Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXIV, вып. 2, 1974 г.

РУДНИЧНЫЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТР

Р. М. Габитов, Г. Ф. Новиков, А. Я. Синицын

Наиболее перспективным способом опробования урано-ториевых руд, позволяющим раздельно определять уран и торий, является гамма-спектральный способ в модификации измерений разностного эффекта излучения. Принцип такого опробования рассмотрен ранее [1]. Широкое применение метода затруднено отсутствием необходимой серийной аппаратуры. Предлагаемый здесь сцинтилляционный рудничный гамма-спектрометр (РГС-2М) позволяет реализовать названный способ опробования и может служить основой для разработки серийных приборов.

Аппаратура РГС-2М выполнена по принципу быстродействующего амплитудного анализатора импульсов с автоматической стабилизацией энергетической шкалы по альфа-реперу. Для устранения мешающего действия боковых излучающих масс сцинтилляционный датчик прибора снабжен свинцовым щелевым экраном с выдвижным вкладышем, позволяющим регистрировать разностный эффект гамма-излучения (рис. 1).

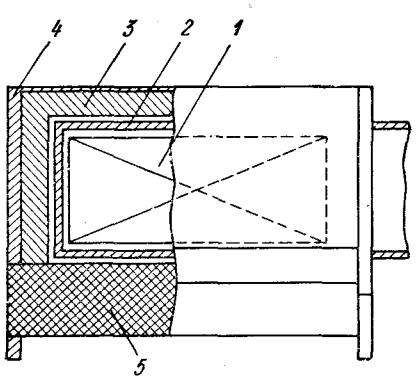


Рис. 1. Конструкция свинцового щелевого экрана:

1 — сцинтиллятор NaJ; *2* — дюралюминиевая гильза детектора излучения; *3* — цилиндрический слой свинца со щелью, вырезанной по образующим цилиндра; *4* — стальной внешний кожух экрана; *5* — выдвижной свинцовый вкладыш

Спектрометр собран полностью на полупроводниковых элементах и содержит два независимых дифференциальных канала. Диапазон исследуемых энергий гамма-излучения 0—3 *Мэв*. Каждый из дифференциальных каналов имеет 100 уровней дискриминации и три фиксированных окна, составляющих в энергетическом выражении 30, 300 и 600 *кэв*. Два последних окна — рабочие. Оптимальное положение рабочих окон: 1) 1,05+0,3 *Мэв;* 2) 2,05+0,6 *Мэв*. Аппаратура выполнена в носимом варианте и рассчитана на обслуживание одним оператором.

Помимо опробования стенок и кровли горных выработок способом разностного эффекта прибор позволяет осуществлять гамма-спектраль-

ный каротаж шпуров с помощью дополнительного детектора излучения малого диаметра.

В комплект аппаратуры РГС-2М в варианте для опробования стенок и кровли горных выработок входит датчик диаметром 45 и длиной 400 *мм*, пульт управления и свинцовый щелевой экран. При каротаже шпуров используется датчик такой же длины, но диаметром 32 *мм*, снабженный кабелем длиной 20 *м*. Пульт управления смонтирован в дюралюминиевом корпусе размерами: лицевая панель 325×150 *мм*, глубина 240 *мм*. На лицевую панель выведены индикаторные устройства и основные органы управления. Переключатели уровней дискриминации и подстроечные элементы размещены под кожухом прибора. Щелевой экран обеспечивает снижение фона бокового излучения на 30—40%. Величина разностного эффекта в 2π-геометрии составляет около 45% скорости счета без вкладыша. Длина экрана 10 *см*, вес 3,1 *кг*, угол раствора 110°.

