

1. Бондарев В. И., Агеев В. Н. Вероятностно-статистическое обоснование корреляционной зависимости модуля деформации песчаных грунтов от модуля упругости // Реферативный сборник научно-исследовательских работ СГИ.— Свердловск, СГИ.— 1973.— С. 62—65.
2. Бондарев В. И., Писецкий В. Б. Сейсмическая аппаратура для инженерно-геологических исследований // Геофизическая аппаратура.— Л.: Наука, 1972. Вып. 50.— С. 143—150.
3. Рекомендации по применению сейсмической разведки для изучения физико-механических свойств рыхлых грунтов в естественном залегании / В. И. Бондарев.— М.: Стройизыскания, 1974.—142 с.
4. Рекомендации по применению вертикального сейсмического профилирования в инженерно-геологических скважинах с целью оценки физико-механических свойств рыхлых грунтов / В. И. Бондарев, В. Б. Писецкий, В. Н. Агеев, Г. Г. Вербицкий.— М.: Стройизыскания, 1976.—30 с.
5. Руководство по эксплуатации 1-й части системы «Грунт-2» / В. И. Бондарев, В. Б. Писецкий, С. М. Крылатков.— М.: Стройизыскания, 1982.—128 с.

УДК 550.83

А. В. Давыдов

СПОСОБ ОПРОБОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И РУД ПО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЮ

Опробование горных пород и руд по гамма-излучению производится радиометрами направленного приема излучения. В настоящее время на производстве используются два типа радиометров опробования — однодетекторные и двухдетекторные [5]. В однодетекторных радиометрах направленность опробования создается частичной экранировкой детектора от мешающего (фонового) излучения вне зоны опробования (полная экранировка невозможна по весогабаритным характеристикам свинцовых экранов) и двойным измерением интенсивности излучения на точках опробования: с открытым и закрытым окном в зону опробования (с применением специального фильтра окна). Более производительными являются двухдетекторные радиометры, в которых интенсивность излучения одновременно измеряется вторым (фоновым) детектором и вычитается из измерений первого детектора, помещенного в специальный экран с окном в зону опробования, с определенным коэффициентом приведения. Однако детекторы в таком радиометре занимают разное геометрическое положение относительно зоны опробования, а соответственно приведение измерений фонового детектора к положению основного детектора (решение системы двух уравнений относительно интенсивности излучения из зоны опробования) осуществляется с определенной погрешностью, которая может возрастать до существенных значений (более 10 %) при большой фоновой интенсивности излучения (например, в условиях горных выработок) и при больших градиентах интенсивности излучения на площади опробования (при резко неравномерном распределении содержаний радиоактивных элементов в породах), т. е. именно тогда, когда требуется повышенная точность измерений. Разное положение детекторов относительно зоны опробования накладывает определенные ограничения и на размеры детекторов, а соответственно и на чувствительность приборов.

Возможен и другой, спектральный способ получения системы двух уравнений и их решения относительно интенсивности излучения из зоны опробования, при этом способ реализуется с использованием только одного детектора. Сущность способа заключается в следующем.

Детектор радиометра спектрометрического типа (сцинтилляционный счетчик) открыт в зону опробования и экранирован от фонового излучения свинцовым фильтром толщиной 4—8 мм. Регистрация излучения производится в двух энергетических интервалах спектра: низкоэнергетическом и высокоэнергетическом с граничной энергией разделения интервалов E_g порядка 200—250 кэВ. Регистрируемые детектором скорости счета сигналов от поверхности опробования в низко- и высокоэнергетических интервалах будут определяться выражениями:

$$\begin{aligned} M' &= P' \cdot N + R' \cdot F, \\ M'' &= P'' \cdot N + R'' \cdot F, \end{aligned} \quad (1)$$

где N — суммарная скорость счета сигналов от излучения из зоны опробования, F — то же от пород вне зоны опробования (условно — зоны фона, при этом излучение из данной зоны проходит на детектор через свинцовый фильтр), P' и P'' — относительные доли скорости счета соответственно в низко- и высокоэнергетическом интервалах, R' и R'' — то же для скорости счета F , M' и M'' — скорости счета в низко- и высокоэнергетическом интервалах. При этом $P' + P'' = 1$, $R' + R'' = 1$, $M' + M'' = N + F$ и $P'/P'' > R'/R''$ за счет разных условий прохождения излучения из зоны опробования и зоны фона на детектор. Индексы (' , '') здесь и в дальнейшем относятся соответственно к первому (низкоэнергетическому) и второму (высокоэнергетическому) интервалам регистрации.

