

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ ТРАНСПЛУТОНИЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МИШЕНИ

© 2013 Ю.И. Лещенко, Ю.А. Кушнир, В.С. Романовский

ОАО «ГНЦ НИИАР», Ульяновская область, Димитровград-10

Поступила в редакцию 26.11.2013

В данной статье описана методика определения массы ТПЭ в мишени с использованием прецизионного гамма спектрометра и разработанных алгоритмов вычислений и обработки спектров, внедренных в специальное программное обеспечение.

Ключевые слова: гамма спектрометр, радиационная плотнометрия, источник рентгеновского излучения, трансплутониевый элемент.

Для реакторного получения калифорния-252, одного из самых дорогих и широко используемых в промышленности и науке радионуклида, используются мишени с сердечником, изготовленным из смеси оксида трансплутониевого элемента (например, плутоний, америций, кюрий) и легкого элемента матрицы (например, алюминия).

Необходимой мерой безопасности при эксплуатации мишени является контроль качества изготовления сердечников, а также сборки сердечников мишени до установки её на облучение в реактор. Главное требование – равномерность распределения плотности трансплутониевого элемента (ТПЭ) в сердечнике с определённым заданным массовым содержанием ТПЭ. Для измерения плотности (или массы) должен использоваться неразрушающий анализ (НРА), не нарушающий целостность самой мишени или сердечника.

В ОАО «ГНЦ НИИАР» создана методика измерения распределения локальной поверхностной плотности и локальной массы ТПЭ в мишени.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ ТРАНСПЛУТОНИЕВОГО ЭЛЕМЕНТА В МИШЕНИ

Принцип, положенный в основу методики, заключается в измерении непрерывного спектра коэффициента пропускания $T(E)$ для пучка рентгеновского излучения (РИ), проходящего через мишень. Массу ТПЭ определяют с исполь-

зованием данных массовых коэффициентов ослабления гамма излучения в ТПЭ, элементах матрицы (алюминий и кислород) и нержавеющей стали капсулы, входящими в состав мишени. Энергетические зависимости массовых коэффициентов ослабления измеряют с помощью контрольных образцов этих элементов. В качестве источника рентгеновского излучения (РИ) используется радиоизотопный источник на основе изотопа ^{55}Fe [1].

Методика подразумевает использование двух способов определения массы ТПЭ.

В первом способе [2] непрерывный спектр $T(E)$ анализируется в достаточно широком диапазоне энергий от 70 до 170 кэВ. При этом для каждого канала анализатора вычисляется плотность ρ (или поверхностная плотность ρ^*x) трансплутониевого элемента:

$$\rho^*x = \ln(T/\mu), \quad (1)$$

где μ есть полное сечение взаимодействия гамма излучения с материалом ТПЭО, измеренное в специальном измерении с контрольным образцом.

Второй способ, который возможно реализовать при использовании в качестве детектора ОЧГ ППД, предполагает использование достаточно узкой области спектра, расположенной вблизи энергии К-края в энергетической зависимости массового коэффициента ослабления фотонов этим тяжёлым элементом. Специальный анализ этой части спектра $T(E)$, заключается в определении энергетической зависимости коэффициентов пропускания при энергиях выше (T_U) и ниже (T_L) энергии К-края, а также определения их отношения (T_U/T_L) при энергии К-края. Это позволяет определить абсолютное значение поверхностной плотности ρ^*x трансплутониевого элемента [3]:

$$\rho^*x = (\ln T_U - \ln T_L) / \Delta\mu, \quad (2)$$

где $\Delta\mu$ – разность массовых коэффициентов ослабления выше и ниже энергии К-края.

Лещенко Юрий Иосифович, старший научный сотрудник реакторного исследовательского комплекса.

E-mail: orip@niiar.ru

Кушнир Юрий Алексеевич, ведущий научный сотрудник отделения метрологии и измерительной техники.

