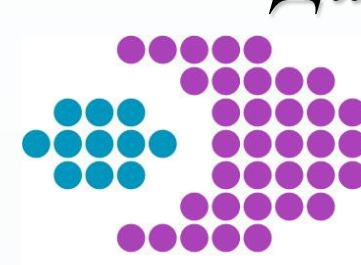




РОСАТОМ



ЭЛЕМАШ

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»



ТОПЛИВНАЯ КОМПАНИЯ РОСАТОМА

ТВЭЛ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

# Разработка метода неразрушающего контроля неравномерности распределения гадолиния в стержнях выгорающего поглотителя

Ушаков А.А., Шевченко Л.Е.

ПАО «Машиностроительный завод», г. Электросталь, Россия

E-mail: andreyu1983@mail.ru

## АННОТАЦИЯ

Стержни выгорающего поглотителя (СВП) предназначены для комплектации тепловыделяющих сборок активных зон судовых реакторных установок с целью компенсации запаса реактивности на выгорание топлива и обеспечения развитого профилирования энерговыделения по высоте и радиусу активной зоны. Конструктивно СВП представляет собой оболочку из хромоникелевого сплава 42ХНМ, в которой находятся поглощающие материалы (ПМ) в виде порошков. В качестве ПМ используются композиции оксидов гадолиния, ниобия, циркония (КГНЦ) и оксидов гадолиния, иттрия, циркония (КГИЦ). С торцов оболочка загерметизирована концевыми деталями также из сплава 42ХНМ.

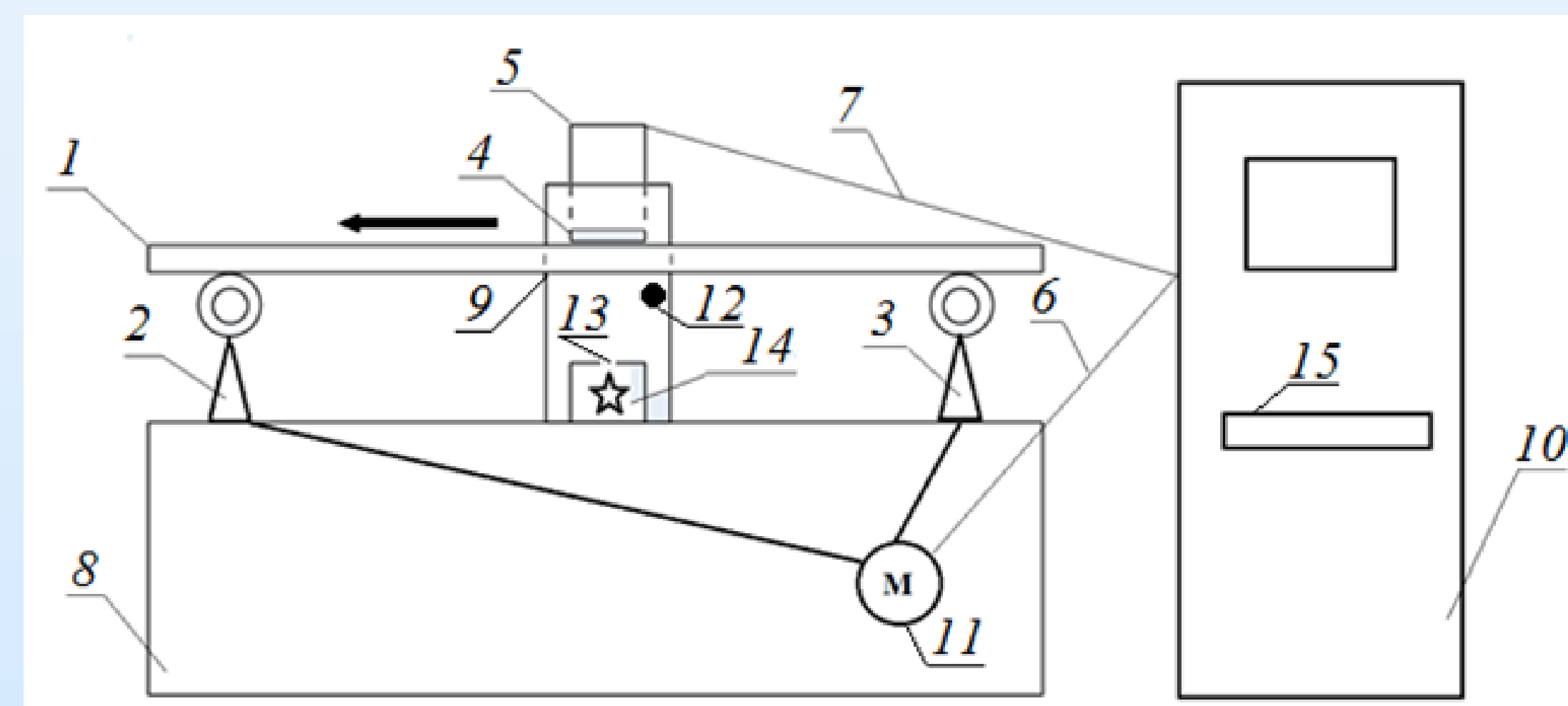
Для обеспечения правильной и безопасной работы активной зоны транспортных реакторов конструкторской документацией на СВП предусмотрен контроль неравномерности распределения гадолиния в ПМ по длине изделия.