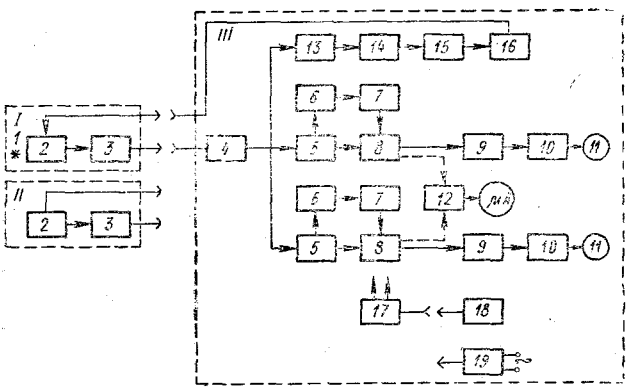


Рис. 2. Функциональная схема аппаратуры:
I — детектор излучения для опробования выработок способом разностного эффекта; *II* — детектор излучения для каротажа шпуров, *III* — пульт управления

1 — альфа-репер; *2* — сцинтилляционный счетчик; *3* — согласующий эмиттерный каскад; *4* — линейный усилитель импульсов; *5* — дискриминатор нижнего уровня; *6* — усилитель-экспандер; *7* — дискриминатор верхнего уровня; *8* — схема отбора антисовпадений; *9* — пересчетное устройство; *10* — каскад запуска электромеханического счетчика; *11* — счетчик МЭС-54; *12* — интенсиметр; *3* — пороговый дискриминатор; *14* — схема формирования и интегрирования импульсов; *15* — усилитель постоянного тока; *16* — генератор высокого напряжения; *17* — стабилизаторы питания; *18* — батареи питания; *19* — блок сетевого питания

Электронная часть гамма- спектрометра выполнена на основе типовых узлов спектрометрической аппаратуры, предложенных различными авторами. Оригинально решены система стабилизации усиления спектрометрического тракта по альфа-реперу и устройство оперативного контроля положения энергетической шкалы по гамма-препарату.

Регистрация гамма-излучения (рис. 2) осуществляется сцинтилляционным счетчиком, состоящим из кристаллофосфора NaJ(Tl) размером 30×70 *мм* и ФЭУ-35 (датчик для опробования стенок и кровли горных выработок) либо 20×40 *мм* и ФЭУ-31 (датчик для каротажа шпуров). В датчике для опробования размещен альфа-репер, изготовленный на основе сцинтиллирующей пластины из кристаллофосфора CsJ(Tl) и изотопа Pu^{239} [3]. Репер расположен между кристаллом NaJ(Tl) и катодом фотоумножителя в углублении в центральной части плексигласового светопровода. Для получения оптимального энергетического гамма-эквивалента альфа-репера, равного примерно 4 *Мэв*, в приборе использован способ частичного гашения видимой яркости световых вспышек в сцинтилляторе NaJ(Tl) с помощью пластмассовых светофильтров. Проведенные эксперименты показали, что для большинства кристаллов NaJ(Tl) и фотоумножителей типа ФЭУ-35 наиболее эффективны синие

и светло-желтые светофильтры. Некоторое ухудшение разрешения детектора (в пределах 30% относительно исходной величины) за счет использования светофильтра и светопровода с углублением в центре практически не сказывается на результатах опробования радиоактивных руд, так как в процессе опробования используются широкие энергетические окна (300 и 600 *кэв*). Присущий альфа-реперным источникам недостаток, выраженный в сдвиге контрольной и измеряемых линий из-за температурного воздействия, существенно не влияет на точность опробования, поскольку при измерениях в горных выработках, как правило, отсутствуют резкие изменения окружающей температуры. Каждый из измерительных дифференциальных каналов включает в себя дискриминаторы нижнего и верхнего уровней, усилитель-экспандер и схему антисовпадений. Скорость счета на выходе канала регистрируется индивидуальным устройством, состоящим из пересчетной схемы с кратностью пересчета 1 : 2, 1 : 10 и 1 : 100 и счетчика типа МЭС-54.

Питание прибора в полевом варианте осуществляется от батарей, размещенных в корпусе пульта управления, в лабораторном — от промышленной сети переменного тока через специальный блок питания, установленный вместо батарей.

