

УДК 550.89:553.98

В. А. Мурцовкин

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАПИЛЛЯРНО-РЕШЕТОЧНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД

Для упрощения анализа получаемых результатов при расчете электрических и фильтрационных характеристик горных пород в качестве исходных данных использовались наиболее простые по форме модельные распределения пористости по размерам пор. Это распределения в виде треугольника, прямоугольника, полуэллипса и др. Представленные результаты иллюстрируют возможности модели для описания петрофизических свойств горных пород.

Ключевые слова: капиллярно-решеточная модель, распределение пористости, параметр пористости, проницаемость, закон Дахнова – Арчи.

Введение

В работе [3] была предложена капиллярно-решеточная модель горных пород, позволяющая рассчитывать их петрофизические характеристики по известному распределению пор по размерам. Наличие подобной модели дает целый ряд преимуществ при изучении горных пород, поскольку вместо реальной системы пор используется соответствующая ей капиллярная решетка, свойства которой можно эффективно оценивать, анализировать и прогнозировать. Соответствие модели изучаемому объекту основано на том, что для ее построения используется такое же распределение пор по размерам, какое было получено для исследуемой пористой среды.

Многообразие типов пород и особенностей структуры их порового пространства находит свое отражение в соответствующем многообразии видов распределений пористости по размерам пор. Это затрудняет анализ и понимание взаимосвязи этих распределений со свойствами пород. Для преодоления вышеуказанных трудностей целесообразно ограничить рассмотрение некоторыми наиболее простыми случаями. Проанализировать влияние особенностей структуры порового пространства на петрофизические свойства горных пород и установить общие закономерности можно, например, на модельных

распределениях пор по размерам, характер и особенности которых можно целенаправленно варьировать.

Цель настоящей работы – проиллюстрировать, как, располагая распределением пор по размерам, можно с помощью предлагаемой капиллярно-решеточной модели определить основные петрофизические характеристики пористой среды, следуя определенному алгоритму. Для большей наглядности получаемых результатов использовались распределения пор наиболее простой формы: в виде треугольника, прямоугольника, полуэллипса и др.

Такой подход позволяет установить общие закономерности влияния структуры порового пространства на такие характеристики, как электропроводность и фильтрация, и определить взаимосвязь этих параметров. Соответствие полученных таким образом результатов наблюдаемым на практике закономерностям может служить подтверждением возможности использования капиллярно-решеточной модели для оценки и прогнозирования свойств пористых сред и горных пород в частности.

Однорешеточная модель пористой среды

Наиболее полное описание используемой ниже модели представлено в работе [3], где было учтено, что в самом общем случае диапазон изменения размеров пор может быть достаточно широк и составлять несколько порядков. В этом случае модель будет включать в себя несколько разномасштабных капиллярных решеток, которые будут соответствовать группам пор, существенно отличающихся по размерам, как, например, в случае наличия в породе песчаной и глинистой фракций. В настоящей работе рассмотрение будет ограничено случаем однорешеточной модели, когда диапазон изменения размеров пор составляет примерно один порядок. Это позволит не только сократить необходимые вычисления, но и существенно упростит анализ полученных результатов.

Однорешеточная модель представляет собой трехмерную кубическую капиллярную решетку [3]. В свою очередь такую решетку можно представить состоящей из большого числа одинаковых по размеру кубических ячеек. При этом структура пор во всех ячейках также будет одинакова (в виде трех взаимно пересекающихся капилляров равного сечения), а отличие между ячейками будет заключаться лишь

в размерах соответствующих им капилляров. Распределение же размеров капилляров по ячейкам задается в соответствии с имеющимся распределением пор по размерам, которое может быть получено для исследуемой горной породы любым из существующих методов (ЯМР, ртутная порометрия, имидж-анализ шлифов и т. д.). В результате каждый единичный слой ячеек будет иметь такое же распределение пористости по размерам, как и весь объем модели в целом. Для упрощения расчетов будем считать, что капилляры имеют квадратное сечение. Размер всех ячеек, который обозначим через a , принимается равным максимальному размеру пор.