E-mail: orip@niiar.ru

Романовский Вадим Сергеевич, младший научный сотрудник реакторного исследовательского комплекса.

E-mail: orip@niiar.ru

СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

При реализации обоих методов особое внимание уделено разработке и контрольных образцов (КО) и метрологическим исследованиям методик с использованием комплектов контрольных образцов. Проблема создания контрольных образцов из уникальных материалов, используемых в мишенях, для производства калифорния, таких как плутоний, америций, кюрий (причём используются тяжёлые изотопы этих элементов) заключается в дороговизне этих материалов, особом способе учёта этих ЯМ, а также их особой радиационной опасности. Поэтому целесообразно в начальный период отработки методического и программного обеспечений разработать контрольные образцы концентрации ТПЭ сердечников из тяжёлых элементов – заменителей, например, оксид свинца.

Были разработаны, прошли метрологические испытания и аттестованы следующие контрольные образцы концентрации трансплутониевых элементов:

Наборы КО из металлических фольг свинца, урана и алюминия по типу АКН;

Наборы КО, представляющих цилиндрическую конструкцию-сочетание фольг из свинца (различной толщины) и цилиндра из металлического алюминия;

Наборы сердечников (диаметр 9,1 мм, длиной 16-25 мм) из 6 смесей порошкового алюминия АП4 и окиси свинца (типа $AlxPbO$). Сердечники с содержанием оксида свинца 0-5% приготовлены по технологии изготовления сердечников из оксида кюрия, включающей операции смешивания порошков, прессования и спекания сердечников.

ОПИСАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Техническим средством реализации методики измерения распределения локальной массы ТПЭ в сердечнике является сканирующий авто-

матизированный гамма спектрометр на базе ОЧГ ППД и цифрового анализатора ORTEC DSPEC jr 2,0. Сканирование мишеней и контрольных образцов осуществляется с помощью шагового привода.

В методике используется как стандартное программное обеспечение MAESTRO, прилагаемое с анализатором, так и специальное ПО SPCX, в котором реализовано управление анализатором и шаговым приводом, а также обработка спектров, измеренных при сканировании объекта. Обработка спектров прошедшего через сердечник (мишень) излучения позволяет вычислить коэффициенты пропускания рентгеновского излучения с учётом: комптоновского рассеянного гамма излучения от примесей ^{54}Mn , ^{60}Co (и других) источника РЖ55, спектра собственного гамма излучения изотопов ТПЭ, спектра флуоресцентного излучения ТПЭ, гамма фона окружающей среды.

Указанные технические и метрологические средства позволили провести комплексные исследования результатов измерения локальной массы свинца и урана в образцах, способом радиационной классической плотнометрии и поверхностной плотности свинца способом радиационной плотнометрии по К-краю с помощью контрольных образцов [2].

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ОБРАЗЦОВ

Далее приведены иллюстрации результатов применения методики на определённых этапах её реализации. На начальном этапе проводятся измерения основных спектров: опорного РЖ55-03, фона, собственного гамма излучения контрольных образцов, источников ^{54}Mn и ^{60}Co , а также спектров пропускания контрольных образцов. Все перечисленные спектры загружаются в программу SPCX для последующей работы с ними (рис. 2).

