

Вахнин Д. О., Вахнин К. О., Попова М. А., Тыщенко И. С., Черепанов А.Н.

ПРИМЕНЕНИЕ КОГЕРЕНТНОГО СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО СПЕТКРОМЕТРА ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА В СОСТАВЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «LABRADOR-DOSE» ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Аннотация. Статья посвящена применению нового типа ЭПР-спектрометра (когерентного супергетеродинного), недавно изобретенного в УрФУ для измерения высоких доз излучения с помощью альфа-аланиновых детекторов.

Ключевые слова: ЭПР-спектрометрия, дозиметрия, ЭПР-метод.

Abstract. This paper is devoted to application the new type (koherent heterodin type) of ESR-spectrometer recently invented in UralFederalUniversity in particular for measurements of high dose ionizing radation by means of alpha-alanin storage detectors.

Keywords: ESR-spectrometer, dosimetry.

Введение

Количественное определение дозы ионизирующего излучения является актуальной и востребованной задачей. В современной практике применяются способы: фотографический, ионизационный, радиофотолюминесцентный и термолюминесцентный. Перечисленные методы имеют довольно узкий диапазон измерения и погрешность, оцениваемую десятками процентов, что серьезно ограничивает возможности их применения. Известен метод определения поглощенной дозы с помощью явления электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Этот метод обеспечивает существенно более высокие показатели по точности определения дозы [3]. Однако существующая аппаратная база (серийно выпускаемые спектрометры ЭПР) весьма дорогая и крупногабаритная, что ограничивает внелабораторное применение подобных приборов. Разработка спектрометров ЭПР, построенных на принципах когерентного супергетеродинного (КС) способа регистрации сигнала, разработанных в Уральском федеральном университете (УрФУ), позволяет нивелировать указанный недостаток существующей аппаратной базы метода и создавать малогабаритные приборы с высокими метрологическими характеристиками [1]. Однако приборы, построенные на принципах КС дают более глубокую информацию об объектах измерения, нежели обычные спектрометры ЭПР и потому существующие методики

измерения требуют адаптации для КС ЭПР-спектрометров. В данной статье рассматривается способ определения доз с помощью КС ЭПР-спектрометра.

Материалы и оборудование

Аланин (α -аминопропионовая кислота) под действием ионизирующего излучения образует очень стабильный свободный радикал [3]. Аланиновый свободный радикал дает характерный ЭПР-сигнал, интенсивность которого пропорциональна поглощенной дозе, но не зависит от мощности и энергии излучения, а также слабо зависит от температуры и влажности среды. По этой причине аланиновая дозиметрия одинаково подходит для установок, использующих электронное, рентгеновское или гамма-облучение [5]. Спектр облученного альфа-аланина содержит 5 пиков, расположенных на равном расстоянии друг от друга с соотношением амплитуд 1:4:6:4:1 [4].

В качестве измерительного оборудования используется КС ЭПР-спектрометр «Labrador».

Методика исследования

Для исследования использовались облученные известной дозой аланиновые полоски. Образец опускался в колбу из кварцевого стекла длиной 120 мм. Впоследствии для уменьшения влияния внешней среды спектрометр был помещен в камеру из металлической сетки, экранирующей радиочастотные помехи [2]. Перед началом измерений проводится предварительная настройка устройства. Наша цель – добиться наименьшего значения уровня ПЧ и развязки порядка 40 дБ [1].

При окончательной настройке генератор СВЧ должен выдавать приблизительно 9200 МГц. В ходе исследования были проведены измерения для доз 80, 50, 30, 15, 10, 7.5, 5 и 1 кГр.

Для определения оптимальных по соотношению точность результата/время измерения режимов измерения были проведены предварительные эксперименты с детектором, облученным дозой 80 кГр. По полученным данным были найдены оптимальные настройки спектрометра: 3 накопления, шаг по полю 1 Гс, время преобразования 42 мс, развертка поля от 3205 до 3355 Гс. В дальнейшем с использованием данных параметров были проведены все измерения.

Далее, для каждой дозы, проводились многократные измерения с целью определения случайной погрешности измерения и градуировочной характеристики измерительной системы [2].