Чтобы иметь возможность проанализировать влияние характера распределения пористости на петрофизические свойства горных пород, рассмотрим несколько модельных видов дифференциального распределения пористости по размерам пор (рис. 1): в виде треугольника, полуэллипса, прямоугольника и двух полуэллипсов. Пусть всем распределениям для определенности соответствует одинаковый максимальный размер пор $\delta_{\max} = 20 \text{ мкм}$, который в свою очередь определяет размер кубических ячеек для модели $a = \delta_{\max}$. Таким образом, каждому из распределений, приведенных на рис. 1, будет

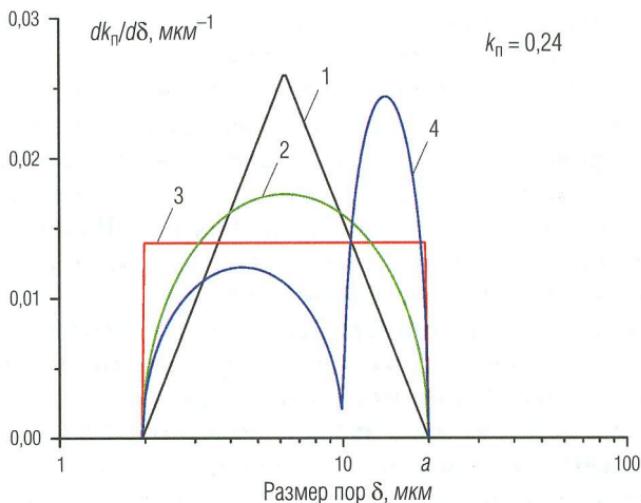


Рис. 1. Модельные дифференциальные распределения пористости по размерам пор: 1 – треугольник; 2 – полуэллипс; 3 – прямоугольник; 4 – два полуэллипса

соответствовать своим капиллярно-решеточная модель, но все они при этом будут иметь одинаковый размер кубических ячеек. Распределения, показанным на рис. 1, отвечает одинаковый коэффициент пористости $k_n = 0,24$, который равен площади под соответствующими кривыми распределения. Через δ на рис. 1 обозначен размер квадратного сечения капилляров, моделирующих реальные поры.

На практике распределение пористости обычно задается в виде набора из n пар значений Δk_{ni} и δ_i , где Δk_{ni} – доля коэффициента пористости, соответствующая порам с размером в интервале от $\delta_i - \Delta\delta_i/2$ до $\delta_i + \Delta\delta_i/2$, где $\Delta\delta_i = (\delta_{i+1} - \delta_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$. Величины Δk_{ni} можно найти из дифференциальных распределений пористости, подобных приведенным на рис. 1, по формуле

$$\Delta k_{ni} = \left. \frac{dk_n}{d\delta} \right|_{\delta=\delta_i} \cdot \Delta\delta_i. \quad (1)$$

Среди существующих современных методов получения распределения пор по размерам наиболее эффективным является метод ЯМР [2, 4, 9].

Рассмотрим, как строится однорешеточная модель, если известно распределение пористости Δk_{ni} по размерам пор δ_i . В работах [3, 5] показано, что само по себе распределение пор не отражает его влияние на такие характеристики горных пород, как электропроводность и фильтрация. Для них определяющую роль будут играть геометрические особенности сформировавшихся в породе каналов, по которым происходит движение жидкости и электрического тока. Пропускная способность таких каналов в значительной степени зависит от соотношения крупных и мелких пор. Влияние этих особенностей на процессы переноса, согласно [3, 5], можно учесть, если воспользоваться следующим алгоритмом.

Искомый параметр, например электропроводность или проницаемость, рассчитывается для двух контактирующих ячеек и умножается на вероятность такого контакта, которая равна произведению вероятностей для каждой из двух ячеек. Соответствующие вероятности находятся из имеющегося распределения пор по размерам [3]. Далее берется сумма таких произведений по всем возможным сочетаниям из двух ячеек и вычисляется средняя величина искомого петрофизического параметра. В общем случае описанный выше алгоритм можно представить в виде следующего соотношения:

$$X = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} \Delta f_i \Delta f_j, \quad (2)$$

где X – искомый петрофизический параметр (например, проводимость или проницаемость) для всей капиллярной решетки; x_{ij} – значение этого же параметра для двух соседних ячеек с размерами капилляров δ_i и δ_j соответственно. Величины Δf_i и Δf_j представляют собой вероятности того, что две случайным образом выбранные ячейки содержат капилляры с размерами δ_i и δ_j соответственно. Согласно [3], для этих вероятностей справедливо выражение

$$\Delta f_{i(j)} = a^3 \frac{\Delta k_{ii(j)}}{v_{i(j)}}, \quad (3)$$

где $v_{i(j)} = (3a - 2\delta_{i(j)})\delta_{i(j)}^2$ – объемы капилляров в i -й и j -й ячейках соответственно.