На рис. 3 и 4 приведен опорный спектр пучка

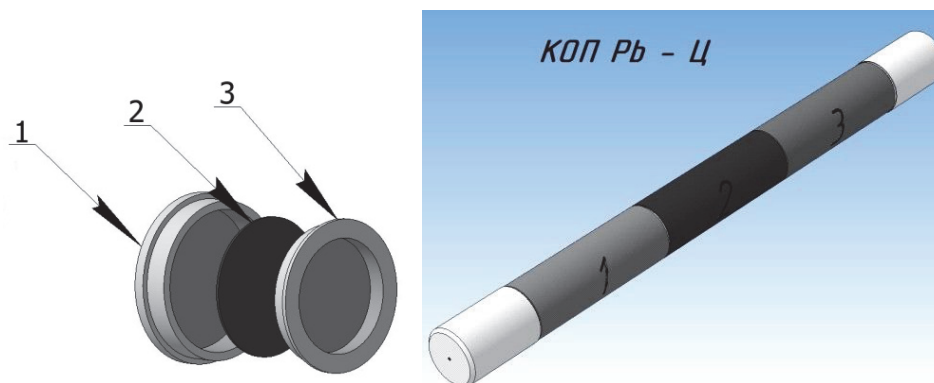


Рис. 1. Стандартные образцы из фольги свинца типа АКН (слева) и цилиндрического типа с фольгой свинца вокруг алюминиевого стержня (справа)

Спектры начальных условий:

Тип	Имя спектра
— Опорный:	<input checked="" type="checkbox"/> Опорный РЖ55-06 5.11.2013 15.54
— Фон:	<input checked="" type="checkbox"/> фоновый 3.10.2013 9.15
— Фон объекта:	<input checked="" type="checkbox"/> Фон СОП U5-6 10000 3.10.2013 10.6
— Примесь 1:	<input checked="" type="checkbox"/> ГМн54-03-02 5000 2.10.2013 11.47
— Примесь 2:	<input checked="" type="checkbox"/> ГКо60-02 3000 22.8.2013 8.6
— СОП оболочки:	<input checked="" type="checkbox"/> Оболочка ф10 5000 2.10.2013 9.51
— СОП матрицы:	<input checked="" type="checkbox"/> Матрица Ал 55000 3.10.2013 16.8
— СОП ЯМ:	<input checked="" type="checkbox"/> СОП U5-2 5000 13.8.2013 8.18
— Фон СОП ЯМ:	<input checked="" type="checkbox"/> фоновый СОП U5-2 5000 13.8.2013 10.0
— Флуоресценц...	<input checked="" type="checkbox"/> флюор СОП U5-2 2100000 9.8.2013 15.34

