

УДК 550.832

Ю. Л. Шейн, О. М. Снежко
ООО "Нефтегазгеофизика"

РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧ МЕТОДА СОБСТВЕННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ ПАЧКИ ПЛАСТОВ. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Дано решение прямой задачи собственной поляризации (ПС) в модели пачки пластов с зонами проникновения, пересеченной скважиной. На основе решения прямой задачи предложено решение обратной задачи ПС в пачке пластов. Приведены примеры обработки скважинных материалов.

Ключевые слова: каротаж, метод собственной поляризации, пачка пластов, численное решение, прямая и обратная задачи, программа обработки.

Несмотря на то что измерение потенциалов ПС горных пород было одним из первых методов исследования скважин, оно активно используется и развивается в настоящее время: реализованы зонды, регистрирующие не только потенциалы самопроизвольной поляризации, но и их первую и вторую производные [8]; получены новые аналитические решения для сред со скважиной [11], со скважиной и зоной проникновения [6], а также численные решения прямой задачи [6, 13]; развиваются методы обработки данных ПС, базирующиеся на использовании модели одиночного пласта [6, 13].

В данной работе дано решение прямой задачи ПС в модели пачки пластов с зонами проникновения, пересеченной скважиной. Проведено сравнение результатов решения прямой задачи с ранее полученными аналитическими [6, 11] и численными [13] результатами, а также с результатами моделирования на электроинтеграторах [4, 12]. На основе решения прямой задачи предложено решение обратной задачи ПС, заключающееся в поиске статических потенциалов пластов (сумм скачков потенциалов на границах пласта, скважины, зоны проникновения), минимизирующих невязку зарегистрированной и расчетной кривых ПС в пачке пластов. Решение обратной задачи реализовано в программе обработки данных ПС. Приведены примеры обработки скважинных материалов.

Рассмотрим решение прямой задачи ПС для данной модели среды (рис. 1). Пусть скважина диаметром d , заполненная промывочной

жидкостью (ПЖ) с удельной электрической проводимостью γ_c , нормально пересекает пачку из $N + 1$ пластов. Каждый пласт имеет зону проникновения ПЖ диаметром D_i ($i = 1, N + 1$). Пласт с номером i и зона проникновения ПЖ обладают удельной электрической проводимостью γ_{pi} и γ_{zni} соответственно. Будем считать, что потенциалы собственной поляризации горных пород создаются двойными электрическими слоями, расположенными на поверхностях раздела скважина – зона проникновения, зона проникновения – пласт и на поверхностях, разделяющих пласты. Будем оперировать величинами скачков потенциала, создаваемых двойными слоями на поверхностях раздела сред. Измеряется разность потенциалов между проводящим кольцом с координатой z , находящимся на стержне диаметра d_m , и бесконечно удаленной точкой.

Потенциал U электрического поля, создаваемого зарядами, описывается уравнением

$$\operatorname{div}(\gamma \nabla U) = -q, \quad (1)$$

где q – плотность зарядов.

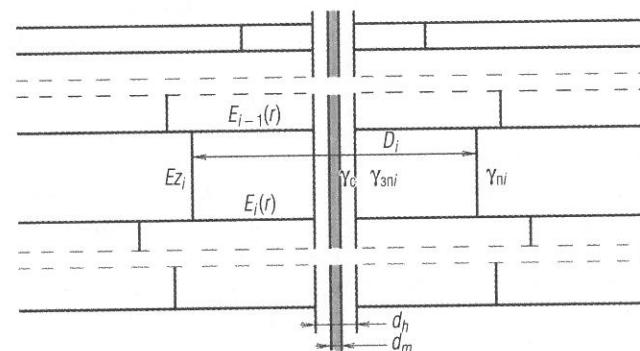


Рис. 1. Модель среды:

E_{si} , E_{zi} – скачки потенциала на границах скважина – зона проникновения и зона проникновения – пласт; $E_i(r)$ – скачок потенциала на границе i и $i + 1$ пласта; γ_c , γ_{pi} , γ_{zni} , D_i – удельная электрическая проводимость скважины, пласта и зоны проникновения; d , D_i – диаметр скважины и зоны проникновения i -го пласта

Введем цилиндрическую систему координат (r, φ, z) с осью Z , совпадающей с осью скважины и началом в точке Z_0 . Границы пла-

тов имеют координаты Z_i ($i = 1, N$). Пусть распределение зарядов на поверхностях раздела не зависит от азимутального угла φ . Тогда уравнение (1) в i -м пласте может быть представлено как

