

ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ НЕСЦЕМЕНТИРОВАННЫХ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ ОТ ИХ ВОДОНАСЫЩЕННОСТИ

И.И. Фадеева

Научный руководитель А.А. Дучков

Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Определение способности несцементированных песчаных грунтов пропускать сквозь себя газ в зависимости от степени насыщенности этих грунтов водой имеет практический интерес, например, при изучении процесса фильтрации двухфазной жидкости в пористой среде, процесса разложения газовых гидратов в пористой водонасыщенной породе. Исследователями проводились работы по изучению фильтрации газожидкостных смесей. Следует отметить результаты экспериментов Р. Викова и М. Ботсета, которые при изучении потока газожидкостной смеси через неконсолидированные пески установили соотношения между относительной фазовой проницаемостью для газа (жидкости) и насыщенностью пористой среды жидкой фазой [1].

Для нахождения эффективной газопроницаемости водонасыщенного песка была изготовлена специальная ячейка, в которой исследуемый образец песка подготавливался к измерениям. Лабораторные эксперименты проведены на установке измерения проницаемости по ГОСТУ 26450.2-85 [2] при нестационарной фильтрации.

Все параметры ячейки (масса, размеры) известны. Ячейка состоит из полого цилиндра заданной формы, в котором песок уплотнялся и насыщался водой, и двух крышек, с помощью которых подготовленный образец фиксировался с торцов. Подготовка образца осуществлялась по следующей схеме. С одного торца полый цилиндр перекрывался мелкой металлической сеткой (мельче размера зерен используемого песка), зажатой в натяжении с помощью одной из крышек ячейки. С открытого торца в полый цилиндр засыпался и уплотнялся до края сухой кварцевый песок. Далее открытый торец закрывался грубой тканью, обработанной водоотталкивающим спреем и зажатой в натяжении второй крышкой. Заполненная сухим песком ячейка взвешивалась и помещалась в вакуум-эксикатор с дистиллированной водой металлической сеткой вниз. Находясь наполовину в воде, ячейка с песком насыщалась водой под вакуумом 14 часов. После насыщения образец взвешивался. Пористость образца

определялась по формуле $\varphi = \frac{M_w \rho_s}{M_s \rho_w + M_w \rho_s}$, где M_s - масса сухого песка, M_w - масса воды в песке при 100% его насыщении водой, ρ_s , M_b - плотность кварца и воды соответственно. Далее металлическую сетку заменяли грубой тканью, обработанной водоотталкивающим спреем. Подготовленный таким образом образец взвешивался (M_b - масса образца до фильтрации через него воздуха) и помещался в кернодержатель лабораторной установки. Ось цилиндрического кернодержателя в одних экспериментах располагалась горизонтально, в других - вертикально. Скорость фильтрации определялась из известного объема воздуха, прошедшего через образец за измеренный отрезок времени при переменной разности давлений на выходе-входе образца. С помощью вакуумного насоса воду в двухтрубном пьезометре с известными характеристиками поднимали до уровня выше реперного, после чего с помощью переключателя пьезометр соединялся с кернодержателем, образуя перепад давления, вода под действием собственной силы тяжести затягивала воздух через исследуемый образец. Исходя из известных характеристик пьезометра, измеренного времени падения столба воды между реперными уровнями, определялся перепад давления и объем газа, прошедшего через образец. Расчет коэффициента проницаемости производился по формуле:

$$k = \frac{C}{t} \cdot \frac{L}{F}, \quad (1)$$

где C - постоянный коэффициент, зависящий от геометрических размеров пьезометра и условий проведения опыта, рассчитан для разных реперных уровней и для температур от 20 до 30°C с шагом в 1°C по ГОСТу 26450.2-85; t [с] - время фильтрации в заданных пределах; L , F - длина и площадь поперечного сечения образца соответственно.

После измерения времени падения столба воды (расчета коэффициента проницаемости) ячейка с образцом извлекалась из кернодержателя и взвешивалась (M_a - масса образца после фильтрации через него воздуха).

Насыщенность образца водой для данного измерения определялась как: $S_w = (M_a - M_{dry})/M_w$, где M_{dry} - масса высушенного в ячейке песка. Далее ячейка с образцом снова помещалась в кернодержатель для очередного измерения проницаемости песка с уже меньшим водонасыщением. В процессе измерений водонасыщение S_w образца постепенно уменьшалось, сначала (когда насыщенность песка водой была >50%) за счет вытеснения воды воздухом, потом для уменьшения водонасыщенности образец постепенно высушивался.

Следует отметить, в начальных измерениях, когда насыщенность песка водой была больше 50%, при извлечении ячейки с образцом после фильтрации было видно, что малую часть воды из ячейки выдавило воздухом.