Решая систему уравнений (1) относительно скорости счета N для излучения из зоны опробования, получаем:

$$N = K' \cdot M' - K'' \cdot M'', \quad (2)$$

$$K' = R'' / (P' - R'), \quad (3)$$

$$K'' = R' / (P' - R'). \quad (4)$$

При установленной граничной энергии E_g разделения интервалов регистрации излучения значения коэффициентов P и R могут быть определены измерениями на поверхности однородной по содержанию радиоактивных элементов среды при полностью открытом детекторе (без свинцового фильтра) и при детекторе, полностью закрытом свинцом фильтром. Для перехода от скорости счета N к содержанию радиоактивных элементов (в зоне опробования) проводится определение пересчетного коэффициента радиометра в рабочем положении на рудных моделях по типовой методике для радиометров гамма-опробования.

Форма спектра естественного гамма-излучения руд и горных пород, особенно в области энергий до 500 кэВ, практически постоянна. Спектральная эффективность регистрации сцинтилляционных детекторов зависит от их типа, размеров, энергии излучения и условий прохождения излучения на детектор. Статистическая погрешность измерения зависит от данных факторов и является функцией граничной энергии E_g разделения интервалов регистрации излучения. Из выражения (2) для дисперсии отсчетов Nt (t — экспозиция) можно записать:

$$D(Nt) = K'^2 \cdot D(M't) + K''^2 \cdot D(M''t) = K'^2 \cdot M't + K''^2 \cdot M''t, \quad (5)$$

где значения K и M определяются положением E_g на спектре естественного гамма-излучения и параметрами детектора (без учета прямой зависимости M от содержания радиоактивных элементов). Если аппроксимировать каким-либо аналитическим выражением аппаратные спектры естественного гамма-излучения, регистрируемые от однородной среды открытым детектором и детектором, закрытым свинцовым экраном, то не представляет затруднений проведение анализа выражения (5) по минимуму дисперсии на оптимальное значение положе-

ния Eg . Численный анализ, проведенный непосредственно по аппаратным спектрам для детекторов NaI (TI) размерами от 16×20 до 25×40 со свинцовыми фильтрами толщиной от 4 до 8 мм показал, что функция (5) имеет минимум внутри зоны значений Eg от нижней границы $Eg1$ до верхней границы $Eg2$, на которых выполняются условия:

$$1. M' = M'' \text{ при } Eg = Eg1, \quad (6)$$

$$2. R' = R'' \text{ при } Eg = Eg2. \quad (7)$$

Значение $Eg1$ определяется установкой такой границы Eg , при которой наблюдается равенство скоростей счета в низко- и высокоэнергетических интервалах регистрации в рабочем положении прибора на поверхности излучающей среды. Условие (7) эквивалентно равенству скоростей счета в этих же интервалах на поверхности той же среды при полном экранировании детектора, т. е. при перекрытии окна свинцового фильтра в зону опробования фильтром такой же толщины.

Условия (6) и (7) весьма удобны как для практической установки границы Eg при первичной настройке и градуировании приборов на рудных моделях, так и для периодической проверки и подстройки положения Eg при эксплуатации (для чего в приборе должен быть предусмотрен соответствующий орган изменений установки границы Eg).