На ПАО «МСЗ» для контроля фактического содержания оксида гадолиния в композициях КГНЦ и КГИЦ применяется метод атомно-эмиссионной спектроскопии. Ввиду отсутствия альтернативного этот метод стал применяться также для контроля неравномерности распределения гадолиния в СВП, который проводится путем разрезки изделия на несколько равных участков и последующим анализом ПМ в этих участках на содержание гадолиния.

У действующей методики для контроля неравномерности распределения гадолиния имеется ряд недостатков: высокая трудоемкость анализа, необходимость разрушения годных изделий для проведения контроля, что негативно отражается на себестоимости комплекта СВП.

Принято решение опробовать гамма-абсорбционный метод контроля, применяемый при изготовлении U-Gd топлива. Этот метод основан на способности композиций КГНЦ и КГИЦ, за счет содержащегося в них гадолиния, поглощать гамма излучение.

## Конфигурация экспериментального оборудования



Для проведения исследований возможности контроля образцов гамма-абсорбционным методом использовался лабораторный стенд с гамма-абсорбционным узлом измерения. В качестве источника ионизирующего излучения (ИИИ) использовался источник Am-241 типа ИГИА-Ц с номинальной активностью  $9,1 \times 10^9$  Бк. В качестве измерительной системы использовалось спектрометрическое оборудование на основе платы процессора импульсных сигналов типа SBS-77 и сцинтилляционного детектора типа БДЕГ-50(50)НЦ, на базе кристаллического соединения NaI(Tl).

Измерительная система представляет собой персональный компьютер типа IBM PC на базе Windows, установленный в герметизированном шкафу 10, со встроенным спектрометрическим оборудованием (плата процессора импульсных сигналов) типа SBS-77, разработанным в составе спектрометрического комплекса СКС-07П-Г. В составе последнего использован блок детектирования на базе кристаллического соединения NaI(Tl) 4 с электронными линиями связи 7, установленный в гамма-абсорбционном измерительном блоке 5 для регистрации прошедшего через коллиматор 13 и образец 1 узкий пучок гамма-излучения ИИИ Am-241 14. Измерительный блок 5 размещен на одной оси с роликами 2 и 3 на неподвижной раме 8. Транспортировка образца 1 (оболочка с ПМ КГНЦ, КГИЦ) на измерительную позицию осуществляется при помощи двигателя 11, датчика положения изделия на измерительной позиции 12 с линиями связи 6, контроллера 15 типа Simatic S-7/300 (Siemens) и направляющей 9.

В качестве аналитической области для оценки чувствительности системы использовалась активность характеристического гамма-излучения Am-241 в области энергий 100-120 кэВ.