При построении модели по реальным распределениям пористости возможны два варианта заполнения ячеек капиллярами. В одном случае капилляры присутствуют во всех ячейках без исключения. При этом, согласно [3], будет справедливо равенство

$$\sum_{i=1}^n \Delta f_i = 1. \quad (4)$$

В другом случае характер распределения пор может быть таков, что их не будет хватать на то, чтобы заполнить все ячейки. Тогда для распределения вероятностей будет справедливо соотношение

$$\sum_{i=1}^n \Delta f_i = 1 - p, \quad (5)$$

где p – объемная доля ячеек, в которых капилляры отсутствуют, и они, таким образом, не будут участвовать в процессах электропроводности и фильтрации.

Далее на примерах простейших распределений (рис. 1) рассмотрим, как, располагая распределением пористости по размерам пор, можно с помощью капиллярно-решеточной модели, пользуясь алгоритмом (2), описывать и анализировать процессы электропроводности и фильтрации в горных породах.

Расчет электропроводности

Примеры использования модели для расчета электропроводности по реальным распределениям пористости можно найти в работах [3, 6, 7]. Рассмотрение этой же задачи на примере модельных распределений (рис. 1) упрощает анализ получаемых результатов и лучше иллюстрирует возможности модели.

Чтобы воспользоваться рассмотренным выше общим алгоритмом, описываемым соотношением (2), для расчета электропроводности породы необходимо знать проводимость двух контактирующих ячеек. Согласно [6], в случае однорешеточной модели сопротивление r_{ij} между центрами (узлами) двух контактирующих ячеек с размерами капилляров, соответственно, δ_i и δ_j , определяется по формуле

$$r_{ij} = \frac{a}{2\sigma_0} \left(\frac{1}{\delta_i^2} + \frac{1}{\delta_j^2} \right), \quad (6)$$

где σ_0 – удельная электропроводность жидкости, заполняющей капилляры. Соответствующая удельная электропроводность ячеек будет $\sigma_{ij} = 1/(a \cdot r_{ij})$. В результате, согласно (2), общую проводимость σ всей модели можно найти по формуле

$$\sigma = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{1}{r_{ij}} \Delta f_i \Delta f_j. \quad (7)$$

По формуле (7) были проведены расчеты параметра пористости $P_n = \sigma_0/\sigma$ для модельных распределений (рис. 1) при разных значениях коэффициента пористости k_n . Результаты этих вычислений приведены на рис. 2. Пунктиром показана зависимость P_n от k_n , полученная для однородной решетки капилляров, то есть когда все капилляры имеют одинаковый размер.

Полученные результаты показывают, что чем выше дисперсия распределения пористости, то есть чем больше разброс размеров пор относительно среднего размера, тем выше электросопротивление среды при одной и той же пористости. Минимальным сопротивлением обладает однородная решетка капилляров, для которой дисперсия равна нулю. Далее по мере увеличения дисперсии распределения располагаются в следующей последовательности: треугольник, полуэллипс, прямоугольник, два полуэллипса. Таким образом, согласно

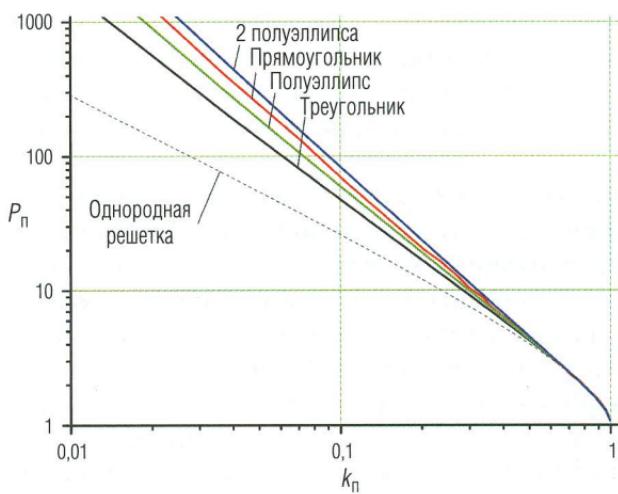


Рис. 2. Зависимости параметра пористости P_n от коэффициента пористости k_n , рассчитанные для модельных распределений пористости, представленных на рис. 1

рис. 2, увеличение разброса пор по размерам приводит к увеличению угла наклона зависимости P_n от k_n относительно оси абсцисс, то есть к росту сопротивления.

Следует также отметить, что пористые среды с одинаковыми коэффициентом пористости и средним размером пор могут иметь разное сопротивление. Это видно на примере распределений 1, 2 и 3 (рис. 1), которые имеют одинаковые пористость и средний (логарифмический) размер пор, но при этом, согласно рис. 2, обладают разным сопротивлением.

