

**ЗАВИСИМОСТЬ ПРОНИЦАЕМОСТИ ОТ НАПРЯЖЕНИЙ В РЕГУЛЯРНО-БЛОЧНЫХ ГЕОСРЕДАХ  
С КОНТРАСТНЫМИ ФИЛЬТРАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ  
ПО ДАННЫМ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

**Л. А. Назаров\*, Л. А. Назарова**

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск, Россия*

*\*E-mail: mining1957@mail.ru*

*Введение.* Промышленная добыча метана из угольных пластов, захоронение газообразных отходов производства в природных формациях, обоснование схем вскрытия и разработки нефтегазовых залежей – вот далеко не полный перечень проблем, для решения которых необходимы данные о фильтрационно-емкостных свойствах пород-коллекторов, слагающих продуктивную толщу. Последняя во многих случаях имеет перемежаемую нарушениями слоистую структуру, обусловленную генезисом и «тектонической историей» месторождения. Здесь предложен и в лабораторных условиях апробирован метод определения зависимости проницаемости таких структур от напряжений по данным фильтрационных испытаний блочных образцов при движении флюида вкрест простирания нарушений сплошности.

*Модель эксперимента.* Движение флюида в модельном образце описывалось системой, включающей уравнение сохранения массы, закон Дарси и баротропное уравнение состояния газа (линейная зависимость плотности от давления). На внутренних границах (межблочные контакты) задавались условия непрерывности давления и расхода, боковые грани образца непроницаемы, а на торцах задано постоянное дифференциальное давление. Показано, что в такой постановке при стационарном режиме фильтрации система уравнений имеет аналитическое решение, с помощью которого выведена расчетная формула зависимости расхода  $Q$  на торце от параметров модели.

*Лабораторные испытания.* Для экспериментов использовался мелкозернистый песчаник с включениями карбонатных аккреций (порода-коллектор одного из нефтяных месторождений Западной Сибири), его модуль Юнга 0.92 ГПа, пористость 0.28 и проницаемость  $k = 1.4$  Д определялись по стандартным методикам. Были изготовлены пластины  $65 \times 75$  мм и толщиной  $H = 10$  мм, из которых компоновались блочные образцы. На первом предварительном этапе, по разработанной ранее методике [1], находилось уравнение состояния межблочных нарушений – зависимость конвергенции берегов  $W$  от нормального напряжения  $S$ , описываемая дробно-линейной функцией  $W(S) = AS/(B + S)$ , где эмпирические константы  $A = 49$  мкм и  $B = 0.11$  МПа определялись по результатам испытания образца из  $N = 6$  пластин.

На втором этапе блочный образец с изолированными резиновой манжетой боковыми гранями помещался в герметичную камеру, ортогонально нарушениям сплошности прикладывалось ступенчато нарастающее напряжение  $S(m)$  ( $m$  – шаг нагружения) и создавался перепад давления  $P(n)$  газа, регистрировался стационарный расход  $Q(m, n)$ . При этом раскрытость нарушений  $H$ , необходимая для интерпретации результатов фильтрационных испытаний, вычислялась с использованием эмпирической зависимости  $W(S)$ . Диапазоны варьируемых в эксперименте параметров:  $S(m) = 0.16, 0.32, \dots, 1.1$  МПа;  $P(n) = 0.05, 0.10, \dots, 0.13$  атм. По найденной аналитической зависимости  $Q(m, n)$  от  $k, N, H, P(n)$ , геометрических размеров блочного образца и вязкости воздуха рассчитывалась проницаемость нарушений сплошности  $K$  на каждом шаге нагружения  $m$ . Оказалось, что величина  $K$  обратно пропорциональна квадрату напряжения  $S(m)$ , приложенного перпендикулярно нарушению.

*Заключение.* Теоретически обоснован и практически апробирован метод, позволяющий установить зависимость проницаемости  $K$  межблочных нарушений от нормальных напряжений при движении флюида вкрест простирания последних. Это дает возможность количественно оценить транспортные характеристики блочных геосред с контрастными фильтрационными свойствами структурных элементов.

*Работа выполнена в рамках проекта НИР ИГД СО РАН  
(номер государственной регистрации 124020700085-5).*

### Литература

1. *Nazarov, L.A., Golikov, N.A., Skulkin, A.A. & Nazarova, L.A.* Method of experimental determination of deformation and flow characteristics in rocks with regular block structure. *MIAB. Mining Inf. Anal.* 2023. Bull. (11). P. 70–81.

## PERMEABILITY ON STRESS DEPENDENCE IN REGULAR-BLOCK GEOMEDIA WITH CONTRASTING FILTRATION PROPERTIES BY LAB TEST DATA

L. A. Nazarov\*, L. A. Nazarova

*Chinakal Institute of Mining of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia*

\*E-mail: [mining1957@mail.ru](mailto:mining1957@mail.ru)

**Introduction.** Industrial coalbed methane production, disposal of gaseous industrial waste in natural formations, and the substantiation of drilling and development plans for oil and gas deposits – this is far from a complete list of problems requiring data on the poroperm properties of reservoir rocks that make up the productive strata. The latter often exhibits a layered structure interspersed with faults. A method for determining the permeability of such structures as a function of stress is proposed and tested in the laboratory using filtration tests of block specimens when fluid flow across fault

**Experimental model.** Fluid flow in the specimen was described by a system including the continuity equation, Darcy's law, and the barotropic state equation for gas. Continuity of pressure and flow conditions were specified at the interblock joints, the side faces of the specimen were impermeable, and a constant differential pressure was specified at the ends. It was shown that in this formulation, under steady-state filtration conditions, the system of equations has an analytical solution, which was used to derive a calculation formula for the dependence of flowrate  $Q$  on the model parameters.

**Laboratory tests.** Fine-grained sandstone with inclusions of carbonate accretion was used for the experiments. Its Young's modulus of 0.92 GPa and permeability  $k = 1.4 D$  were determined using standard methods. Six plates (thickness of 10 mm) were manufactured to assemble block specimens. In the first stage, using approach, the joint state equation was found – the dependence of the edges convergence  $W$  on the normal stress  $S$ :  $W(S) = AS/(B+S)$ , where  $A$  and  $B$  are the empirical constants.

At the second stage, the block specimen with insulated side faces was placed in a chamber, a stepwise stress  $S(m)$  was applied orthogonally to the joints, a pressure drop  $P(n)$  of the gas was created, and the steady-state flow rate  $Q(m, n)$  was recorded. The joint opening  $H$ , necessary for the interpretation of the filtration test results, was calculated by  $W(S)$ . The ranges of the parameters varied in the experiment:  $S(m) = 0.16, 0.32, \dots, 1.1$  MPa;  $P(n) = 0.05, 0.10, \dots, 0.13$  bar. Based on the found analytical dependence of  $Q(m, n)$  on  $k, N, H, P(n)$ , the specimen geometric dimensions and the air viscosity, the joints permeability  $K$  was calculated at each loading step  $m$ . It turned out that  $K$  is inversely proportional to the square of the stress  $S(m)$  applied perpendicular to the joints.

**Conclusion.** A method for establishing the relationship between the permeability  $K$  of interblock joints and normal stresses during fluid flow across their strike has been theoretically substantiated and practically tested. This enables a quantitative assessment of the transport characteristics of block geomedia with contrasting filtration properties of structural elements.