Для построения градуировочной кривой экспериментальные результаты измерений облученных полосок сравнивали с синтезированными, которые были получены следующим образом: пять синтезированных пиков строились как распределение Гаусса, амплитуды пиков были взяты в известном соотношении 1:4:6:4:1, ширины и расстояния

между центрами пиков взяты одинаковыми. Амплитуды синтезированных пиков сравнивались с амплитудами экспериментальных. Между ними с помощью MS Excel и функции «Поиск решения» была найдена наименьшая ошибка. Мы нашли экспериментальные значения амплитуд для всех четырех измерений каждой из доз и для усредненных данных. Таким образом, была выявлена эмпирическая зависимость между дозой облучения и амплитудой, получаемого центрального пика.

Также рассчитали абсолютные погрешности, которые были найдены как два среднеквадратичных отклонения, для чего сначала была найдена дисперсия экспериментальных амплитуд, и относительные погрешности. Нашли расчетную экспериментальную амплитуду, как полином второй степени, коэффициенты которого были найдены с помощью MS Excel и функции «Поиск решения» методом нахождения наименьшей ошибки. Полученный график полностью входит в коридор погрешностей.

Результаты измерений и обсуждение

Для каждого детектора, в том числе необлученного было выполнено по 4 измерения. Результирующие усредненные спектры представлены на рис.1. Замечено, что начиная с 7,5 кГр пики очень хорошо просматриваются.

Результаты измерений и расчетов представлены в таблице 1. Эмпирическое уравнение зависимости амплитуды центрального пика в условных единицах от дозы (градировочная кривая измерительной системы) представлено на рис. 8. Данная кривая позволяет устанавливать дозу произвольно облученного детектора в диапазоне доз от 1 до 80 кГр с определенной таблицей 1 точностью. Принципиально возможным является интерполяция представленной градировочной кривой в диапазон доз более 80 кГр, однако точность получаемых результатов по такой аппроксимированной кривой требует дополнительных исследований.

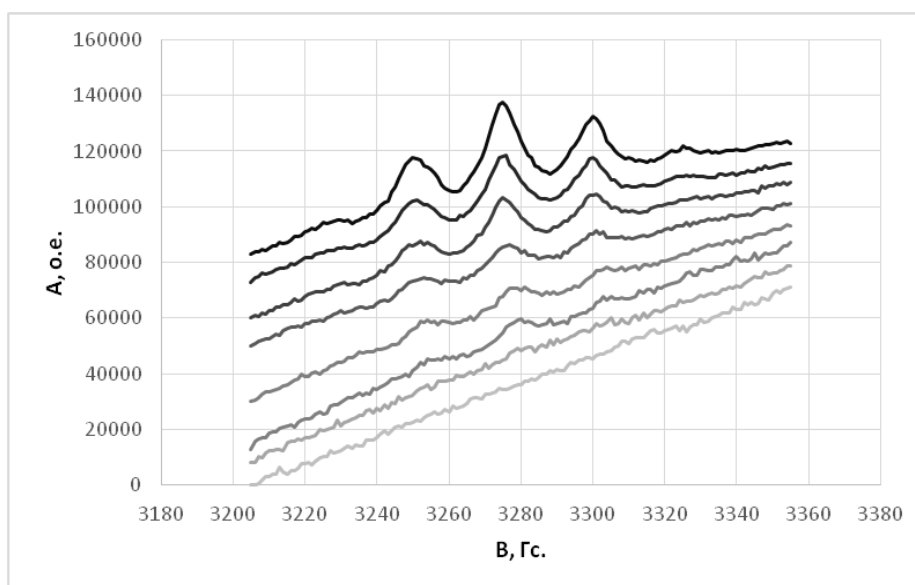


Рис.1. Полученные спектры (сверху-вниз): 80, 50, 30, 15, 10, 7,5, 5 и 1 кГр

Таблица 1

Результаты измерений дозиметров на КС спектрометре ЭПР

D, кГр	1	5	7,5	10	15	30	50	80
A(1)	1660	3740	5680	7020	9950	16470	22550	30660
A(2)	2370	4770	6040	7540	9680	16790	22830	31830
A(3)	1770	3690	5330	7550	10130	16710	23380	32370
A(4)	700	4800	5140	7490	9510	17110	23430	31580
Ср. знач. A	1620	4250	5550	7400	9820	16770	23050	31610
Дисперсия A	359600	284900	118400	48700	57100	53600	137500	382700
СКО	600	534	344	221	239	231	371	619
Отн. погр, %	73,8	25,1	12,4	6	4,9	2,8	3,2	3,9

– в качестве амплитуды сигналов в таблице указана амплитуда в относительных единицах центрального пика спектра ЭПР аланинового детектора;
– A(i), где i = 1...4, обозначают амплитуды каждого из 4-х измерений;
– СКО – среднеквадратичное отклонение;
– относительная погрешность рассчитана по двум СКО.