Приведенные выше результаты были получены в предположении, что поры присутствуют в каждой ячейке модели без исключения, то есть когда выполняется условие (4). На практике могут реализовываться случаи, когда в породе встречаются сравнительно крупные зоны, в которых поры отсутствуют. В этих случаях при построении капиллярно-решеточной модели следует пользоваться условием (5), тем самым учитывая наличие в породе непроницаемых зон в виде общей объемной доли ячеек p , в которых капилляры отсутствуют. Результаты расчета зависимостей P_n от k_n при разной объемной доле непроницаемых ячеек на примере эллипсоидального распределения

пористости (рис. 1, кривая 2) представлены на рис. 3. Соответствующие величины объемной доли ячеек p , в которых капилляры отсутствуют, указаны на рис. 3 для каждой кривой. Для сравнения пунктиром показана зависимость P_n от k_n для однородной решетки капилляров.

Результаты расчетов (рис. 2, 3) позволяют сделать следующие выводы, имеющие достаточно общий характер. Во-первых, одним из факторов, определяющих величину сопротивления пористой среды, является дисперсия распределения пористости по размерам пор. Чем больше дисперсия, то есть чем больше разброс пор по размерам, тем выше сопротивление при прочих равных условиях. Во-вторых, на величину сопротивления влияет наличие в пористой среде непропорциональных зон, то есть когда пространственное распределение пор становится неоднородным. При этом если увеличение дисперсии приводит к увеличению угла наклона зависимости P_n от k_n (рис. 2), то есть к росту параметра m в эмпирическом законе Дахнова–Арчи ($P_n = a/k_n^m$), то увеличение объемной доли непропорциональных зон вызывает параллельное смещение зависимости вверх (рис. 3), то есть увеличивает параметр a в этом законе. Таким образом, модель позволяет расшифровать физическую природу эмпирических констант m и a .

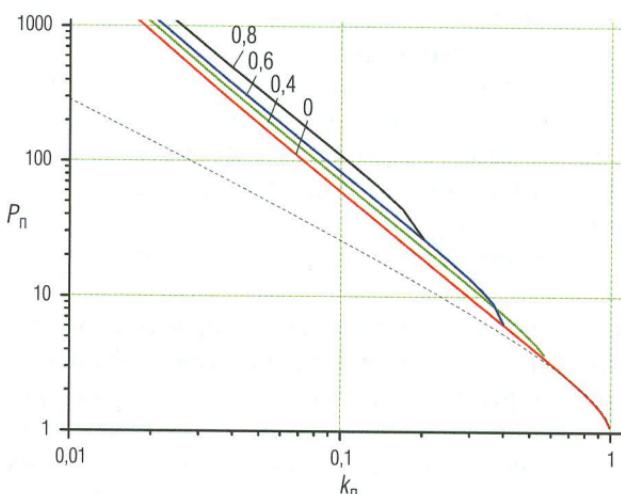


Рис. 3. Зависимости параметра пористости P_n от коэффициента пористости k_n при разной объемной доле непроницаемых ячеек p : 0; 0,4; 0,6 и 0,8

в законе Дахнова–Арчи, связанную, соответственно, с дисперсией размеров пор для m и неоднородностью распределения пор в объеме породы для a .

Приведенные выше результаты в обобщенном виде схематически представлены на рис. 4, где рассмотрены три варианта капиллярно-решеточной модели, отличающиеся распределением пор по размерам. Случай 1 соответствует однородной решетке капилляров, которой отвечает узкое распределение пористости Δk_{ni} по размерам пор δ_i в виде, близком к дельта-функции. При этом такая однородная капиллярная решетка, согласно зависимости P_n от k_n (рис. 4, кривая 1), обладает минимальным сопротивлением среди других возможных распределений с такой же общей пористостью k_n .

Случаю 2 соответствует эллипсоидальное распределение пористости. При этом капиллярная решетка считается завершенной, поскольку капилляры присутствуют в каждой ячейке. Наличие разброса в размерах капилляров приводит к увеличению сопротивления (кривая 2) относительно однородной решетки. И, наконец, случай 3 отражает ситуацию, когда при той же пористости, что и в двух предыдущих случаях, капилляры в некоторых ячейках отсутствуют. Это приводит к дополнительному росту сопротивления (рис. 4, кривая 3). При этом, чтобы обеспечить пористость, как в случае 2, распределение пористости Δk_{ni} становится более узким, но увеличивается по амплитуде. Чем больше объемная доля непроницаемых ячеек p , тем выше будет сопротивление. Кривой 3 для зависимости P_n от k_n соответствует $p = 80\%$.

