

УДК 553.98

А.В. Дахнов, И.Б. Крюкова

## Повышение достоверности определения коэффициента открытой пористости газоволюметрическим пикнометром «Поромер»

### Ключевые слова:

пористость, коэффициент пористости, газоволюметрический способ, жидкостенасыщение, гидростатическое взвешивание, плотность.

### Keywords:

porosity, porosity coefficient, gas-volumetric method, liquid saturation, hydrostatic weighing, density.

Пористость – одна из основных характеристик горных пород, определяющих запасы углеводородов. В практике исследования kernового материала определение коэффициента открытой пористости проводят несколькими способами – жидкостенасыщением (способ Преображенского) и газоволюметрическим способом. Каждый из них имеет как преимущества, так и недостатки.

Определение коэффициента открытой пористости газоволюметрическим способом ( $K_{noz}$ ) рекомендуется проводить по гелию, молекулы которого обладают значительно меньшими размерами в сопоставлении с молекулами воды или керосина и, соответственно, более высокой проникающей способностью. Это свойство молекул гелия предопределяет завышение пористости, определенной газоволюметрическим методом, по сравнению с пористостью, установленной жидкостенасыщением (по воде,  $K_{noz}(K_{нов})$ ):  $K_{noz} > K_{noz}(K_{нов})$ .

Рассмотрим преимущества и недостатки определения коэффициента открытой пористости на примере газоволюметрического пикнометра «Поромер», изготавливаемого ООО «ЭкогеосПром», который позволяет оперативно определить на высушенных и взвешенных образцах  $K_{noz}$ , а также объемную ( $\delta_n$ ) и минералогическую ( $\delta_m$ ) плотности.

Как известно,  $K_{noz}$  представляет собой отношение объема пор ( $V_{пор}$ ) к объему породы (исследуемого образца) ( $V_{обр}$ ), т.е. для его расчета необходимо определить эти показатели:

$$K_{noz} = V_{пор} / V_{обр}. \quad (1)$$

Перед началом измерений прибор калибруют: определяют соответствие его показаний объему эталонного образца и в случае несоответствия измеренных и эталонных данных в прибор вводят сведения об объеме эталона, что позволяет скорректировать получаемые данные. В дальнейшем газоволюметрический пикнометр «Поромер» определяет объем скелета ( $V_{ск}$ ) (твердой фазы), помещенного в измерительную камеру объекта.  $V_{обр}$  рассчитывается по данным измерений размеров образца правильной геометрической формы (цилиндра и др.), что позволяет определить  $V_{пор}$  по разности  $V_{обр}$  и  $V_{ск}$ :

$$V_{пор} = V_{обр} - V_{ск}. \quad (2)$$

Знание массы высушенного образца ( $M_c$ ) позволяет дополнительно рассчитать плотностные характеристики образца –  $\delta_n$  и  $\delta_m$ :

$$\delta_m = M_c / V_{ск}, \quad (3)$$

$$\delta_n = \delta_m (1 - K_{noz}). \quad (4)$$

Выражения (1), (2) и (4) показывают, что результаты вычислений зависят от точности определения геометрических размеров объекта исследования.

При гидростатическом взвешивании  $V_{обр}$  определяют по потере массы насыщенного образца при погружении его в жидкость. Результаты определения объема не зависят ни от формы, ни от точности определения геометрических размеров исследуемого объекта.

Согласно требованиям [1, 2], образцы, на которых проводят стандартные исследования, должны иметь правильную геометрическую форму. Однако в процессе изготовления и работы возможно появление некоторых изъянов во внешней форме образца – непостоянства диаметра цилиндрика по высоте, овальности, небольших сколов и т.д. В таких случаях определение размеров образца штангенциркулем может привести к искажению его объема, а величины  $K_{по}$  и  $\delta_n$  ((1), (4)) будут отличаться в сторону завышения или занижения их истинных значений.