Рис. 2. Спектры начальных условий

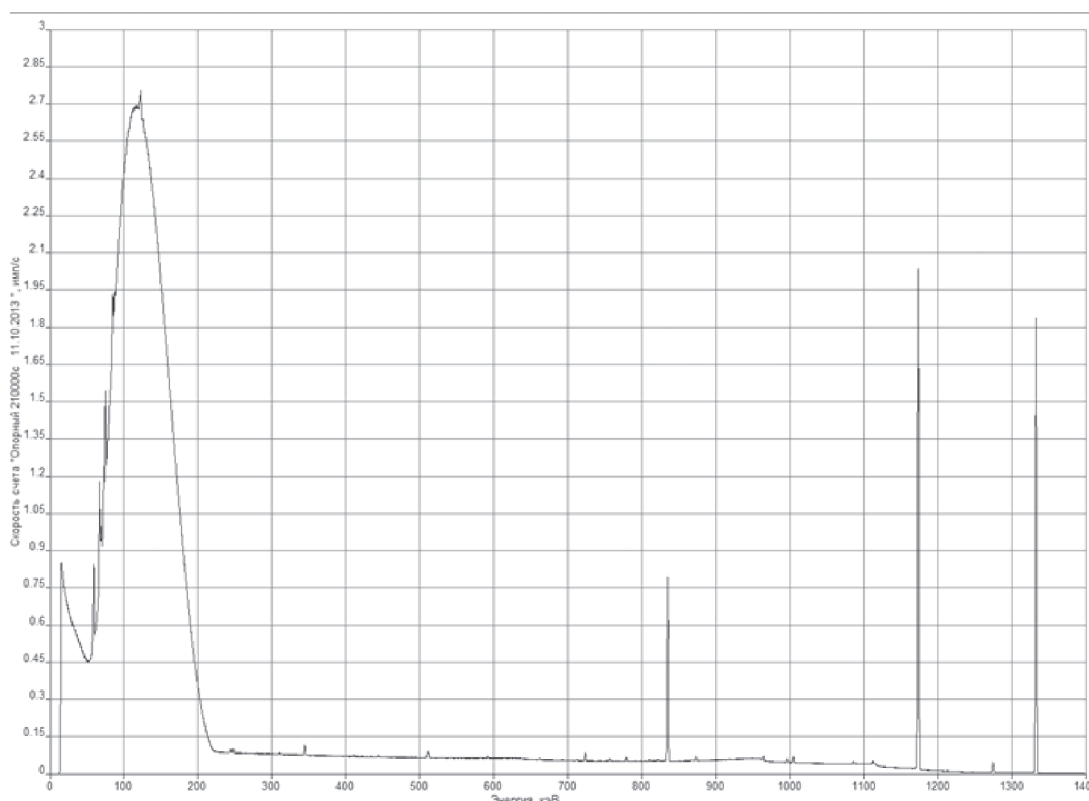


Рис. 3. Опорный спектр в диапазоне энергий до 1400 кэВ

рентгеновского излучения источника РЖ55-03-06. Опорный спектр представляет собой композицию из непрерывного спектра тормозного гамма излучения, спектра флуоресцентного излучения деталей конструкции контейнера источника РЖ55 и комптоновской части гамма излучения примесей марганца и кобальта.

На спектре коэффициента пропускания контрольным образцом свинца виден скачок К-края свинца, вычисленный с учётом излучений фона и флуоресцентного излучения свинца.

На рис. 6 представлены спектры сечения поглощения свинца для гамма излучения источника РЖ55 в диапазоне энергий 50-179 кэВ определенные по спектру пропускания (измеренные) и теоретические, приведённые в таблицах

NIST [3]. Наблюдается существенное совпадение теоретических и экспериментальных зависимостей сечения от энергии.

Такое совпадение позволяет сделать вывод о возможности использования в данной методике теоретических зависимостей сечений взаимодействия тяжёлых элементов (Pu, Am, Cm) от энергии.

На рис. 7 показана зависимость измеренной методом анализа К-края в спектре T(E) поверхностной плотности фольг набора КОПРb от образцовой.

Проведённые предварительные метрологические исследования методики, которая использует два метода радиационной плотнометрии для измерения характеристик тяжёлых элементов в реакторных мишенях, показали, что существует