Рассмотрим, как результаты расчетов электропроводности по модели соотносятся с традиционным подходом к решению этой задачи. Для описания электрических свойств горных пород обычно используется закон Дахнова–Арчи, в который входят две эмпирические константы. Одним из частных случаев, когда константы принимают значения $a = 1,13$ и $m = 1,73$, является формула Тимура, которая не плохо работает в случае песчаников [8]. На рис. 4 зависимость P_n от k_n , рассчитанная по формуле Тимура, показана штриховой линией. Видно, что результаты расчетов по модели, предложенной автором (для случая 2), и по формуле Тимура практически совпадают. При этом модель определяет сектор (рис. 4, кривые 1 и 3), в котором могут располагаться все возможные значения P_n , и определяет условия, при которых происходит отклонение от формулы Тимура в одну или в другую сторону.

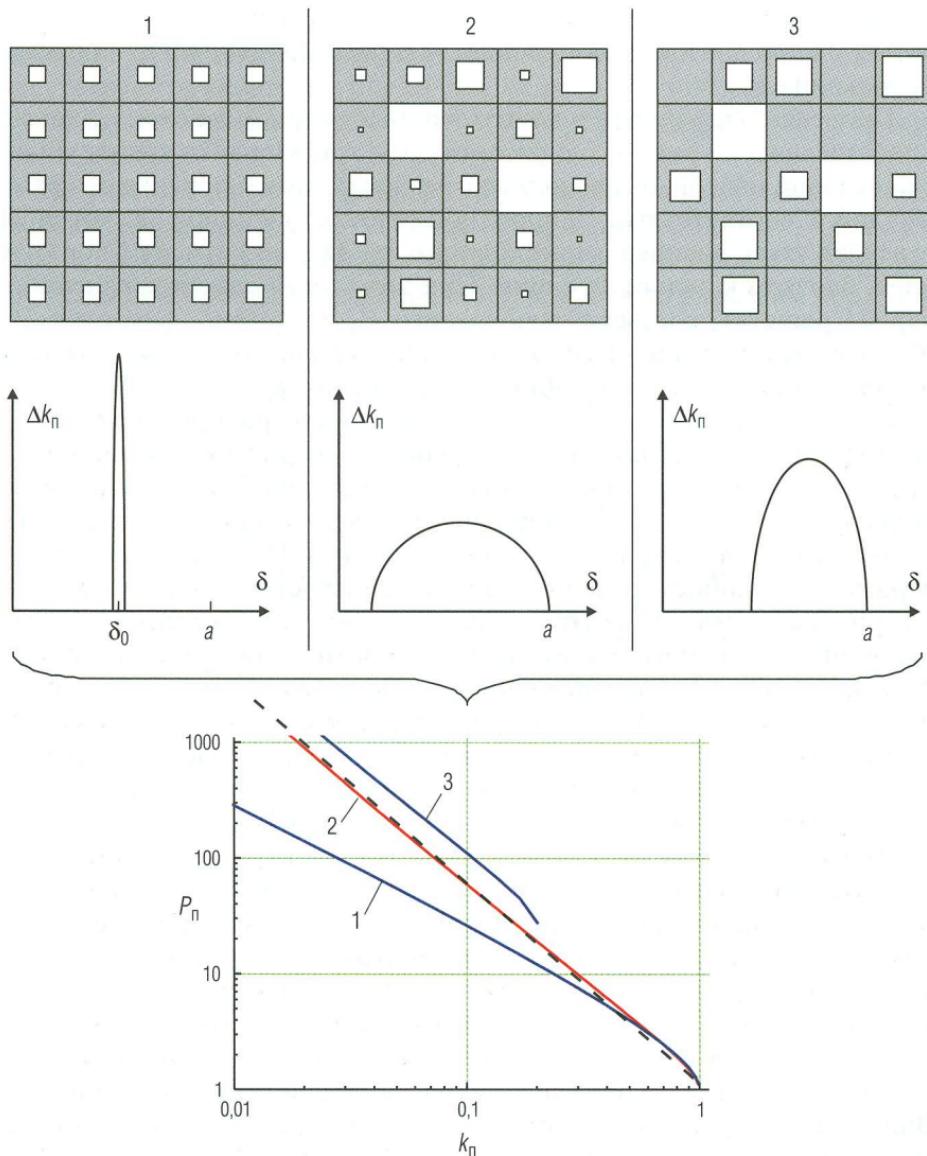


Рис. 4. Влияние особенностей распределения пор по размерам на электрические свойства модели: 1 – однородная решетка; 2 – неоднородная завершенная решетка; 3 – неоднородная незавершенная решетка. Штриховая линия – расчет по формуле Тимура

Сопротивление увеличивается, если в породе присутствуют крупные непроводящие обломки или растет разброс пор по размерам, и уменьшается, если распределение пор по размерам или их пространственное распределение становятся более однородными.