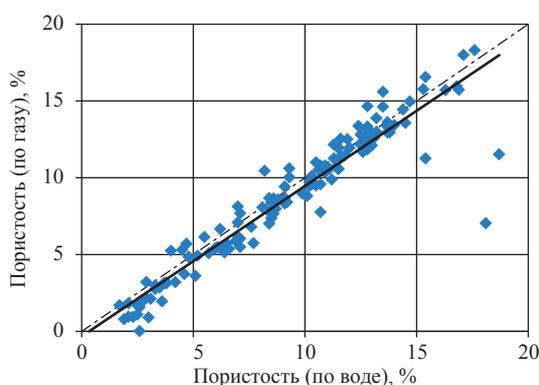
Большое преимущество газоволюметрического способа измерения  $K_{по}$  перед методом Преображенского выявляется при исследовании кавернозных пород с открытыми по поверхности образца полостями, из которых жидкость может вытекать под действием собственного веса еще до взвешивания, и при гидростатическом взвешивании определяется величина меньшая, чем внешний объем образца.

На рис. 1 приведено типичное сопоставление коэффициентов пористости, определенных по газу и воде. На поле сопоставления можно отметить точки как с  $K_{по з} > K_{по в}$ , так и с  $K_{по з} \leq K_{по в}$ . Получим:

$$K_{по з} = 0,98K_{по в} - 0,32$$

с показателем достоверности  $R^2 = 0,90$ .

Результаты сопоставления характеризуются значительным количеством образцов с занижен-

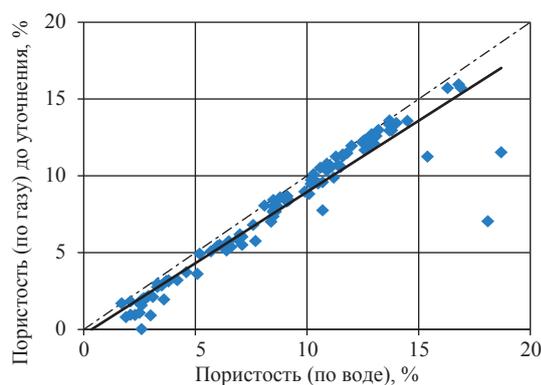


**Рис. 1. Пример сопоставления коэффициентов пористости, определенных по газу и воде**

ной пористостью, измеренной газоволюметрическим методом по сравнению с пористостью по воде ( $K_{по з} < K_{по в}$ ). Для слабоглинистых образцов такое занижение вызывает сомнения в достоверности полученных результатов.

Для более детального изучения результатов сопоставления  $K_{по з}$  и  $K_{по в}$  была сделана выборка образцов с  $K_{по з} \leq K_{по в}$  (рис. 2). Уравнение регрессии данной коллекции образцов описывается уравнением прямой:

$$K_{по з} = 0,93K_{по в} - 0,33; R^2 = 0,90.$$



**Рис. 2. Сопоставление величин коэффициентов открытой пористости, определенных по газу и воде, для образцов с  $K_{по з} \leq K_{по в}$  до внесения поправок за точность определения внешнего объема образца**

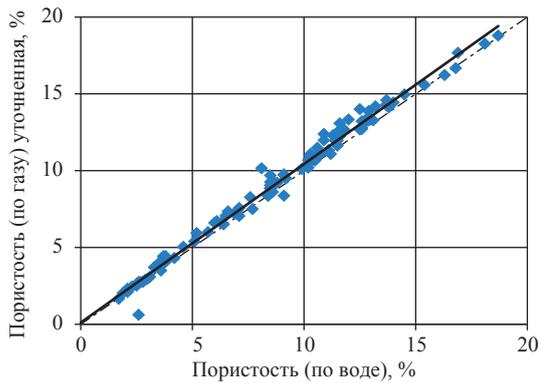
Уравнения двух графиков, представленных на рис. 1 и 2, отличаются в основном коэффициентом при  $K_{по в}$ , что объясняется условиями выборки образцов для сопоставления.

Если вместо  $V_{обр}$ , рассчитанного по геометрическим размерам образца, взять данные, полученные при гидростатическом взвешивании, то можно скорректировать получаемые результаты при газоволюметрическом определении пористости (рис. 3).

В результате внесения поправок в  $V_{обр}$ , рассчитанный по данным измерения длины и диаметра образца, и сопоставления  $K_{по}$  для выборки образцов, представленной на рис. 2, можно отметить, что точки расположились практически так, как это требуется исходя из свойств используемого газа.