## Материал для исследований

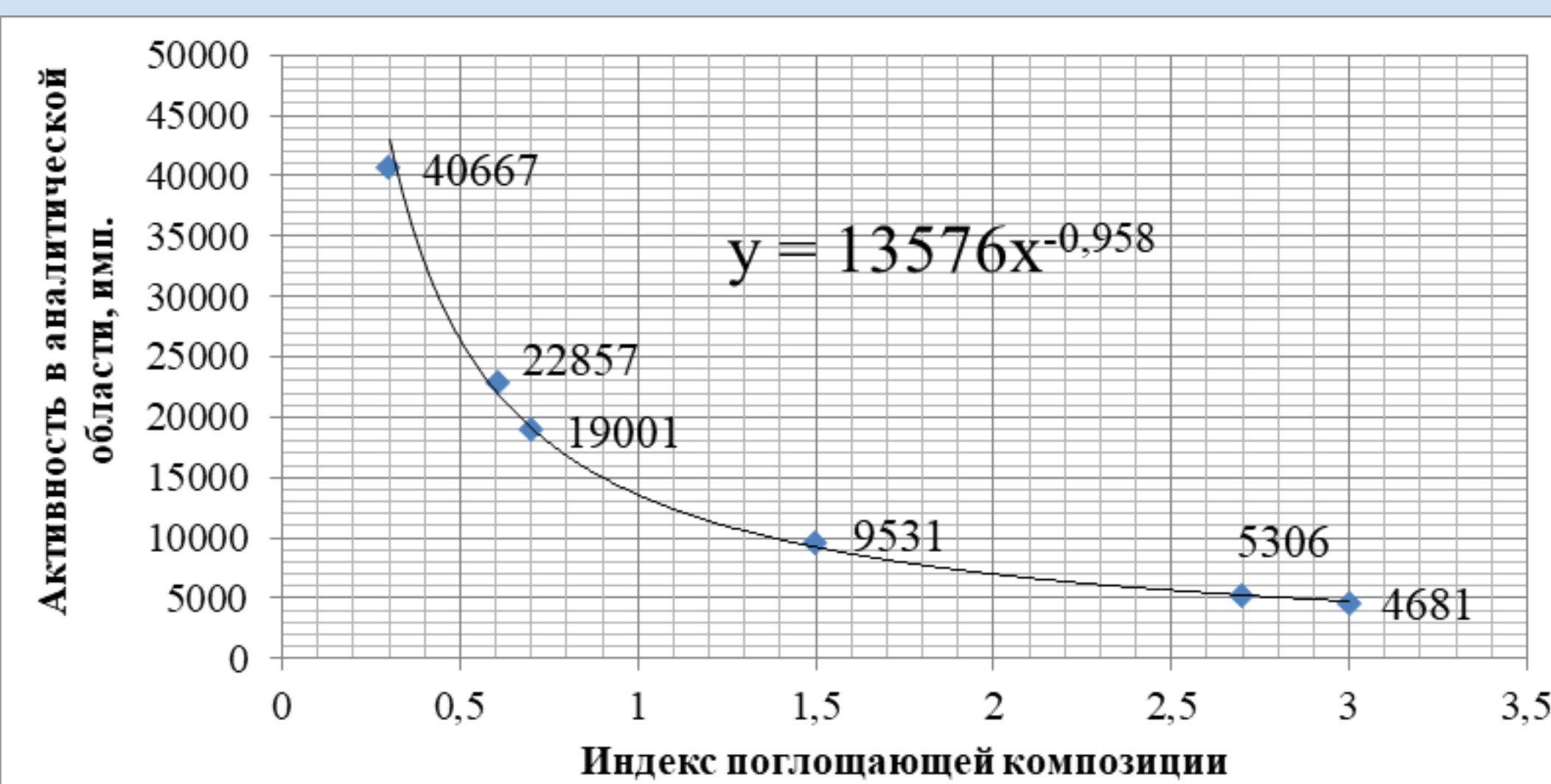
Для проведения экспериментальной части были изготовлены образцы с различным содержанием оксида гадолиния для определения чувствительности метода к изменению количества этого элемента.

Образцы для испытаний представляли собой оболочки из сплава 42ХНМ длиной 200 мм и диаметром 6,9 мм, снаряженные поглощающим материалом.

№ образца, п/п.	Поглощающий материал	Массовая доля оксида гадолиния в поглощающем материале, %
1	КГНЦ-3,0	69
2	КГНЦ-2,7	62
3	КГНЦ-3,6	81
4	КГНЦ-1,5	38
5	КГИЦ-0,7	20
6	КГИЦ-0,6	18