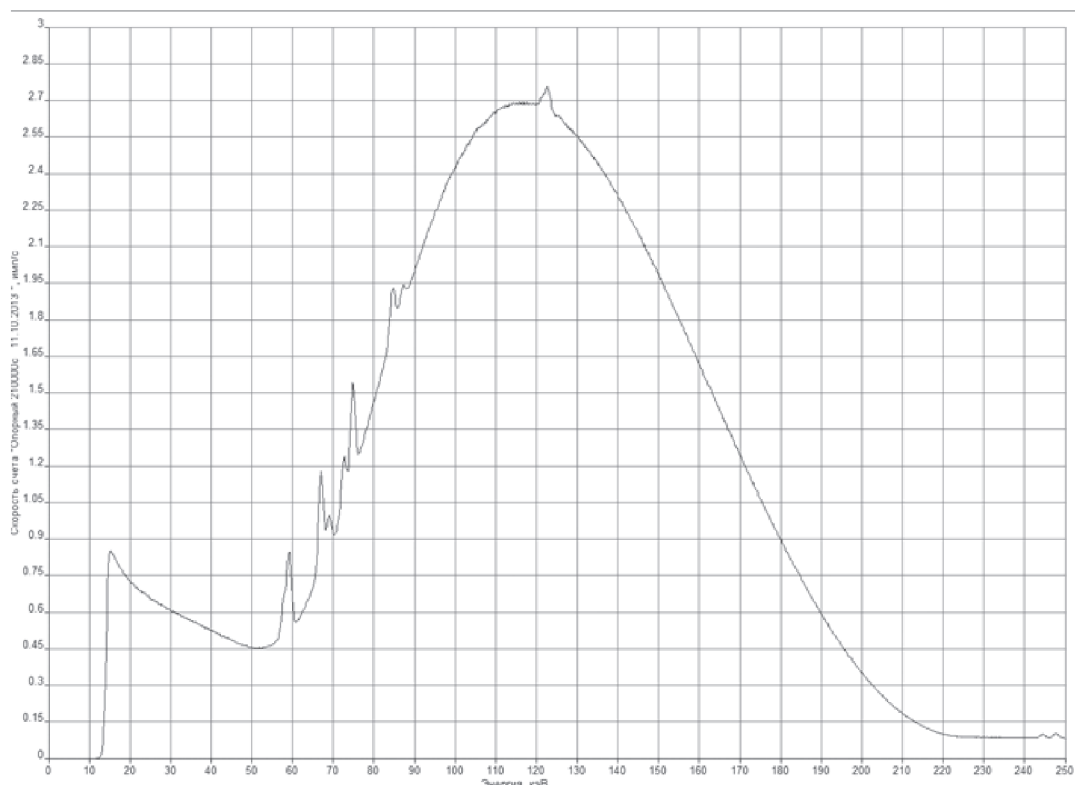


Рис. 4. Опорный спектр в диапазоне энергий до 200 кэВ

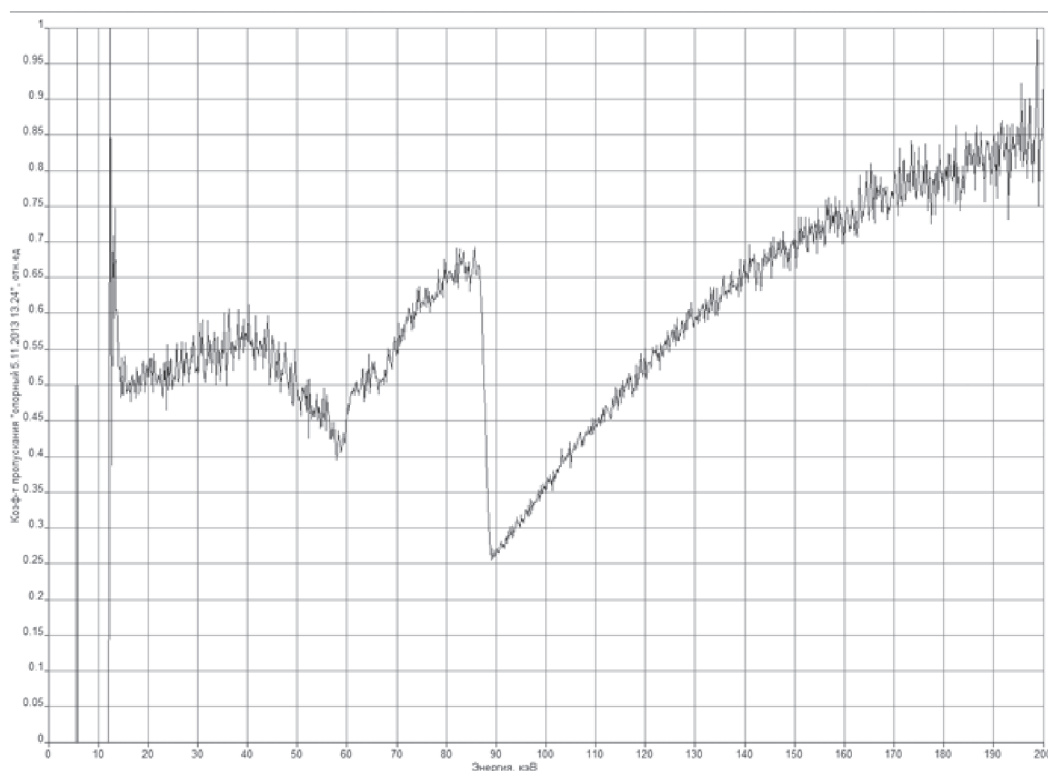


Рис. 5. Спектр коэффициента пропускания рентгеновского излучения образцом свинца

хорошая возможность для их успешной реализации. Использование спектрометра с ОЧГ ППД за счет высокого разрешения позволяет проводить измерения с хорошей точностью. А источник просвечивания - радиоизотопный источник на основе изотопа ^{55}Fe - является универсальным

