

УДК 622.552.1:536.6:006.354

Г.Г. Каркашадзе, Д.В. Шергин, В.А. Луняков, Д.О. Банников

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ
ТЕПЛОЕМКОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА
ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД
МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО НАГРЕВА В ЛАБОРАТОРНЫХ
УСЛОВИЯХ**

Представлена методика определения тепловых свойств горных пород теплопроводности, теплоемкости и теплопроводности методом импульсного нагрева. Выполнено компьютерное моделирование процесса и предложен метод измерений в лабораторных условиях.

Ключевые слова: методика, температуропроводность, теплоемкость, теплопроводность, моделирование теплопередачи.

Для определения удельной теплоемкости и коэффициента температуропроводности горных пород известен ГОСТ 25493—82, реализующий метод периодического нагрева [1]. Метод основан на использовании линейных участков временного изменения температуры в одномерной пластине, реализующихся при периодическом нагреве вводимой в образец горной породы мощности источника нагрева. Для измерений пластину толщиной 5—10 мм, на одной поверхности которой задан периодически изменяющейся тепловой поток, формируемый путем периодического включения и выключения электрического нагревателя постоянной мощности. Противоположная поверхность пластины охлаждается в режиме конвективного и лучистого теплообмена с окружающей средой. Принципиальная тепловая схема и конструктивная схема установки представлена на рис. 1.

Экспериментальная установка, изображенная на рис. 1, содержит исследуемые образцы горных пород 1, ме-

жду которыми помещают плоский нагреватель 2. Прижимной винт 3 служит для фиксации образцов 1 игольчатыми держателями 6. На поверхности образцов закреплены термомпары 5. Миллиамперметром 8 и вольтметром 9 фиксируют ток и напряжение, подаваемое на нагреватель. В установке предусмотрено реле 7, осуществляющее периодическое включение и выключение. Изменение температуры во времени записывают с помощью электронного термометра 4.

Для расчета тепловых свойств по ГОСТ 25493-82 рекомендована простая формула, учитывающая толщину пластины и длительность интервала нарастания температуры противоположной поверхности образца до максимума относительно момента выключения нагревателя. В соответствии с базовой методикой все измерения следует производить в установившемся режиме теплообмена, когда максимальная и минимальная температура поверхности образца не изменяется на следующих циклах теплообмена.

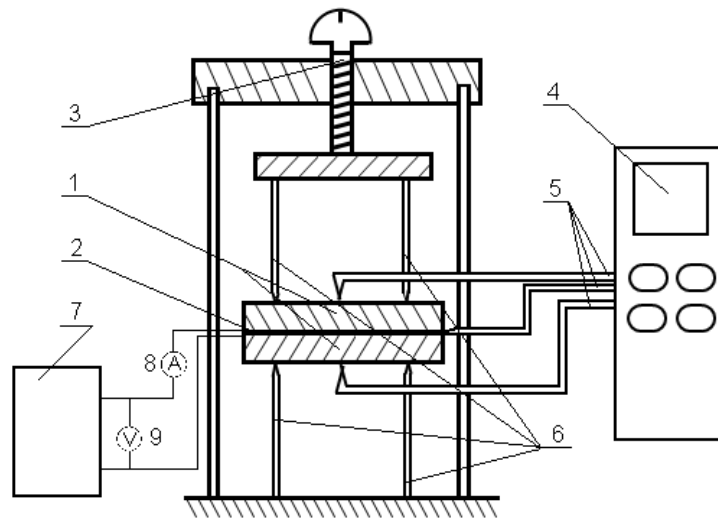


Рис. 1. Установка для определения тепловых свойств горных пород

Однако реализация базовой методики испытаний связана с погрешностью измерений, поскольку момент наступления установившегося режима теплообмена однозначно не регламентирован. К тому же формирование непрерывного потока температурных волн от источника тепла до противоположной поверхности приводит к суперпозиции тепловых потоков и, соответственно, неравномерному и нелинейному распределению температуры вдоль толщины образца, что в конечном итоге приводит к погрешностям измерений. Компьютерное моделирование процесса теплопередачи по базовой методике представлено на рис. 2, из которого очевидно проявляется отмеченный недостаток.

Компьютерное моделирование процесса теплопередачи базовой методики позволило выявить недостатки, влияющие на погрешность при определении удельной теплоемкости и коэффициента температуропроводности горных пород методом периодического нагрева.

Исходя из анализа результатов моделирования процесса теплообмена, нами сделан вывод о более высокой достоверности результата измерений, в случае если, в отличие от базовой методики периодического нагрева, использовать метод единичного импульсного нагрева одной поверхности образца с возможностью измерения времени до достижения максимума температуры на противоположной поверхности. Математическая формулировка данной задачи выглядит так [2]:

$$a \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\partial T(x, t)}{\partial t}; \quad (1)$$

$$T(x, 0) = T_0; \quad (2)$$

$$q(0, t) = q_0 (0 < t < t_0); \quad (3)$$

$$-\lambda \frac{\partial T(\delta, t)}{\partial x} = \alpha \{T(\delta, t) - T_0\}; \quad (4)$$