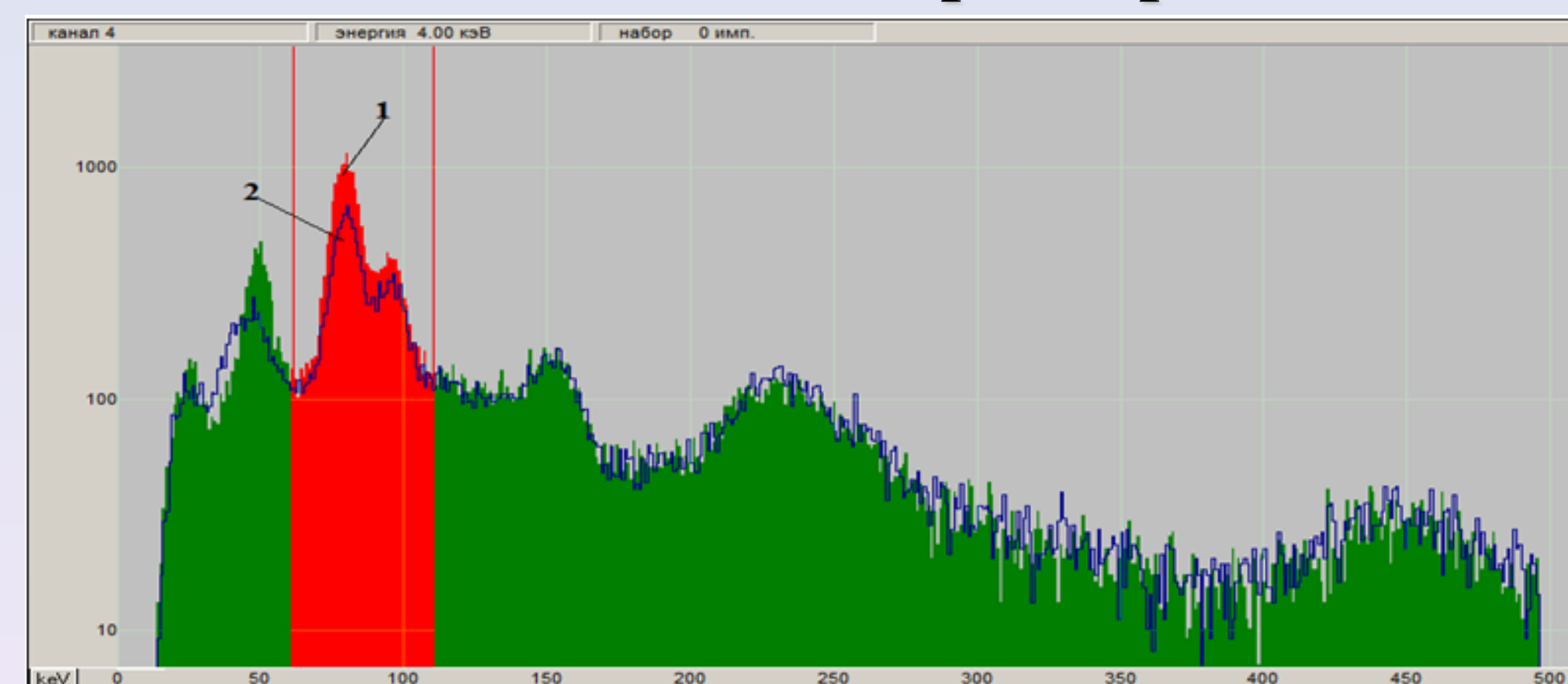
\* Цифрой в названии поглощающего материала указана плотность по гадолинию.

## Градуировочная характеристика измерений



На основе чувствительности спектрометрической системы к введению гадолиния в матрицу порошка были проведены испытания для всех образцов. Результаты измерений для образцов с различным процентным содержанием оксида гадолиния с хорошим приближением аппроксимируются степенной функцией.

## Отклик спектрометрической системы



Цифрой 1 обозначен спектр Am-241 при измерении ослабления активности ИИИ для образца с поглотителем

КГИЦ-0,7, цифрой 2 - ослабление активности ИИИ для образца с поглотителем КГНЦ-1,5.

Из рисунка видно, что с увеличением содержания оксида гадолиния в матрице анализируемого образца наблюдается пониженный счет импульсов в аналитической области.

## Заключение

С целью возможного совершенствования методов контроля СВП специалистами ПАО «МСЗ» собрана экспериментальная установка с гамма-абсорбционным узлом измерения.

Выполнен ряд экспериментов на образцах, имитирующих СВП, снаряженных различными поглощающими материалами, по контролю неравномерности распределения гадолиния гамма-абсорбционным методом.

Результаты работы показали, что применение данной методики для контроля неравномерности распределения гадолиния в изделиях взамен действующей (метода атомно-эмиссионной спектроскопии) позволяет:

- ✓значительно снизить трудоемкость контроля. В случае гамма-абсорбционного метода изделие контролируется «на проход» с заданной дискретностью в течение нескольких минут. А в случае атомно-эмиссионной спектроскопии определение содержания гадолиния занимает до 80 часов;
- ✓увеличить выход годного. Контроль изделий происходит без разрушения, а контролируемые изделия используются для формирования комплекта для поставки заказчику.