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

ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ РАСЧЛЕНЕНИИ РАЗРЕЗА МЕТОДОМ ГГК-П

Э. П. Попов, Г. А. Иванюкович, В. М. Мирошниченко, Э. Х. Вишняков

Эффективное применение гамма-гамма-каротажа плотности при расчленении геологического разреза в значительной степени определяется правильным выбором расстояния между источником и детектором радиоактивного излучения (длиной зонда), постоянной интегрирования и скоростью движения каротажного снаряда.

Длина зонда определяет его чувствительность к плотности и дифференцирующую способность. Когда мощность пластов значительно превышает длину зонда, для увеличения контрастности аномалий рекомендуется расстояние от источника до детектора выбирать максимально возможным. Единственным ограничением при этом является активность источника гамма-излучения. Каких-либо количественных рекомендаций по выбору оптимальной длины зонда при необходимости выявления в разрезе маломощных пропластков нет.

Постоянная интегрирования и скорость каротажа определяют величину инерционных искажений, влияющих на контрастность аномалий. Для увеличения контрастности необходимо уменьшать инерционность аппаратуры и скорость каротажа. Однако чрезмерное уменьшение постоянной интегрирования нежелательно из-за резкого возрастания ошибок за счет флюктуаций гамма-излучения, а скорости — из-за снижения производительности каротажных работ.

Оптимальные условия измерений в настоящее время выбирают экспериментально — многократным каротажем скважин.

Ниже излагается способ определения оптимальных условий измерений при расчленении разреза методом ГГК-П. За критерий оптимальности принята максимальная дифференцирующая способность аппаратуры.

Выбор длины зонда Основным фактором, определяющим контрастность аномалий при ГГК-П, является характер основной зависимости известного метода [1]:

$$J=f(\rho R). \qquad (1)$$

При постоянной длине зонда с увеличением плотности ρ интенсивность J рассеянного γ-излучения сначала возрастает, достигает своего максимального значения, а затем уменьшается. Начиная с некоторого

значения плотности интенсивность спадает по экспоненциальному закону. Изменение длины зонда R приводит к смещению максимума зависимости и изменению скорости нарастания и спада интенсивности рассеянного γ-излучения. В настоящее время при ГГК-П широко используют измерения, позволяющие компенсировать постоянную составляющую гамма-поля. В данном случае в качестве показателя дифференцирующей способности зондов целесообразно использовать величину ΔJ, характеризующую абсолютную величину аномалии при изменении плотности от от ρ_1 до ρ_2.

Анализ зависимости (1) в заинверсионной области показывает, что при заданном изменении плотности пород существует некоторая оптимальная длина зонда $R_{опт}$, при которой величина аномалии ΔJ будет максимальной. При плотности вмещающих пород ρ_1, плотности пласта ρ_2 и его мощности h величина аномалии над пластом

$$\Delta J = f(\rho_к,\ R) - f(\rho_1,\ R), \tag{2}$$

где $\rho_к$ — эффективная плотность пород на участке, равном длине зонда R; $\rho_к = \rho_2$ при $R < h$.

Величина $R_{опт}$ определится из выражения

$$\frac{d\,\Delta J R_{(опт)}}{dR} = 0, \tag{3}$$

т. е.

$$\frac{df(\rho_к, R_{опт})}{dR} = \frac{df(\rho_1, R_{опт})}{dR}. \tag{4}$$

Полагая, что чувствительность к плотности по длине зонда одинакова [1], величину $\rho_к$ можно рассчитать как средне-взвешенное значение

$$\rho_к = \frac{(R-h)\rho_1 + \rho_2 h}{R}. \tag{5}$$

Зависимость $R_{опт}$ от параметров плотностного разреза ρ_1, ρ_2 и h обусловливает возможность выбора оптимальной длины зонда только для выделения какой-либо одной группы пластов, характеризующихся идентичными или достаточно близкими свойствами.

Оптимальная длина зонда выбирается на основании данных эталонирования аппаратуры (графика основной зависимости) и сводится к графическому решению уравнения [4]. Если конструкция зонда ГГК-П позволяет использовать принципы подобного преобразовани гамма-полей (реальные размеры детектора и источника близки к точечным [2]), то график основной зависимости может быть выражен в виде функции

$$\ln JR^2 = f(\rho R). \tag{6}$$

Когда реальными размерами детекторов и источников пренебречь нельзя, то график основной зависимости для конкретной длины зонда

$$J = f(\rho)$$

или

$$\ln J = f(\rho). \tag{7}$$

Для определения оптимальной длины следует определить зависимости (7) для нескольких длин зондов. На основании этих зависимостей для плотностей ρ_1 и $\rho_к$ строятся графики

$$J_{\rho_1} = f_1(R) \text{ и } J_{\rho_к} = f_2(R).$$

Задаваясь произвольными значениями R_1, R_2, ..., R_n, отличающимися друг от друга на постоянную величину ΔR, для каждого значения R_i находят величины ΔJ_{ρ_1} и $\Delta J_{\rho_к}$ и строят зависимости

$$\Delta J_{\rho_1} = f(R)$$

и

$$\Delta J_{\rho_к} = f(R). \tag{8}$$

Точка пересечения этих графиков определит оптимальную длину зонда ГГК-П для выявления пластов, характеризующихся параметрами ρ_1, ρ_2 и h.