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \gamma(r) \frac{\partial u}{\partial r} + \gamma(r) \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = -q. \quad (2)$$

На границах пластов должны выполняться условия сшивки решений

$$\begin{cases} U(r)|_{z=z_i+0} = U(r)|_{z=z_i-0} + E_i(r) \\ \gamma_{i+1}(r) \frac{\partial}{\partial z} U(r)|_{z=z_i+0} = \gamma_i(r) \frac{\partial}{\partial z} U(r)|_{z=z_i-0} \end{cases} \quad (3)$$

Уравнение дополняется краевыми условиями на поверхности непроводящего стержня и на бесконечности:

$$\frac{\partial}{\partial r} U|_{r=d_m/2} = 0; U|_{r=\infty} = 0.$$

При численном решении второе условие заменяется условием $U(D/2) = 0$, где D – диаметр моделируемой области.

Прямая задача ПС – задача определения потенциала U при заданных распределениях УЭС и двойных электрических слоев. Задача в такой постановке близка к постановке прямой задачи электрического каротажа [2]. Ее можно было бы решать, рассматривая отдельные участки поверхностей раздела как точечные источники поля и получать общий потенциал суммированием вкладов от этих участков. Однако вследствие большой протяженности границ такой подход привел бы к неприемлемо большим временам численных расчетов. Отличие в локализации источников поля по сравнению с прямой задачей электрического каротажа (в частности, скачки потенциала, создаваемые зарядами на границах раздела пластов, входят в решение через граничные условия (3)) делает целесообразным иной подход к решению задачи.

Представим потенциал в каждом пласте как $U_i(r, z) = U_i^*(r) + \bar{U}_i(r, z)$, где $U_i^*(r)$ – потенциал, создаваемый зарядами на цилиндрических границах (скважина – зона проникновения и зона проникновения – пласт) в i -м пласте в предположении, что пласт имеет неограниченную толщину. Поскольку суммарный потенциал аддитивен по отношению к вкладам зарядов, располагающихся на отдельных

цилиндрических границах, без ограничения общности, будем считать, что источник поля сосредоточен на одной цилиндрической границе в одном пласте. При такой геометрии источника U_i^* не зависит от z . Следовательно, в точках пространства, не принадлежащих цилиндрическим границам, он удовлетворяет уравнению

$$\frac{d}{dr} r \gamma(r) \frac{dU_i^*(r)}{dr} = 0. \quad (4)$$

На рассматриваемой цилиндрической границе потенциал $U_i^*(r)$ должен удовлетворять условию непрерывности нормальной составляющей плотности тока и условию

$$U_i^*(r)|_{r=\bar{r}-0} = U_i^*(r)|_{r=\bar{r}+0} + \Delta_i, \quad (5)$$

где Δ_i – скачок потенциала (Es_i или Ez_i в зависимости от локализации рассматриваемого двойного слоя).

Прямое поле $U_i^*(r)$ в каждом пласте, где имеются двойные электрические слои на цилиндрических границах раздела, находится из уравнения (4) с учетом граничного условия (5).

Вследствие сказанного, граничные условия (3) для $\bar{U}(r, z)$ на границе i и $i+1$ пласта принимают форму

$$\begin{cases} \bar{U}_i(r, z_i) = \bar{U}_{i+1}(r, z_i) + T_i(r) \\ \gamma_i(r) \frac{\partial}{\partial z} \bar{U}_i(r, z_i) = \gamma_{i+1}(r) \frac{\partial}{\partial z} \bar{U}_{i+1}(r, z_i), \end{cases} \quad (6)$$

где $T_i(r) = U_{i+1}^*(r) + E_i(r) - U_i^*(r)$.

В работе [2] показано, что методом разделения переменных Фурье потенциал $\bar{U}_i(r, z)$ в i -м пласте может быть представлен в виде

$$\bar{U}_i(r, z) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n^i f_n^i(r) \exp(\lambda_n^i(z - z_i)) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n^i f_n^i(r) \exp(\lambda_n^i(z_{i-1} - z)), \quad (7)$$

где f_n^i и $(\lambda_n^i)^2$ – собственные функции и собственные числа задачи

$$\begin{cases} \frac{d}{dr} \gamma_i(r) \frac{d}{dr} f_n^i(r) + (\lambda_n^i)^2 \gamma_i(r) f_n^i(r) = 0 \\ \frac{d}{dr} f(0) = f(D/2) = 0. \end{cases} \quad (8)$$