средством для измерения массы любого ТПЭ, таким образом, избавляя от использования для каждого химического элемента индивидуального набора радиоактивных источников при измерении концентрации или поверхностной плотности по К-краю.

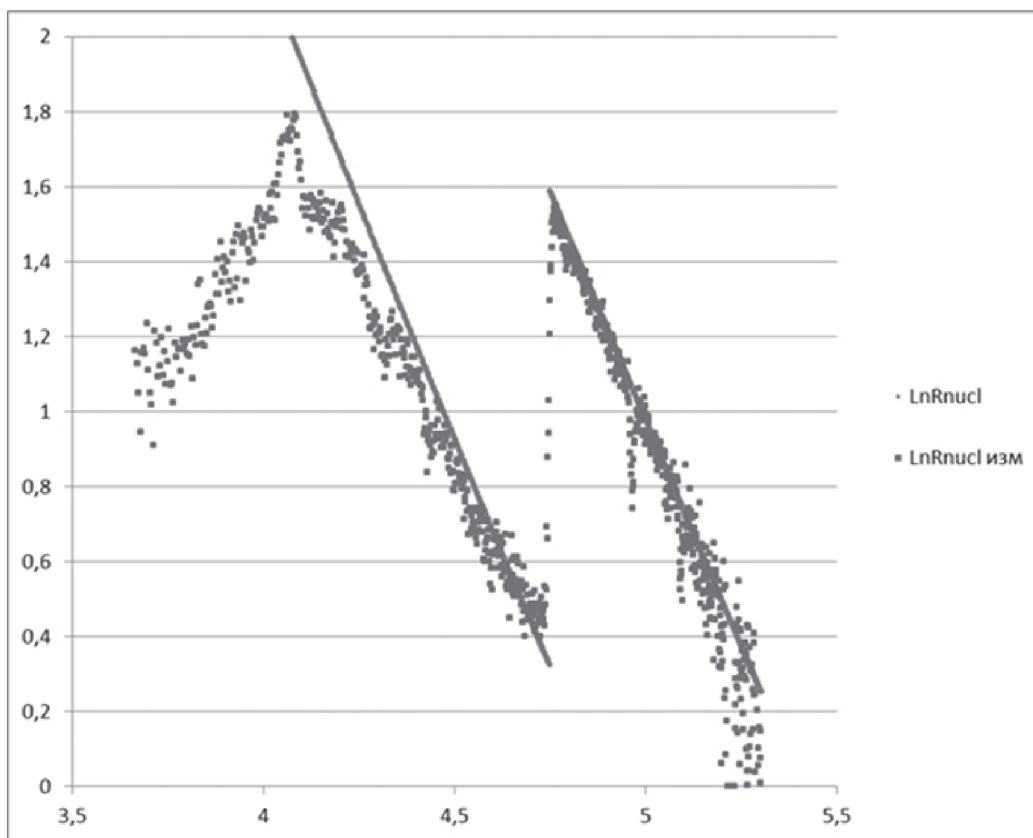


Рис. 6. Спектры сечения поглощения свинца, определенные по спектру пропускания и теоретические