Опираясь на полученные результаты, можно сделать еще одно важное замечание. Иногда в области низких $k_{\text{пп}}$ наблюдают отклонение от закона Дахнова–Арчи в сторону занижения $P_{\text{пп}}$, которое обычно связывают с поверхностной проводимостью. Но согласно современной теории электроповерхностных явлений, роль поверхностной проводимости при минерализациях больше 4–5 г/л пренебрежимо мала [1]. С другой стороны, эффект занижения сопротивления в области малых $k_{\text{пп}}$ можно объяснить с помощью предлагаемой модели, не используя представления об особых свойствах воды вблизи поверхности пор. Действительно, если процесс формирования пластов горной породы происходил таким образом, что одновременно с уменьшением пористости за счет увеличения глинистых фракций размер пор становился более однородным, то параметр пористости $P_{\text{пп}}$ должен отклоняться от зависимости Тимура и приближаться к кривой 1 (рис. 4), соответствующей однородной решетке. В результате будет наблюдаться эффект, который обычно связывают с поверхностной проводимостью глин.

Расчет проницаемости

Как и в случае с электропроводностью, для иллюстрации возможностей предлагаемой модели при описании процессов фильтрации в горных породах воспользуемся распределениями, приведенными на рис. 1. Примеры использования модели для расчета проницаемости горных пород по реальным распределениям пористости приведены в работах [5, 7].

Для расчета проницаемости $k_{\text{пп}}$ в случае однорешеточной модели, согласно алгоритму (2), можно воспользоваться соотношением

$$k_{\text{пп}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij} \Delta f_i \Delta f_j, \quad (8)$$

где k_{ij} – проницаемость двух контактирующих ячеек с размерами капилляров δ_i и δ_j , соответственно. Используя результаты работы [5], можно показать, что

$$k_{ij} = \frac{0,07}{a^2} \left(\frac{1}{\delta_i^4} + \frac{1}{\delta_j^4} \right)^{-1}. \quad (9)$$

Отсюда, в частности, для однородной решетки, когда размер всех капилляров равен δ_0 , получим

$$k_{np} = 0,035 \frac{\delta_0^4}{a^2}. \quad (10)$$

Результаты расчета зависимости проницаемости от коэффициента пористости для трех видов распределений пор по размерам при $a = 20 \text{ мкм}$ представлены на рис. 5, откуда следует, что проницаемость слабо зависит от вида распределения при одинаковом максимальном размере пор, который определяет размер ячеек a .

Гораздо более сильной является зависимость проницаемости от максимального размера пор. На рис. 6 на примере эллипсоидального распределения пор по размерам (рис. 1, кривая 2) показаны зависимости проницаемости от коэффициента пористости при максимальном размере пор 10, 20, 40 и 100 мкм соответственно. На практике обычно изменение пористости сопровождается изменением

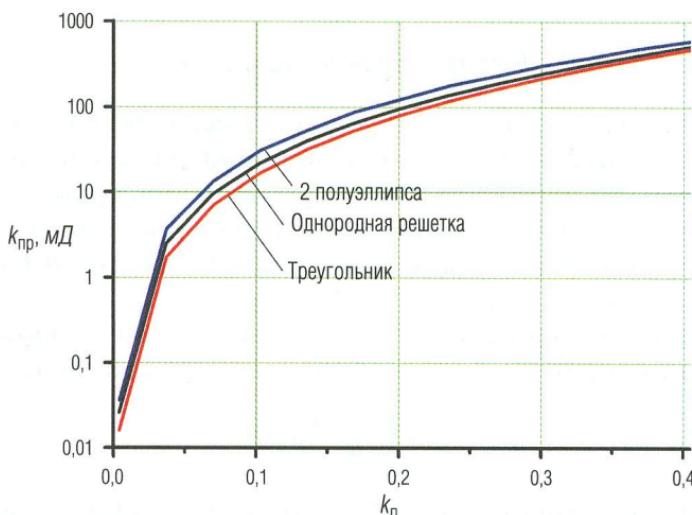


Рис. 5. Зависимости проницаемости k_{np} от коэффициента пористости k_n для трех типов распределения пористости по размерам пор

