

УДК 622.831:622.537.86

Э.П. Фельдман, Я.И. Грановский, Е.А. Винник, Н.А. Калугина

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ И РАЗМЕРА ПОР НА ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ УГЛЯ

Институт физики горных процессов НАН Украины

С использованием гидродинамической аналогии найдена зависимость электросопротивления угольной пластины от общей пористости и размера пор.

Ключевые слова: пористость, электросопротивление, уголь

Вопрос о пустотах в структуре угольного вещества имеет важное научное и практическое значение, поскольку является определяющим в проблеме газоносности угольных пластов.

Одним из методов определения пористости (и размера пор) угольного вещества может служить метод, основанный на измерении электросопротивления угля как проводящего материала с порами. Для разработки такого метода построим теоретическую модель, которая в совокупности с экспериментом позволит получить значения плотности тока в каждой точке образца.

Рассмотрим угольную пластину толщиной d (рисунок), к краям которой приложена разность потенциалов. Считаем, что внутри пластины расположена пора радиусом R . Определим распределение потенциала и плотности тока в каждом месте образца. С этой целью для потенциала φ поля постоянного тока нужно решить уравнение Лапласа $\Delta\varphi = 0$ при следующих граничных условиях:

$$\varphi(0) = \varphi_1, \quad \varphi(d) = \varphi_2, \quad \left. \frac{\partial\varphi}{\partial n} \right|_{\text{на поре}} = 0.$$

Последнее условие означает, что ток не течет внутри поры, а обтекает ее.

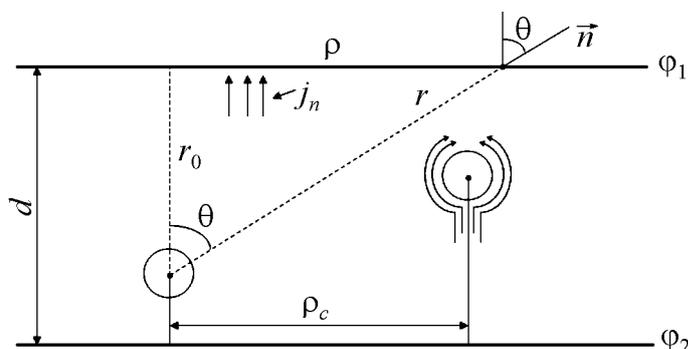


Рис. Схема распределения тока в пластине с порами: φ_1, φ_2 – потенциалы; r – радиус-вектор; R – радиус поры; \vec{n} – единичный вектор вдоль r ; ρ_c – среднее расстояние между порами

Задача протекания стационарного тока полностью аналогична задаче о потенциальном течении несжимаемой жидкости, обтекающей сферу. Воспользуемся этой аналогией.

Для сферы радиуса R добавочная скорость равна [1]:

$$\vec{v} = \frac{R^3}{2r^3} [3\vec{n}(\vec{u}\vec{n}) - \vec{u}],$$

где \vec{u} – скорость потока вдали от поры. Её нормальная компонента на поверхности пластины выражается через геометрические характеристики (см. рисунок):

$$v_{\perp} = \frac{R^3 u}{2r^3} [3\cos^2 \theta - 1].$$

Поскольку препятствие потоку создается не одной, а множеством пор, следует ввести величину N – количество пор в единице объема. Эта величина связана с пористостью материала γ соотношением

$$\gamma = N \frac{4}{3} \pi R^3.$$

Определим среднюю добавочную скорость потока, умножив исходное выражение на N и проинтегрировав его по объему, считая распределение пор равномерным. При этом достаточно учесть вклад только тех пор, которые находятся на расстоянии ρ_c от места, где ищем плотность тока (см. рисунок). Этот размер равен среднему расстоянию между порами. Очевидно, что $\rho_c = R\gamma^{-1/3}$.

Итак,

$$v_{\text{ср}} = \int N v_{\perp} dV = \frac{3}{4\pi} \gamma u \int_0^d r_0 \cdot 2\pi \int_0^{\rho_c} \rho d\rho \frac{3\cos^2 \theta - 1}{r^3}.$$

Вычислив интегралы, получим формулы для средней добавочной скорости

$$v_{\text{ср}} = \frac{3}{2} \frac{\gamma u}{\sqrt{1 + \frac{\rho_c^2}{d^2}}}$$

и полной плотности тока в каждом месте образца

$$j = j_0 \left(1 - \frac{3}{2} \frac{\gamma}{\sqrt{1 + \frac{R^2}{\gamma^{2/3} d^2}}} \right).$$

Напомним, что γ – пористость материала, d – толщина образца, j_0 – плотность тока в отсутствие пор. Наш результат означает, что ток зависит от этих трех параметров.

Рассмотрим предельные случаи:

1) толстая пластина: $d \gg R\gamma^{-1/3}$. В этом случае плотность тока в каждом месте образца составит

$$j = j_0 \left(1 - \frac{3}{2} \gamma \right),$$

а относительное сопротивление будет пропорционально пористости;

2) тонкая пластина: $d \ll R\gamma^{-1/3}$. При этом полная плотность тока в каждом месте образца составит

$$j = j_0 \left(1 - \frac{3}{2} \gamma^{4/3} \frac{d}{R} \right),$$

т.е. относительное сопротивление образца будет зависеть не только от общей пористости, но и от размера пор.

Таким образом, относительное изменение сопротивления образца определяется не только пористостью, но и размером пор и толщиной образца. При фиксированной пористости больший вклад в изменение сопротивления дают малые поры. Измеряя сопротивление, можно найти как пористость образца, так и усредненный размер пор.

1. Ландау Л.Д. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – Т. VI. – М.: Гостехтеоретиздат, 1953. – 788 с.
2. Гринберг Г.А. Избранные вопросы математической теории электрических и магнитных явлений / Г.А. Гринберг. – М.–Л.: Изд. АН СССР, 1948. – 727 с.

Е.П. Фельдман, Я.Й. Грановський, О.О. Вінник, Н.О. Калугіна

ВПЛИВ ПОРИСТОСТІ І РОЗМІРУ ПОР НА ЕЛЕКТРООПІР ВУГІЛЛЯ

З використанням гідродинамічної аналогії знайдено якісну залежність електроопору вугільної пластини від загальної пористості і розміру пор.

Ключові слова: пористість, електроопір, вугілля

E.P. Feldman, Ya.I. Granovskiy, E.A. Vinnik, N.A. Kalugina

INFLUENCE OF POROSITY AND SIZE OF PORES ON THE ELECTRICAL RESISTANCE OF COAL

The dependence of electrical resistance of a coal sheet on the total porosity and pore size is derived based on the hydrodynamic analogy.

Keywords: porosity, electrical resistance, coal

Статья поступила в редакцию 16 марта 2010 года