Так как цепь альфа-реперной стабилизации не захватывает сцинтиллятор NaJ(Tl), в приборе размещено оригинальное устройство для оперативного контроля и ручной корректировки положения энергетической шкалы по фотопику изотопа Cs^{137}, входящего в комплект спектрометра. Устройство контроля состоит из интенсиметра с выходом на стрелочный индикатор и схемы коммутации. Схема коммутации позволяет выполнить следующие операции: 1) подключить интенсиметр к выходу одного из дифференциальных дискриминаторов; 2) установить ширину окна, равную 1 : 100 от исследуемого диапазона; 3) оперативно переместить окно в положения, соответствующие обеим ветвям фотопика Cs^{137}.

Устройство автоматической стабилизации энергетической шкалы содержит пороговый дискриминатор, настроенный на работу в области максимума дифференциального спектра альфа-репера, схему формирования и интегрирования сигналов, усилитель постоянного тока и исполнительное устройство, роль которого играет генератор высокого напряжения, используемого для питания фотоумножителя. Пороговый дискриминатор выполнен на диоде $Д_1$ (рис. 3). Запирающее напряжение около 10 *в* подается на $Д_1$ через эмиттерные повторители T_1 и T_2. Вершины импульсов, амплитуда которых превышает порог запирания $Д_1$, через эмиттерный повторитель T_3 и конденсатор C_1 подаются на ограничитель амплитуд, собранный на диоде $Д_2$ и предохраняющий схему формирования от амплитудных перегрузок. Максимальная амплитуда импульсов на выходе ограничителя определяется соотношением между величиной балластного сопротивления R_1 и динамического сопротивления диода $Д_2$ и составляет для германиевых диодов типа Д9В около 0,5 *в*. Диод $Д_3$ обеспечивает восстановление постоянной составляющей на конденсаторе C_1. Предлагаемый прием ограничения позволяет практически полностью устранить зависимость амплитуд выходных импульсов от частоты поступающих сигналов в пределах всего динамического диапазона спектрометра.

Схема формирования включает в себя чувствительный одновибратор на триодах T_4, T_5 с проводящим диодом $Д_4$ в цепи положительной обратной связи [2], двухстабильный триггер на триодах T_6, T_7, эмиттерный повторитель T_8, формирующий усилитель T_9 и выходной эмиттер-