где a — коэффициент температуропроводности горной породы, $\text{м}^2/\text{с}$;

$$a = \frac{\lambda}{c\rho};$$

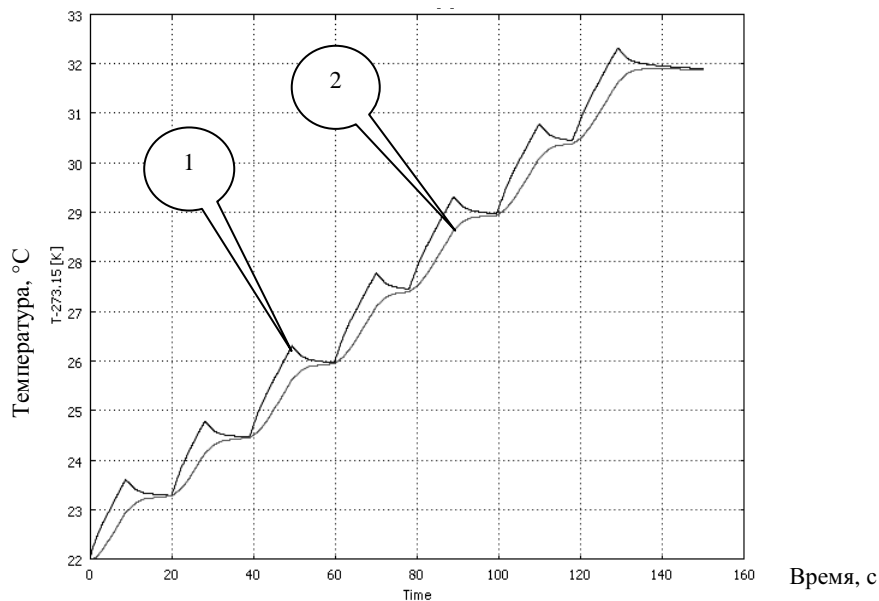


Рис. 2. Изменение температуры нагревателя и противоположной поверхности образца в методе периодического нагрева: 1 — температура нагревателя; 2 — температура обратной стороны образца. $\lambda = 5,3$ Вт/(м·К); $c = 750$ Дж/(кг·К); $\rho = 2600$ кг/м³; $T_0 = 22^\circ\text{C}$; $q_0 = 2,0$ кВт/м²; $t_0 = 10$ с; $\delta = 5 \cdot 10^{-3}$ м

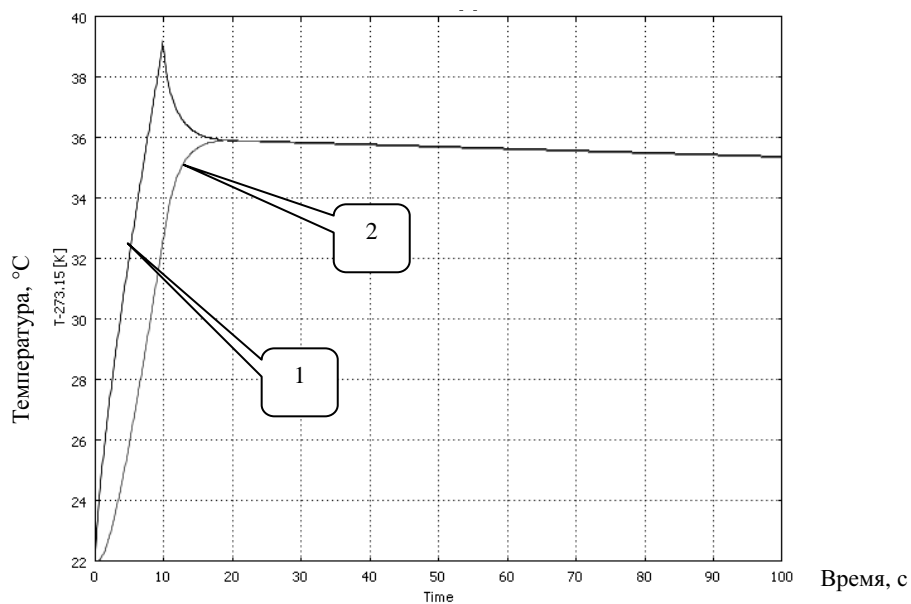


Рис. 3. Изменение температуры противоположной поверхности образца: 1 — температура нагревателя, 2 — температура обратной поверхности образца. $\lambda = 5,3$ Вт/(м·К); $c = 750$ Дж/(кг·К); $\rho = 2600$ кг/м³; $T_0 = 22^\circ\text{C}$; $\alpha = 5,6$ Вт/(м·К); $q_0 = 19,1$ кВт/м²; $t_0 = 10$ с; $\delta = 5 \cdot 10^{-3}$ м

где λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); c — теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ — плотность, кг/м³; $T(x, t)$ — распределение температуры в образце; x, t — координата и время; T_0 — начальная температура образца, равная температуре внешней среды; q_0 — тепловой поток, действующие импульсно в течение времени ($0 < t < t_0$) Вт/м²; α — коэффициент теплоотдачи воздуха на обратной стороне образца, Вт/(м²·К); δ — толщина образца, м.

Реализация предлагаемого принципа импульсного источника тепла приводит к более достоверному результату. Это видно из рис. 3, где представлен результат решения уравнения теплопроводности (1) при указанных краевых условиях (2, 3, 4). Однозначно определяется момент достижения максимальной температуры при неко-

торых теплофизических свойствах. Далее, имея компьютерные средства решения уравнения теплопроводности следует перебором тепловых свойств (теплоемкость и коэффициент теплопроводности) в заданном диапазоне их значений определить именно те значения, которые с наибольшей достоверностью вписываются в экспериментальный результат.

Очевидно, надежным критерием достоверности при выборе определяемых экспериментально значений является среднее квадратичное отклонение теоретической и экспериментальной зависимостей вблизи экстремума.

Предлагаемая методика определения тепловых свойств отличается оперативностью, высокой достоверностью измерений и простотой практической реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 25493-82 «Метод определения удельной теплоемкости и коэффициента температуропроводности».

2. Лыков А.В. Теория теплопроводности. — М. — 1967. — 599с. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Каркашадзе Георгий Григорович — профессор, доктор технических наук,

Шергин Д.В. —

Луняков В.А. —

Банников Д.О. —

Московский государственный горный университет,
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru

