



**I Международная  
научно-практическая  
конференция  
ЯДЕРНЫЕ ЗНАНИЯ В XXI ВЕКЕ  
Сборник научных трудов**

**26 ноября 2025 года  
Минск, Беларусь**



**УДК 53.089.62; 519.245; 539.125.52**

**Д. И. Комар, В. Д. Гузов, С. В. Лазаренко**

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЗАХВАТНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ, СФОРМИРОВАННОГО НА УСТАНОВКЕ ПОВЕРОЧНОЙ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УПН-АТ140**

Развитие и распространение техногенных источников высокоэнергетического гамма-излучения, таких как ускорители электронов и ядерные реакторы, приводит к появлению ряда прикладных задач радиационной защиты, в которых спектрометрические и дозиметрические измерительные приборы должны использоваться в полях фотонного излучения в диапазоне энергий от 4 до 10 МэВ.

Для метрологического обеспечения измерений необходимо знание отклика средств измерений в пределах измеряемого энергетического диапазона. Согласно рекомендациям международных стандартов ИЕС, энергетический диапазон приборов радиационного мониторинга окружающей среды вокруг АЭС должен быть расширен до 7 МэВ, а дозиметров и мониторов, используемых на рабочих местах и во время аварийных ситуаций - до 10 МэВ.

Получение опорных полей фотонного излучения на ускорительной технике сопряжено со многими трудностями, связанными с эксплуатацией оборудования. На ускорителях частиц сложно получить низкие загрузки по мощности дозы в воздухе для высокочувствительных дозиметров, например, на основе пластмассовых или неорганических сцинтилляторов. Для калибровки или исследования энергетической зависимости разрабатываемых и выпускаемых средств измерений необходимо обеспечить повторяемость и прослеживаемость измерений.

Существует возможность использовать гамма-излучение от захвата тепловых нейтронов на мишени из подходящего материала. В международном стандарте ISO 4037-1:2019 рекомендуется использовать мишени из титана и никеля для формирования полей с энергией до 7 МэВ и до 10 МэВ. Поток тепловых нейтронов может быть получен от радионуклидного источника быстрых нейтронов, помещенного в замедлитель. Проблема заключается в получении подобных полей излучения в стандартизованных условиях, обеспечивающих проведение измерений и калибровки.

В настоящее время в метрологическом обеспечении средств измерений нейтронного излучения в качестве эталонов применяются установки, формирующие коллимированное поле излучения от радионуклидных источников быстрых нейтронов. При экспозиции источника нейтронов формируется стационарное во времени поле высокоэнергетического гамма-излучения, которое вы-

звано ядерными реакциями взаимодействия нейтронов с материалами облучателя установки. Захватное гамма-излучение от мишени, размещенной в потоке тепловых нейтронов в облучателе, увеличивает интенсивность гамма-излучения в определенном энергетическом интервале. Установка должна иметь все необходимые для работы прикладные средства. Таким образом, тепловая геометрия поверочной нейтронной установки может быть использована для целей калибровки спектрометрических и дозиметрических средств измерений гамма-излучения, в том числе и высокочувствительных.

На предприятии «АТОМТЕХ» проводятся исследования таких полей на установке поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140 с  $^{238}\text{PuBe}$  источником нейтронов ИБН-8-6 ( $1,91 \cdot 10^7$  нейтр./с). Контейнер-коллиматор с тепловой вставкой формирует коллимированный пучок нейтронов со значительной составляющей (более 25%) нейтронов тепловых энергий от источника  $^{238}\text{PuBe}$  [1]. Экспериментальные спектры были измерены спектрометрическим блоком детектирования на основе кристалла  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  с нелинейной характеристикой преобразования «канал–энергия» в диапазоне до 10 МэВ [2].

Для определения дозиметрических характеристик полученных полей использовался эталонный дозиметр ДКС-АТ5350/1 с ионизационной сферической камерой ТМ32002 объемом 1 литр. Для корректных измерений в полях высокоэнергетического гамма-излучения с камерой ТМ32002 для нее была изготовлена специальная оболочка из тканееквивалентного материала (РММА), обеспечивающая условия электронного равновесия в рабочем объеме камеры. Размеры оболочки были определены исходя из результатов Монте-Карло моделирования.

Были проведены эксперименты на медицинских ускорителях электронов, расположенных на территории Беларуси, для различных энергетических режимов вплоть до энергии 18 МэВ, результаты которых подтвердили значительное увеличение чувствительности ионизационной камеры со специальной оболочкой в высокоэнергетических полях.

В июне 2024 года на территории лаборатории физико-технического федерального института РТВ в городе Брауншвейг в Германии была проведена калибровка эталонного дозиметра ДКГ-АТ5350/1 с камерой ТМ32002 со специальной оболочкой в полях гамма-излучения с энергиями 4,4 МэВ и 6,7 МэВ. По результатам был оформлен сертификат калибровки.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» располагает Государственным первичным эталоном ГЭТ 10-2023 ГПЭ единиц потока и плотности потока нейтронов. В составе эталона присутствует установка УЭППН для воспроизведения и передачи размера единицы плотности потока нейтронов с формирователем поля быстрых и тепловых нейтронов типа УКПН и набором радионуклидных источников нейтронов различного спектрального состава. В сентябре 2025 года были проведены межлабораторные сличительные испытания между УП «АТОМТЕХ» и ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» по методике калибровки «Стенд высокоэнергетического гамма-излучения», в ходе которых проводились измерения мощности дозы в полях гамма-излучения с энергиями 7 МэВ и 9 МэВ, оценка сличений показала удовлетворительные результаты.

## Литература

1. Комар, Д. И. Исследование опорных нейтронных полей установки поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140 / Д. И. Комар, В. Д. Гузов, С. А. Кутень // АНРИ. – 2018. – №2 (93). – С. 29–39.
2. Комар, Д. И. Источник захватного гамма-излучения с энергиями до 7 и до 10 МэВ на основе поверочной установки нейтронного излучения / Д. И. Комар, Р. В. Лукашевич, С. А. Кутень, В. Д. Гузов // Известия национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2017. – №2. – С. 96-107.