По массе, измеренной до и после фильтрации, определялось выброшенное количество воды $\Delta M = M_b - M_a$.

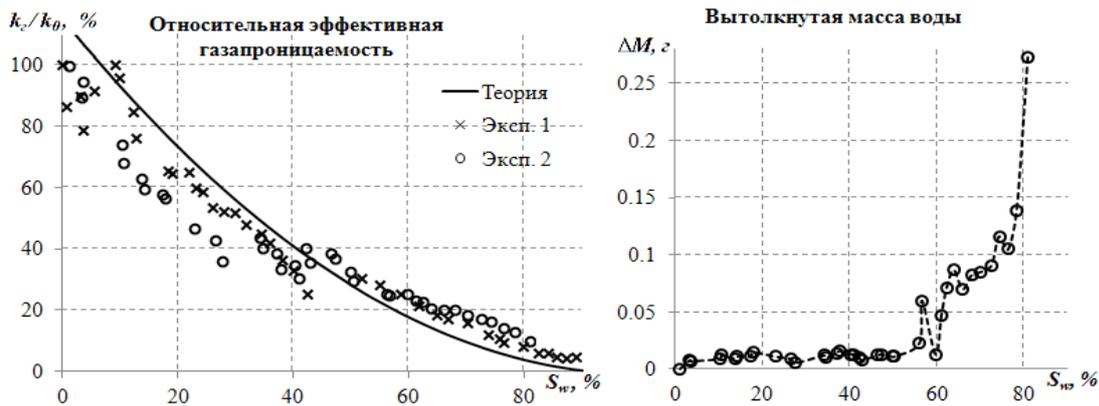


Рис. 1. Зависимость относительной эффективной газопроницаемости от насыщенности S_w для нецементированных песков (график слева). Зависимость вытолкнутой из образца массы воды от насыщенности S_w (график справа).

На графике слева (рис. 1) представлены результаты измерений относительной эффективной газопроницаемости двух образцов (Эксп. 1 и Эксп. 2), подготовленных по описанной ранее методике из одного и того же кварцевого песка. Измерения проницаемости первого образца (Эксп. 1) проводились на описанной ранее установке с вертикальным положением кернодержателя. При измерении проницаемости второго образца (Эксп. 2) ось цилиндрического кернодержателя располагалась горизонтально. Проницаемость исследуемого

сухого уплотненного песка составила $k_0 = 21.2$ арси. Экспериментальная зависимость относительной фазовой проницаемости для газа от степени насыщенности нецементированных песков жидкостью представлена на графике слева сплошной линией и выражена следующей формулой: $k_2/k_0 = 1.16 \cdot (1 - S_w)^2 - 0.01$ где k_0 -

эффективная проницаемость пористой среды по газу. Данная зависимость описана в учебнике Г.Б. Пыхачева на стр. 87 [3]. На графике справа представлена зависимость массы воды, вытолкнутой в результате фильтрации воздуха через образец, от степени насыщения песка водой. Для насыщенности больше 50% масса вытолкнутой воды заметно увеличивается, что связано, по всей видимости, с переходом из подвешенного состояния воды в порах к состоянию, когда для смачивающей фазы открывается непрерывный извилистый путь её движения [4].

Масса воды в песке при 100% его насыщении составила $M_w \approx 5.4$ г для образцов. При насыщенности песка водой выше 80% выброс воды заметно влияет на измерение проницаемости – проницаемость начала возрастать за счет дополнительного увеличения проходящего через образец объема газа, захваченного выброшенной водой.

В ходе экспериментов также было отмечено, что вода в песчаном образце заметно перераспределяется в вертикальном направлении, например, при горизонтальном расположении кернодержателя воздух проходил в основном в верхней части образца, там, где меньше воды, образуя при этом каналы (при повторной фильтрации скорость прохождения воздуха заметно увеличивалась).

Литература

1. Wyckoff R. D. and Botset H. G. The Flow of Gas-Liquid Mixtures Through Unconsolidated Sands // Physics, Vol. 7, Issue 9, Sept. 1936, p.325-345.
2. ГОСТ 26450.2-85 «Породы горные. Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации».
3. Пыхачев Г. Б. Подземная гидравлика: Учебник для нефт. вузов. / Под ред. Н.Д. Дубровина. - Москва: Гостоптехиздат, 1961. - 387 с.
4. Дорогиницкая, Л.М.; Дергачева, Т.Н.; Анашкин, А.Р. Количественная оценка добывных характеристик коллекторов нефти и газа по петрофизическим данным и материалам ГИС. – Томск: STT, 2007. - 276 с. ISBN: 5-93629-249-5.