Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XXXVI, 1978 г.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ

Н.В.СЕМЕВСКАЯ, А.А.ВОЛЧЕНКО

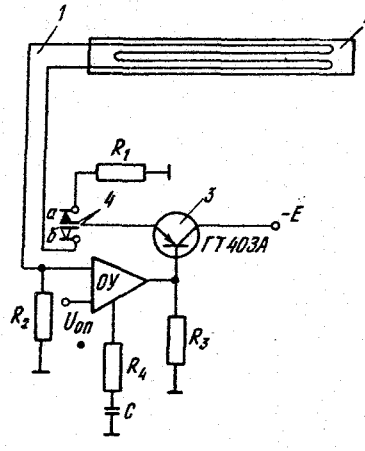


Рис.1. Принципиальная схема источника теплового импульса

При измерении теплофизических свойств горных пород методом тепловой волны в исследуемый материал вводят два зонда: источник теплового импульса и термочувствительный элемент; по изменению параметров тепловой волны определяют теплопроводность и температуропроводность материала. Кроме погрешности, вносимой неточностью определения расстояния между зондами, ошибка измерения обусловлена несовершенством теплового контакта, а также погрешностями определения энергии теплового импульса и экстремума температуры.

Предлагаемая конструкция теплового зонда и измерительная схема позволяют в значительной степени снизить погрешность измерения.

Источник теплового импульса в разработанной аппаратуре был выполнен в виде цилиндрического зонда 2, состоящего из зигзагообразного проволочного нагревателя I, помещенного в металлоэпоксидный компаунд (рис.I). Нагреватель через контакты реле времени 4 подключен к стабилизатору тока, который состоит из управляющего транзистора 3 и операционного усилителя ОУ. Один вход операционного усилителя подключен к эталонному резистору R_1, другой – к источнику постоянного напряжения. В нормальном состоянии контакты реле времени находятся в положении a и опорным напряжением $U_{оп}$ устанавливается требуемый ток через эквивалент нагрузки. Затем на время, определяемое выдержкой реле времени, к выходу стабилизатора тока подключается нагреватель. Сопротивление нагревателя, выполненного из константановой проволоки, практически не меняется от температуры в диапазоне 0–150°С, а стабилизатор тока исключает влияние проводов, поэтому стабильность энергии импульса определяется только стабильностью реле времени.

Зонд изготовить не сложно. Проволочный нагреватель помещается в стеклянную трубку диаметром 3-5 мм, предварительно погруженную в расплавленный парафин, и оставшееся пространство заполняется компаундом, состоящим из эпоксидной смолы и 50-70% алюминиевой пудры. Тепловой контакт зонда и среды достигается пастой из алюминиевой пудры и вазелина.

При изучении процессов распространения тепла в веществе используется известное уравнение[x]

$$\Delta Q = \lambda S \frac{\Delta \theta}{\Delta l} \Delta t , \qquad (I)$$

где ΔQ – количество тепла; S – площадь поперечного сечения стержня; Δl – его длина; Δt – время прохождения импульса; $\Delta \theta$ – разность температур на противоположных концах стержня; λ – теплопроводность.

Если в безграничной среде мгновенно подействует линейный источник тепла, который передаст среде Q калорий тепла на единицу длины, то в его окрестности возникает цилиндрическая температурная волна. Решение уравнения (I) в этом случае имеет вид

$$\theta(r,t) = \frac{Q}{4\pi c\rho k t} e^{-\frac{r^2}{4kt}} , \qquad (2)$$

где r – расстояние до линейного источника; t – время; k – температуропроводность.

Если равенство (2) продифференцировать по времени t, то из условия экстремума отклонения температуры $\dot{\theta} = 0$ можно найти время достижения максимальной температуры $t_{\theta\, max}$ на любом данном расстоянии r от источника:

$$t_{\theta\, max} = \frac{r^2}{4k} . \qquad (3)$$

На практике дифференцирование обычно производится графически по данным измерения, поэтому абсцисса точки θ_{max} определяется с невысокой точностью.

Предложенный метод измерения лишен этого недостатка, так как позволяет запоминать экстремум и фиксировать импульс по первой производной. На рис.2 показана схема измерения приращения температуры и времени экстремума температурной волны, состоящая из измерительного моста, масштабного усилителя 2, дифференцирующего усилителя 5, счетчика импульсов 6-9 и фиксатора максимума 3, 4. Термочувствительный элемент I выполнен на транзисторе, что позволило получить высокую линейность в большом диапазоне температур при чувствительности 2,5 мВ/град. Детектор максимума выполнен по схеме эмиттерного повторителя 3, заряжающего через диод кон-

[x] Исследование горного давления геофизическими методами. М., Наука, 1967.

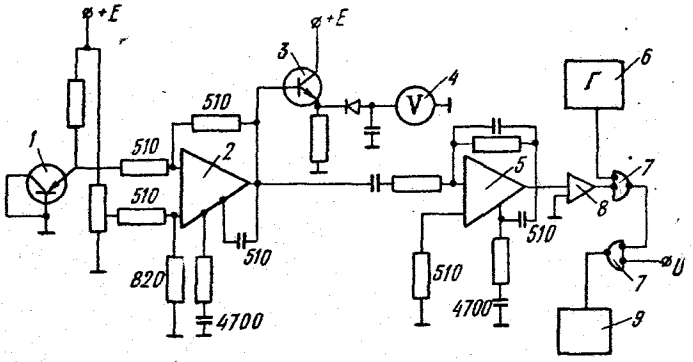


Рис.2. Принципиальная схема измерителя

денсатор, напряжение на котором измеряется вольтметром 4 на полевых транзисторах, что позволяет сохранить показания по IO мин.

Одновременно с подачей теплового импульса на вход вентиля подается управляющее напряжение, и хронирующие импульсы с генератора поступают на трехкаскадный счетчик импульсов. При достижении температурной волной экстремума напряжение на входе дифференцирующего усилителя, пропорциональное первой производной температуры, становится равным нулю. Компаратор переключается и второй вентиль переходит в непроводящее состояние – на счетчике фиксируется число хронирующих импульсов, пропорциональное времени. Вентили и счетчик собраны на расширенной логике I55 серии ЦБ553 и ЦБI55И3, индикация осуществляется с помощью миниатюрных лампочек накаливания и ключей ЦБI58 в АВС коде. Компаратор и усилители собраны на микросхемах IУТ53IБ. Схема сброса на рис.2 не показана.

Благодаря улучшению теплового контакта и приближению теплового источника к идеальному удалось повысить воспроизводимость результата измерения, а применение при измерении запоминания экстремума и фиксирования импульса по первой производной значительно упростило методику измерения и уменьшило погрешность.