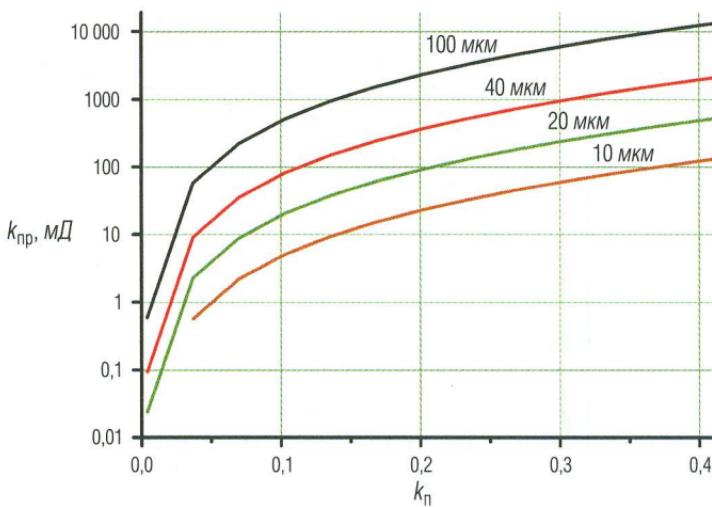


Рис. 6. Зависимости проницаемости $k_{\text{пр}}$ от коэффициента пористости $k_{\text{п}}$ для эллипсоидального распределения пористости по размерам пор при их размерах 10; 20; 40 и 100 мкм

максимального размера пор. В этом случае кривая, соответствующая зависимости проницаемости $k_{\text{пр}}$ от пористости $k_{\text{п}}$, будет пересекать набор кривых из нескольких зависимостей, подобных представленным на рис. 6.

Кроме того, модель указывает еще на один, неожиданный на первый взгляд, эффект. Если в породе есть непроницаемые зоны, то проводимость такой породы будет, как показано на рис. 3, уменьшаться. С другой стороны, аналогичные расчеты для проницаемости указывают на то, что проницаемость при этом будет увеличиваться. Результаты соответствующих расчетов проницаемости при разной объемной доле p непроницаемых ячеек представлены на рис. 7. Видно, что при фиксированной пористости увеличение p сопровождается ростом проницаемости, а не ее уменьшением, как это было в случае с электропроводностью. Этот эффект можно объяснить следующим образом.

Чтобы порода в присутствии непроницаемых зон имела ту же пористость, что и в их отсутствии, распределение пор, как следует из рис. 4 (случаи 2 и 3), должно стать более узким и сместиться в область более крупных пор. Основной вклад в поток жидкости Q вно-

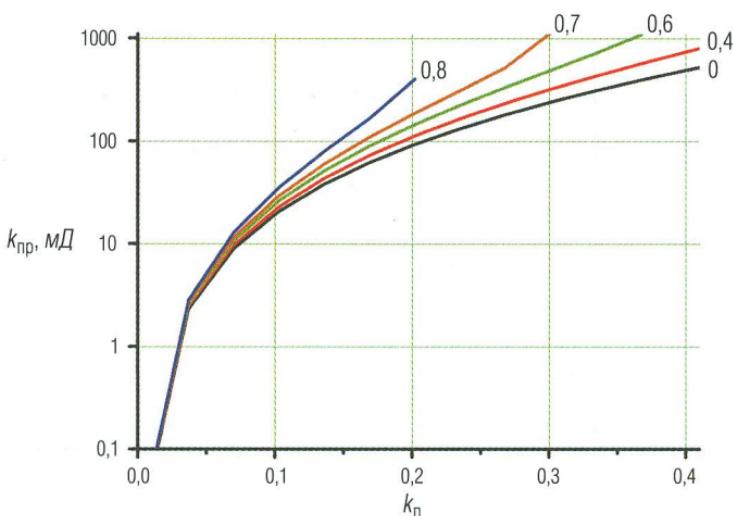


Рис. 7. Зависимости проницаемости $k_{\text{пр}}$ от пористости k_n для эллипсоидального распределения пористости по размерам пор при разных объемных долях непроницаемых ячеек p : 0; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8

сят наиболее крупные поры ($Q \sim \delta^4$), в отличие от проводимости ($\sigma \sim \delta^2$), для которой важны все поры. Именно за счет этого увеличение объемной доли непроницаемых зон при одинаковой пористости по-разному влияет на проницаемость и электропроводность: проницаемость растет, а электропроводность падает. Таким образом, уменьшение электропроводности породы при неизменной пористости не всегда однозначно указывает на ухудшение коллекторских свойств, поскольку фильтрующая способность породы при этом может улучшаться.