По радиальной переменной задача решается методом конечных элементов. При решении осесимметричной прямой задачи каротажа

на постоянном токе a^i и b^i , как правило, определяются при помощи матричной прогонки по слоям. В рассматриваемом случае применение прогонки проблематично из-за наличия в граничных условиях (6) слагаемого $T_i(r)$. Однако существует возможность прямого определения a_n^i и b_n^i как решения блочно-диагональной системы линейных алгебраических уравнений, которая получается подстановкой (7) в (6). Размер этой системы равен $L \cdot L$, где $L = 2 \cdot N \cdot K$; N – количество границ между пластами; K – количество узлов сетки по r (обычно $K \geq 60$). При таком количестве узлов сетки погрешность решения составляет около 0,2% величины статического потенциала. Несмотря на достаточно большой размер системы, ее решение не вызывает затруднений и производится за приемлемое время даже при количестве границ пластов $N = 25-35$.

Результаты расчетов, полученные описанным методом решения прямой задачи ПС, сравнивались со следующими решениями аналогичных задач:

- 1) с аналитическими решениями для пласта ограниченной толщины со скважиной [9, 11], а также со скважиной и зоной проникновения [6]. Указанные аналитические решения позволяют рассчитать поправочные коэффициенты на мощность пласта ($v = Esp/ Esp_{cor}$) для случаев, когда электрические параметры вмещающих пород совпадают с соответствующими параметрами пласта. На рис. 2 представлен пример сопоставления результатов численных расчетов и наиболее общего из известных на настоящий момент аналитического решения со скважиной и зоной проникновения, полученного О. Б. Кузьмичевым [6]. Погрешность численного решения составляет около 0,2% статического потенциала. Это свидетельствует о достаточно высокой точности численного расчета при наличии электрической неоднородности среды в виде зоны проникновения;
- 2) с результатами моделирования на электроинтеграторе для пластов ограниченной толщины [12], положенными в основу палеточного обеспечения для обработки данных ПС фирмы Шлюмберже [10] и представленными на рис. 3 черным цветом. С целью представления результатов из разных источников в единой форме данные указанной работы оцифровывались. По оценкам авторов погрешность оцифровки не превышает 1% величины статического потенциала. Были выбраны ситуации без зоны проникновения, а также ситуа-

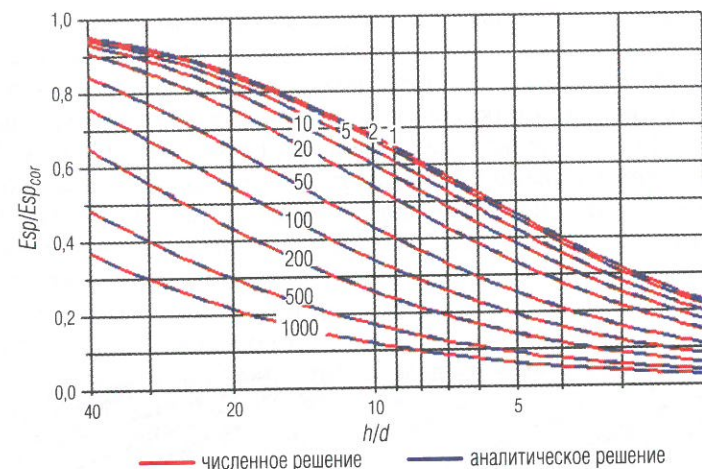


Рис. 2. Поправочные коэффициенты Esp/Esp_{cor} на мощность пласта для пласта со скважиной и зоной проникновения (скачок потенциала расположен на границе зоны проникновения и пласта):

шифр кривых – $Rx0/Rm$; $Rx0$ – УЭС зоны проникновения; Rm – УЭС промысловой жидкости; h – мощность пласта; d – диаметр скважины. Расчеты выполнены при $Rx0/Rt = 0,2$, $D/d = 5$, где Rt – УЭС пласта, D – диаметр зоны проникновения [6]

ции повышающего, нейтрального и понижающего проникновения. Сравнение этих результатов с результатами наших расчетов, представленных красным цветом, показывает, что при отсутствии зоны проникновения или при нейтральном проникновении расхождение численного решения авторов и результатов моделирования [12] не превышает 3% статического потенциала. Это свидетельствует о корректном учете влияния электрической неоднородности от вмещающих пород при наших расчетах. При наличии зоны проникновения расхождение результатов доходит до 5–7%. Так как из результатов сопоставления с аналитическим решением для среды со скважиной и зоной проникновения следует, что при численном расчете зона проникновения учитывается достаточно точно, есть основания полагать, что отмеченное расхождение обусловлено погрешностями моделирования на электроинтеграторе;