Способ имеет возможность упрощения измерений и настройки. Преобразуем выражение (2) к виду:

$$N = K' \cdot (M' - M'' \cdot R'/R''). \quad (8)$$

Если установить границу интервалов регистрации непосредственно по условию (7), то выражение (8) превращается в уравнение

$$N = K' \cdot (M' - M''), \quad (9)$$

$$Q = (M' - M'')/K, \quad (10)$$

где K — общий пересчетный коэффициент прибора (имп/сек на % U , определяемый на рудной модели), Q — содержание эквивалентного урана в зоне опробования. Установление значения Eg по условию (7) хотя и несколько не оптимально с позиции минимума статистической погрешности, но удобно для практики в силу своей однозначности и простоты построения измерительной схемы прибора.

Интенсивность естественного гамма-излучения в низкоэнергетической области спектра (многократно рассеянное излучение при измерениях в условиях естественного залегания пород) зависит также от эффективного атомного номера горных пород. При существенных изменениях атомного номера пород по площади опробования это может приводить к появлению дополнительной погрешности измерений. Для исключения данного фактора наиболее простой метод — закрытие входного окна датчика дополнительным свинцовым фильтром толщиной 1—1,2 мм, что несколько снижает чувствительность прибора, но не изменяет условий его настройки и градуирования. Однако более эффективным и создающим дополнительные возможности в опробовании руд можно считать другой метод: непосредственное измерение эффективного атомного номера пород в зоне опробования [2] и соответственно учет его значения в пересчетном коэффициенте или непосредственную стабилизацию пересчетного коэффициента [3].

Использование детектора радиометра в спектрометрическом режиме требует либо автостабилизации энергетической шкалы преобразования измерительного тракта прибора, либо ее периодического контроля и подстройки в процессе работы. При установке границы Eg по условию (7) периодический контроль затруднений не представляет и может выполняться без дополнительных контрольных изотопов (по естествен-

ному излучению пород). Автостабилизация энергетической шкалы радиометра, удовлетворяющая условиям измерений, также может быть выполнена без дополнительных (реперных) источников излучения по средней энергии спектра естественного гамма-излучения [4], которая в энергетическом интервале 300—1000 кэВ практически постоянна, или по особенностям формы спектра излучения [1].

При использовании сцинтилляционных детекторов основной свинцовый экран выполняется в виде цилиндрического стакана с торцевым окном в зону опробования, при этом установка угловой чувствительности блока детектирования и ее изменение производится в довольно широких пределах перемещением детектора в экране относительно выходного окна. Прибор не имеет никаких ограничений по размерам детектора и по соотношению интенсивностей основного и мешающего излучений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А. с. № 1514116. Способ определения содержания радиоактивных элементов в горных породах / А. В. Давыдов, В. А. Давыдов, А. С. Серых.—1989.
2. А. с. № 1570523. Способ определения эффективного атомного номера горных пород и устройство для его осуществления / А. В. Давыдов, Г. Г. Коргуль, А. Г. Шампаров.—1990.
3. А. с. № 1167969. Способ коррекции плотности потока излучения при гамма-картаже и опробовании руд и устройство для его осуществления / А. В. Давыдов, Г. Г. Коргуль, А. Г. Шампаров.—1985.
4. А. с. № 1327687. Способ стабилизации коэффициента энергетического преобразования измерительного тракта радиометрической аппаратуры и устройство для его осуществления / А. В. Давыдов, А. Г. Шампаров, А. С. Серых.—1987.
5. Хайкович И. М., Шашкин В. Л. Опробование радиоактивных руд по гамма-излучению.— М.: Энергоатомиздат, 1984.—160 с.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПОТОКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Разработчик — *Сковородников И. Г.*

Устройство предназначено для определения направления потока подземных вод по измерениям в одиночных буровых скважинах, может найти применение при подготовке строительства крупных инженерных сооружений, изучении фильтрации воды из водохранилищ, осушении горных выработок, подготовке подземных хранилищ.

Устройство опускается в скважину на шнуре или тросе. Глубина скважины не ограничена.

Преимущества:

— отличается простотой конструкции и малой стоимостью;

— абсолютная погрешность в определении направления потока составляет $\pm 5^\circ$.

Устройство обеспечивает получение первичных документальных материалов, фиксирующих направление потока подземных вод и направление магнитного меридиана.