Заключение

Полученные результаты позволяют установить общие закономерности влияния структуры порового пространства на процессы переноса, такие как электропроводность и фильтрация. Эти результаты также определяют взаимосвязь параметров, характеризующих эти процессы, и могут служить подтверждением возможности использования модели для описания свойств пористых сред.

Важно, что для описания разных по своей физической природе процессов используется единая модель. Кроме того, для расчета

параметров, характеризующих эти процессы, используется единый алгоритм. Таким образом, все параметры оказываются взаимосогласованными в рамках одной модели. При этом модель не предполагает использование каких-либо эмпирических или подгоночных коэффициентов. Для ее работы достаточно знать только распределение значений пористости по размерам пор.

В принципе, использованная в настоящей работе однорешеточная модель пригодна также для расчета $k_{\text{пр}}$ и P_n в случае широких спектров пористости, которые в большинстве случаев имеют горные породы. При этом, поскольку для расчета проницаемости мелкие поры не важны, ее оценка будут практически точной, а P_n будет несколько завышен. Таким образом, с учетом этого замечания, вместо рассмотренных в работе в качестве примера модельных распределений могут быть использованы реальные распределения пористости. При этом учитывать следует лишь наиболее крупные поры, размер которых попадает в диапазон $(a/10) \leq \delta_i \leq a$. Наличием более мелких пор можно пренебречь. Алгоритм и формулы для расчетов петрофизических характеристик при этом останутся без изменений. Для более точных оценок следует пользоваться мультирешеточной моделью [3, 5].

Рассмотренная модель дает дополнительные методические возможности для изучения свойств пористых материалов и моделирования разнообразных процессов, вызываемых в них внешними воздействиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Духин С. С. Электропроводность и электрокинетические свойства дисперсных систем. Киев: Наукова думка, 1975.
2. Коатес Д. Р., Хуао Л. Ч., Праммер М. Д. Каротаж ЯМР. Принципы и применение. Хьюстон: Халибартон, 2001.
3. Мурцовкин В. А. Мультирешеточная модель для расчета характеристик пористых сред. Расчет электропроводности // Коллоидный журнал. 2009. Т. 71. № 5. С. 677–684.
4. Мурцовкин В. А., Топорков В. Г. Новая ЯМР-технология петрофизических исследований керна, шлама и флюидов // НТВ “Каротажник”. Тверь: Изд. АИС. 2000. Вып. 69. С. 84–97.
5. Мурцовкин В. А. Использование мультирешеточной капиллярной модели для расчета проницаемости по данным ядерно-магнитного резонанса // Коллоидный журнал. 2009. Т. 71. № 5. С. 685–692.

6. Мурцовкин В. А. Электропроводность пористых сред с двухфазным насыщением // Коллоидный журнал. 2013. Т. 75. № 1. С. 109–117.
7. Мурцовкин В. А., Зеленов А. С. Расчет электропроводности и проницаемости горных пород по данным ядерно-магнитного каротажа // НТВ “Каротажник”. Тверь: Изд. АИС. 2006. Вып. 2–4 (143–145). С. 108–120.
8. Тиаб Д., Дональсон Э. Ч. Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов. М.: ООО “Премиум Инжиниринг”, 2009.
9. Dunn K.-J., Bergman D. J., LaTorra G. A. Nuclear Magnetic Resonance. Petrophysical and Logging Applications. Pergamon, 2002.

УДК 550.832

В. Ю. Барляев

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ СПИНОВОГО ЭХА В ПРИБОРЕ ЯДЕРНО-МАГНИТНОГО КАРОТАЖА СИЛЬНОГО ПОЛЯ

Рассмотрены вопросы повышения отношения сигнал/шум при регистрации сигналов спинового эха в приборе ядерно-магнитного каротажа (ЯМК) сильного поля как аппаратными (анalogовые входные цепи), так и математическими (цифровая обработка сигналов) методами. Сравниваются различные схемы входных цепей приемника сигналов спинового эха и делается вывод о предпочтительности двухконтурной входной цепи. Сравниваются различные цифровые фильтры, применяемые для выделения сигналов спинового эха, и делается вывод о предпочтительности применения треугольного окна.

Ключевые слова: прибор ЯМК сильного поля, сигнал спинового эха, отношение сигнал/шум, цифровая обработка сигнала.

Приемник сигналов прибора ЯМК сильного поля можно разделить на две основные части: аналоговую и цифровую.

Аналоговая часть осуществляет электрическое согласование цепей зонда с входными цепями приемника и усиливает входные сигналы до уровня, необходимого для нормальной работы аналого-цифрового преобразователя (АЦП). При этом стабильность коэффициента передачи усилителя не является критичной, так как общий комплексный