Если результаты эталонирования представлены в виде выражения (6), то зависимости (8) строят следующим образом. По произвольным значениям R_1, R_2, ..., R_n ($\Delta R = \text{const}$) и заданным величинам плотности ρ_1 и ρ_2 находят произведения $R_1\rho_1$ и $R_1\rho_к$, величины J_{ρ_1} и $J_{\rho_к}$ и соответствующие длинам зондов R_i приращения $\Delta J_{1\rho_1}$ и $\Delta J_{1\rho_к}$. Полученные значения и используют для построения зависимостей (8).

Выбор постоянной интегрирования и скорости каротажа. Аномалия ΔJ должна уверенно выделяться на фоне флюктуаций общей интенсивности рассеянного гамма-излучения J и инерционных искажений. При регистрации интенсивности рассеянного гамма-излучения с помощью интегрирующей ячейки, состоящей из параллельно соединенных резистора и емкости, с постоянной времени $\tau = RC$, ошибка $\delta(J)$ определяется формулой [3]

$$\delta(J) = \frac{1}{\sqrt{2\tau}} \cdot \frac{1}{\sqrt{J}} \left(1 - e^{-\frac{2t_0}{\tau}}\right)^{1/2}, \tag{9}$$

где t_0 — время с начала измерений до момента отсчета.

В стационарном режиме, если $t_0 \sim 10\,\tau$, то

$$\delta(J) = \frac{1}{\sqrt{2\tau}} \cdot \frac{1}{\sqrt{J}}. \tag{10}$$

Будем считать, что аномалия уверенно выделяется на фоне шумов, вызванных флюктуациями интенсивности гамма-излучения, если вероятность совпадения амплитуд аномалии ΔJ и шума не превышает 0,3%. В этом случае

$$\delta(J) \leqslant \frac{1}{3} \cdot \frac{\Delta J}{J}.$$

Согласно формуле (9), минимальное значение τ, при которой флюктуации не превышают допустимого уровня,

$$\tau = \frac{9}{2} \cdot \frac{J}{(\Delta J)^2}. \tag{11}$$

Для уменьшения инерционных искажений постоянную времени интегрирующей цепочки можно уменьшить в 2—3 раза по сравнению с расчетной, если допустимо осреднение показаний прибора или записи на диаграммной ленте. Формула (11) определяет постоянную времени интегрирующей цепочки в режиме стационарных измерений. В условиях ГГК-П это соответствует измерениям против мощных однородных пластов, когда длина зонда значительно меньше мощности пласта. При измерениях против маломощных пластов дополнительные искажения

вносятся за счет инерционности интегрирующей ячейки. Согласно формулам (9) и (10), эта дополнительная ошибка равна [3]

$$\xi = -e^{-\frac{t_0}{\tau}}. \qquad (12)$$

Очевидно, что ее величина не должна превышать уровня флюктуаций.

При непрерывных измерениях инерционность аппаратуры накладывает ограничения на скорость каротажа v. Определим максимально допустимую скорость, исходя из условия, что погрешность измерения амплитуды аномалии за счет конечного времени t_0 не превышает величины флюктуаций. Для упрощения будем считать, что аномалия имеет прямоугольную форму, а ее ширина равна ширине «плато» [1].

Это упрощение не является ограничивающим, поскольку возрастание интенсивности на крыльях аномалии идет по экспоненте, а ширина основания аномалии больше плато на длину зонда.

Время нахождения зонда против пласта равно времени измерения

$$t_0 = \frac{|h - R|}{v},$$

и, следовательно,

$$v = \frac{1}{\tau}\left|\frac{h - R}{\ln\left(\frac{1}{3}\cdot\frac{\Delta J}{J}\right)}\right|. \qquad (13)$$

Величины J и ΔJ в выражениях (11) и (13) рассчитываются, исходя из результатов эталонирования аппаратуры и заданных h, ρ_1 и ρ_2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арцыбашев В. А. Гамма-метод измерения плотности. Атомиздат, 1965.
2. Арцыбашев В. А., Попов Э. П., Иванюкович Г. А. Об эталонировании аппаратуры гамма-гамма-каротажа на среде одной плотности. Вопросы разведочной геофизики, 1968, вып. 7.
3. Калашникова В. А., Козодаев М. С. Детекторы элементарных частиц. Наука, 1966.