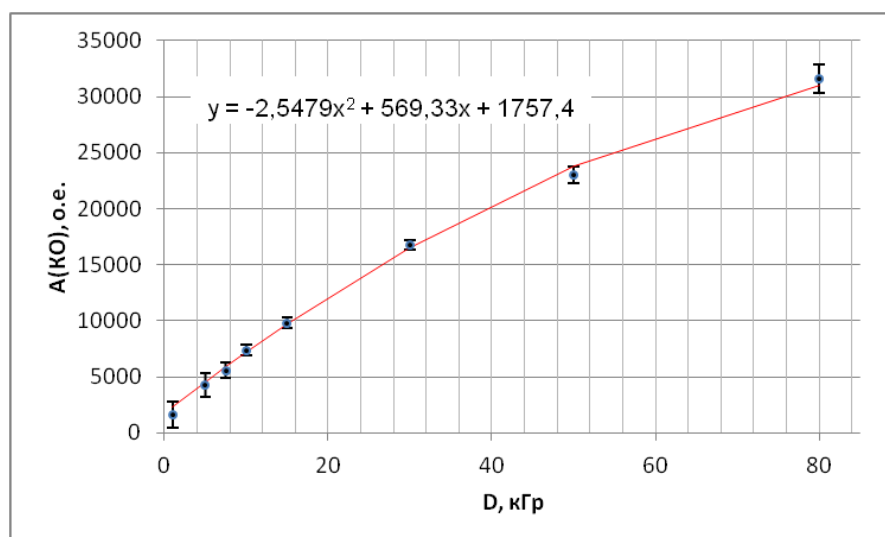


Рис. 2. Зависимость амплитуды центрального пика в условных единицах от дозы

Определение дозы ионизирующего излучения далеко не единственное направление применения данного прибора. ЭПР-спектрометры широко применяются для определения состава различных веществ, в частности одно из самых интересных направлений – поиск радиационно-облученных продуктов питания и определение дозы ими поглощенной [4]. Так можно будет определять, насколько качественными являются те или иные продукты питания.

В чем же преимущества дозиметрического комплекса, который использовали мы? Прежде всего – это компактность, высокая точность, легкость ЭПР-спектрометра по сравнению с другими аналогами, но самое главное, в отличие от современных аналогов разработанный УрФУ дозиметрический комплекс, включающий в себя ЭПР-спектрометр, вследствие своих конструктивных особенностей позволяет измерять спектр

не только аланиновых полосок, но и других нестандартных веществ, таких как тефлон. Это расширяет круг используемых стандартных образцов, а поиск новых стандартных образцов является одной из актуальнейших задач современной дозиметрии. Работа выполнена в рамках контракта 02.G25.31.0161 при поддержке министерства образования и науки Российской Федерации в рамках постановления правительства РФ № 218.

Заключение

В результате работы, впервые проведено определение поглощенной дозы облученных аланиновых детекторов с применением КС спектрометра ЭПР. Показано, что подобный прибор может быть использован в качестве составной части дозиметрической системы. Определены погрешности измерения поглощенной дозы в диапазоне доз от 1 до 80 кГр, определена градуировочная кривая.

Библиография

1. Пат. 2548293 Российская Федерация, МПК H01J 49/02, G01N24/10. Когерентный супергетеродинный спектрометр электронного парамагнитного резонанса / Рокеах А.И., Артёмов М.Ю.; ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», ООО «Спектр». – № 2013116713/07; заявл. 11.04.2013; опубл. 20.10.2014.
2. International Recommendation OIMLR 132. Alanine EPR dosimetry systems for ionizing radiation processing of materials and products. International organization of legal metrology – 2001. – P. 20.
3. Desrosiers M.F., Peters M., Puhl J.M. A study of the alanine dosimeter irradiation temperature coefficient from 25 to 80 C° // Radiation Physics and Chemistry– 2009. – Vol. 78. – P. 465-467.
4. ГОСТРИСО 11137-3-2008. Радиационная стерилизация. Руководство по вопросам дозиметрии. Введ. 18.12.2008. М.: Стандартинформ – 2009. – 20 с.
5. Mohamed A. Morsy. Simple EPR/alanine dosimeter for medical application // Open Journal of Radiology – 2012. – Vol. 2. – P. 120-125.