Сопоставление, приведенное на рис. 3, имеет уравнение регрессии

$$K_{по з} = 1,03K_{по в} + 0,11; R^2 = 0,99.$$



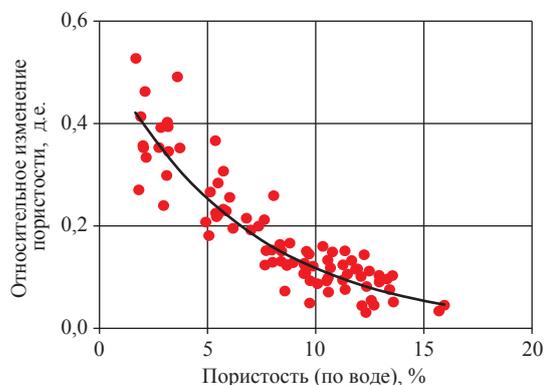
**Рис. 3. Изменение расположения образцов на поле сопоставления  $K_{noz}$  и  $K_{нов}$  по сравнению с рис. 2 в результате внесения изменений в объем образца, рассчитанный газоволюметрическим пикнометром «Поромер»**

Свободный член в уравнении показывает, что в среднем  $K_{noz} > K_{нов}$  и разность  $K_{noz} - K_{нов}$  составляет  $\sim 0,1$  абсолютных процента. Однако относительное изменение коэффициента пористости  $\Delta K_n = (K_{noz} - K_{нов}) / K_{noz}$  происходит по всему диапазону изменения величины пористости и становится тем значимее, чем меньше пористость (рис. 4). Сопоставление имеет экспоненциальный вид и описывается уравнением

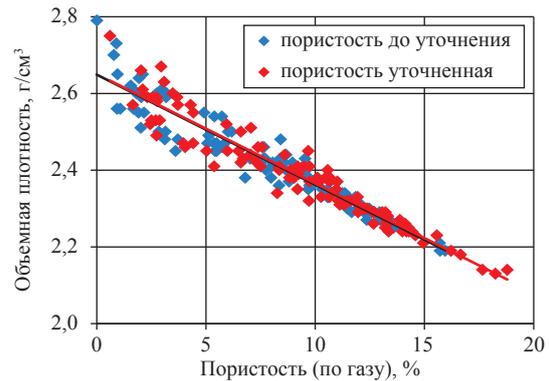
$$\Delta K_n = 0,55e^{-0,15K_{noz}}; R^2 = 0,80.$$

Уточнение величины  $K_{noz}$ , измеренного газоволюметрическим способом, позволяет повысить достоверность петрофизических связей, например  $\delta_n - f(K_{noz})$  (рис. 5).

На рис. 5 представлены зависимости  $\delta_n = f(K_{noz})$  до и после введения поправки в объем образца.



**Рис. 4. Зависимость относительного изменения пористости от величины коэффициента пористости по газу**



**Рис. 5. Зависимость  $\delta_n = f(K_{noz})$  до и после введения поправки в объем образца**

Уравнения регрессии и показатели достоверности показывают, что характер зависимости практически не изменяется (коэффициенты уравнения постоянны):

$$\delta_n 0,029K_{noz} + 2,65; R^2 = 0,907$$

(до внесения поправки в  $V_{обр}$ );

$$\delta_n 0,029K_{noz} + 2,65; R^2 = 0,923$$

(после внесения поправки в  $V_{обр}$ ),

но достоверность возрастает с 0,907 до 0,923.

Это вполне объяснимо, так как объемная плотность рассчитывается через  $K_{noz}$  (4).

Таким образом, при измерении коэффициента открытой пористости газволюметрическим способом следует учитывать возможные погрешности в результатах определений и вводить поправки в величины  $K_{noz}$  и  $\delta_n$  после насыщения образцов жидкостью и определения  $K_{noz}$ .

### Список литературы

1. ГОСТ 26450.0-85 Породы горные. Общие требования к отбору и подготовке проб для определения коллекторских свойств. – М.: Изд-во стандартов, 1985.
2. ГОСТ 26450.2-85. Породы горные. Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации. – М.: Изд-во стандартов, 1985.
3. Гудок Н.С. Определение физических свойств нефтеводосодержащих пород / Н.С. Гудок, Н.Н. Богданович, В.Г. Мартынов. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2007.