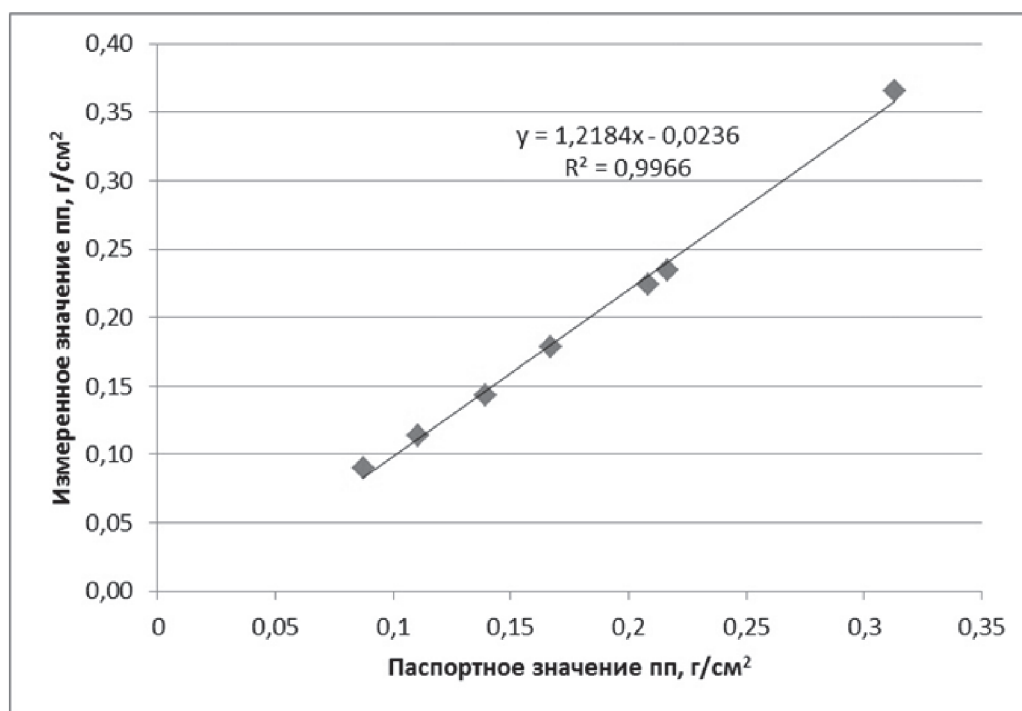


Рис. 7. Измерения поверхностной плотности КОПРb методом К-края

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Схемы распада Fe-55. URL: http://www.nucleide.org/DDEP_WG/Nuclides/Fe-55_tables.pdf (дата обращения 23.10.2013).
2. Новая реализация старого метода просветки для измерения массы урана в мишенях. / Ю.И. Лещенко, А.Ю. Лещенко, В.С. Романовский, Д.А. Леоненко, А.А. Леоненко // III Всероссийская научно-техническая конференция "Стандартные образцы в измерениях и технологиях", сборник трудов. Екатеринбург, Рос-

оссийская Федерация, 2011 г.
3. *Reilly D. et al.* Passive Non-destructive Assay of Nuclear

Materials, NUREG /CR-5550, LA-UR-90-732, March
1991.

TECHNIQUE TO MEASURE THE TRANSPLUTONICS MASS DISTRIBUTION IN A TARGET

© 2013 Yu.I. Leshchenko, Yu.A. Kushnir, V.S. Romanovsky

JSC SSC RIAR, Ulyanovsk Region, Dimitrovgrad-10

The paper describes a technique to measure the transplutonics mass in a target using a precise gamma-spectrometer as well as algorithms to calculate and process spectra that were developed and incorporated into the software.

Key words: gamma-spectrometer, radiation densitometry, X-ray source, transplutonics element.

Yury Leshchenko, Senior Research Fellow, Reactor Complex.

E-mail: orip@niiar.ru

Yury Kushnir, Leading Research Fellow, Metrology Division.

E-mail: orip@niiar.ru

Vadim Romanovsky, Associate Research Fellow, Reactor
Complex. *E-mail: orip@niiar.ru*