации результатов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 24-17-00217.

РАДИОМЕТР РКС-АТ100 АЛЬФА-БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЙ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОСТИ И ВНЕШНЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭТАЛОННЫХ ИСТОЧНИКОВ

В.В. Семерикова, А.Ч. Буйвидович, Д.В. Горшков, О.А. Нахайчук, А.Д. Повод,
А.Н. Толкачев

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
г. Минск, Республика Беларусь*

Аттестация и поверка источников ионизирующего излучения, наряду с определением их параметров и характеристик, относятся к числу приоритетных задач законодательной метрологии. В рамках решения данной задачи предприятием «АТОМТЕХ» разработан радиометр РКС-АТ100. Радиометр может использоваться в качестве самостоятельного устройства для определения параметров альфа- и бета-излучающих источников, а также в качестве устройства-компаратора, обеспечивающего хранение и передачу единицы активности и потока частиц измерительным средствам и источникам ионизирующих излучений [1].

Радиометр РКС-АТ100 предназначен для эксплуатации в лабораториях метрологических подразделений предприятий и организаций и обеспечивает измерения:

а) альфа-активности в диапазоне измерений $1 - 10^8$ Бк и внешнего альфа-излучения в диапазоне $1 - 10^8$ с⁻¹ для источников с площадью активной поверхности: 1П9 – 1 см², 2П9 – 4 см², 3П9 – 10 см², 4П9 – 40 см², 5П9 – 100 см², 6П9 – 160 см² (источники альфа-излучения с радионуклидом ²³⁹Pu);

б) бета-активности в диапазоне измерений $3 - 10^8$ Бк и внешнего бета-излучения в диапазоне $1 - 10^8$ с⁻¹ для источников с площадью активной поверхности: 1С0 – 1 см², 2С0 – 4 см², 3С0 – 10 см², 4С0 – 40 см², 5С0 – 100 см², 6С0 – 160 см² (источники бета-излучения с радионуклидом ⁹⁰Sr+⁹⁰Y).

В качестве детектирующих устройств в радиометре используются два блока детектирования: БДБ-АТ100 с детектором на основе сцинтилляционной пластмассы размерами Ø128×9 мм (бета-излучение) и БДА-АТ100 с детектором на основе ZnS(Ag) размером Ø110 мм (альфа-излучение). Для снижения статистической загрузки блока детектирования при измерении источников высокой активности применяются специальные фильтры. Конструкция фильтров была разработана с использованием моделирования методом Монте-Карло для источника ⁹⁰Sr+⁹⁰Y, обладающего наибольшей граничной энергией бета-излучения из набора [2].

Для работы с данным прибором разработано программное обеспечение «CompanION», которое позволяет осуществлять сбор измерительной информации от блоков детектирования, отображать аппаратурные спектры альфа- и бета-каналов, протоколировать результаты измерений и вести базу данных.

Радиометр РКС-АТ100 альфа-бета-излучений может применяться для поверки контрольных источников, используемых в составе радиометрических устройств.

В дальнейшем планируется включение радиометра РКС-АТ100 в реестр средств измерений.

Литература:

1. Алексеев И.В., Заневский А.В., Жуков Г.В., Моисеев Н.Н., Сэпман С.В., Терещенко Е.Е., Трофимчук С.Г., Харитонов И.А., Шильникова Т.И. Государственный первичный эталон единиц активности радионуклидов, удельной активности

радионуклидов, потока альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников ГЭТ 6-2016 // Измерительная техника.2019.

2. Источники ионизирующего излучения и препараты: каталог продукции / ФГУП «Производственное объединение «МАЯК» Завод радиоактивных изотопов. – 2024. – 54 с.

**Из опыта эксплуатации автоматизированной системы мониторинга
радиационной обстановки Томской области**

Фришман С.В. ОГБУ

«Облкомприрода», г. Томск

Рассмотрен опыт эксплуатации автоматизированной системы мониторинга радиационной обстановки Томской области (АСМРО ТО). АСМРО ТО действует с 1995 года, непрерывно измеряет мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения охватывая все стороны света в районе объектов использования атомной энергии в области. Основная цель — оперативный мониторинг радиационной обстановки и предоставление достоверной информации органам управления и населению для обеспечения безопасности в регионе.

Выявлена повторяющаяся из года в год особенность поведения оборудования, в частности, во время прохождения грозовых облаков. В определенных точках мониторинга наблюдается корреляции всплесков гамма-излучения с прохождением кучево-дождевых облаков. Это явление, связано с эффектом эмиссии жестких излучений во время гроз (thunderstorm ground enhancement, TGE), что требует дальнейшего изучения для понимания географической локализации и природы этих явлений.

Сотрудничество с ИМКЭС СО РАН в рамках дополнения АСМРО данными региональной сети мониторинга метеорологических и турбулентных характеристик (TomskFluxNet), позволило значительно повысить функциональные и технические возможности АСМРО.

Объединение данных сетей мониторинга позволяет интегрировать данные радиационного и климатического мониторинга для оценки взаимодействия урбанизированной территории с атмосферой и использоваться для совершенствования климатических моделей, прогноза погоды, а также оценки влияния урбанизации на радиационную и экологическую обстановку, в том числе процессов связанных с переносом аэрозолей и радиоактивных частиц.

**«Проблемы прикладной спектromетрии и радиометрии»
им. Владимира Николаевича Даниленко**

**Сборник тезисов
XVII международного совещания**