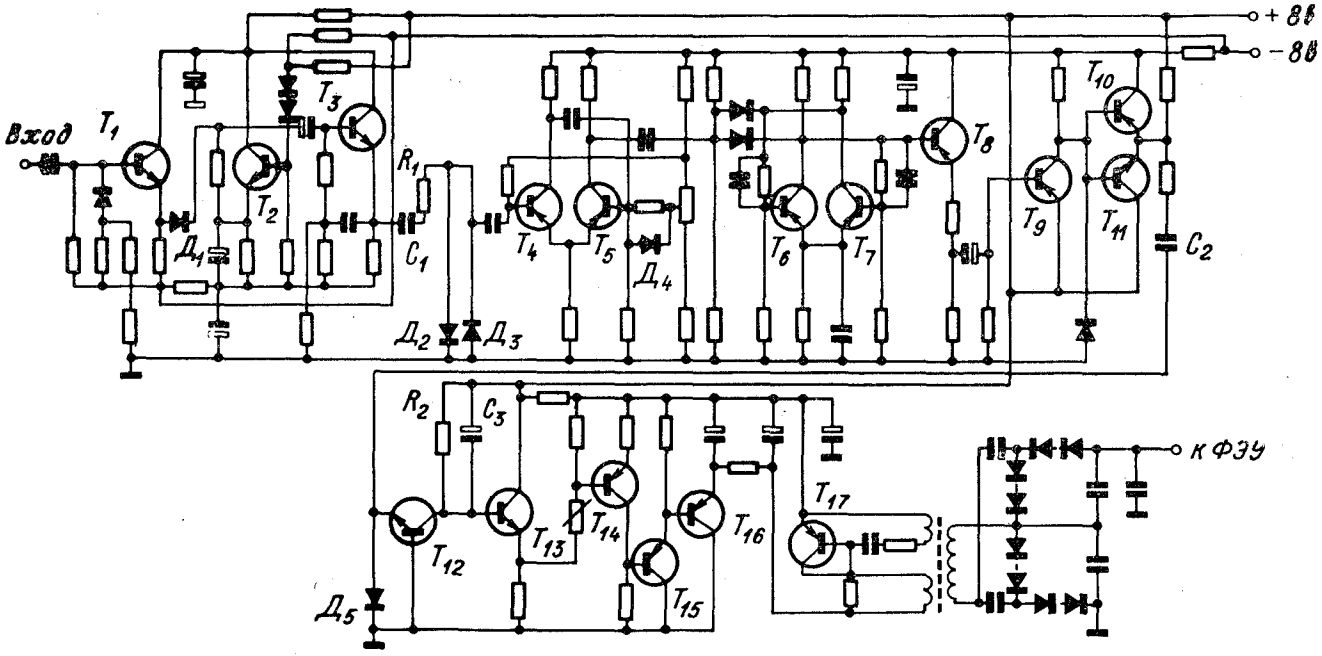


Рис. 3. Электрическая схема канала стабилизации усиления спектрометрического тракта по альфа-реперу.

ный повторитель на триодах T_{10}, T_{11}. Отформированные импульсы через дозирующий конденсатор C_2 подаются в схему интегрирования, включающую диод $Д_5$, линеаризирующий триод T_{12} и контур R_2C_3. Номинал C_2 зависит от активности используемого альфа-репера и составляет 0,1 *мкф* для репера, создающего около 100 *имп/сек* по интегральному счету.

Напряжение на интегрирующем контуре, пропорциональное средней скорости счета импульсов от альфа-репера, усиливается усилителем постоянного тока на триодах T_{13}—T_{16} и подается на блокинг-генератор на триоде T_{17}.

Предложенная электронная схема отличается высокой надежностью в эксплуатации и коэффициентом стабилизации около 100.

Лабораторными испытаниями установлены основные параметры аппаратуры РГС-2М: временная нестабильность энергетической шкалы в области энергий свыше 1 *Мэв* за 8 *ч* непрерывной работы не более 1%; отклонение энергетической шкалы от линейной не более 2%; временная нестабильность ширины рабочих окон за 8 *ч* непрерывной работы не более 1%; смещение энергетической шкалы при изменении импульсных загрузок на входе прибора от 200 и 25 000 *имп/сек* не более 1%; коэффициент разделения для рабочих энергетических окон не менее 10; «засев» рабочих окон импульсами от альфа-репера не более 0,003% эквивалентного тория; средняя потребляемая мощность около 3 *вт*.

Аппаратура РГС-2М испытывалась в течение 1968—1969 гг. на объектах комплексных урано-ториевых руд. Сопоставление результатов основного и повторного опробования 48 рудных пересечений, в которых содержание урана и тория изменялось от 0,01 до 0,30%, показывает, что относительная среднеквадратичная погрешность определения площадей диаграмм разностного эффекта в первом канале ±3%, во втором ±4%. Среднеквадратичная относительная погрешность определения урана и тория для класса содержаний 0,01—0,03% составляет ±10%, для класса 0,03—0,10% равна ±8%, для класса 0,10—0,30% не превышает ±4%.

Средние содержания урана и тория в рудных интервалах суммарной длиной 29,83 *м*, по данным гамма-спектрального опробования с аппаратурой РГС-2М и бороздового опробования на базе химического анализа, составляют соответственно 0,105 и 0,101% U; 0,033 и 0,032% Th.

Таким образом, РГС-2М обеспечивает высокую точность опробования комплексных урано-ториевых руд, отвечающую предъявляемым при подсчете запасов требованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков Г. Ф., Синицин А. Я., Козында Ю. О. Использование экранов при гамма-спектрометрическом опробовании пород и руд на месте залегания. Вопросы рудной геофизики, 1968, вып. 8.

2. Сошин Л. Д. Одновибратор с милливольтовым порогом срабатывания на транзисторах. Приборы и техника эксперимента, 1960, № 4.

3. Суетнов О. Н. Малогабаритный контрольный источник альфа-реперных сигналов для стабилизации сцинтилляционных гамма-спектрометров. Тр. Всесозного научно-иссл. ин-та приборостроения, 1968, вып. 8.