- 3) с численными результатами, полученными методом конечных элементов [13]. Оцифрованные результаты этой работы представ-

лены на рис. 3 зеленым цветом. Наблюдается хорошее согласие наших результатов с результатами работы [13] при отношениях Rt/Rm ($Rx0/Rm$) ≥ 20 . При меньших контрастностях, особенно при понижающем проникновении, имеется завышение результатов работы [13] по сравнению с нашими результатами (до $\approx 5\%$) и с результатами работы [12] (до $\approx 7\%$), которые, в свою очередь, в данной области хорошо согласуются с нашими результатами. Известны и более поздние численные расчеты, выполненные интегро-интерполяционным методом (или методом баланса) [6].

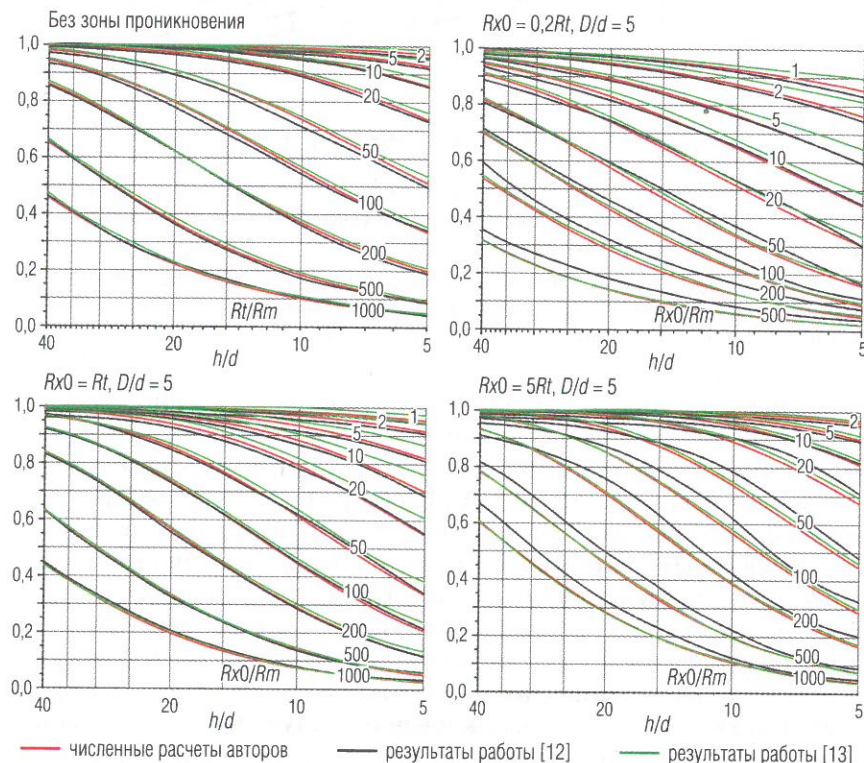


Рис. 3. Поправочные коэффициенты на мощность пласта:

$Rx0$ – УЭС зоны проникновения; Rm – УЭС промывочной жидкости; h – мощность пласта; d – диаметр скважины; Rt – УЭС пласта; D – диаметр зоны проникновения. Расчеты выполнены при $Rs/Rm = 20$, где Rs – УЭС вмещающих пород

Поскольку в указанной работе рассматривался точечный измерительный электрод, а не кольцо на непроводящем стержне, как в настоящей работе и в работах [12, 13], результаты численных расчетов работы [6] в совместный анализ не включались;

- 4) с данными, полученными на электроинтеграторе (электрокаротажной сеточной модели) в Краснодарском филиале ВНИИгеофизики группой авторов под руководством В. П. Журавлева [3, 5]. Рассматривавшиеся в этой работе модель среды и значения скачков потенциалов на границах приведены на рис. 4. Расчетные кривые и результаты моделирования представлены на рис. 5. Результаты хорошо согласуются между собой. Наибольшие расхождения (около 3% от величины статического потенциала в пласте) наблюдаются в нижнем пласте с зоной повышающего проникновения при $D/d = 8$ тестового разреза III. Общий характер поведения кривых ПС: асимметрия относительно середины пласта кривой, полученной на электроинтеграторе (которая, по мнению авторов, не должна быть так явно выражена в пласте, залегающем во вмещающих породах с одинаковыми параметрами), позволяет предположить

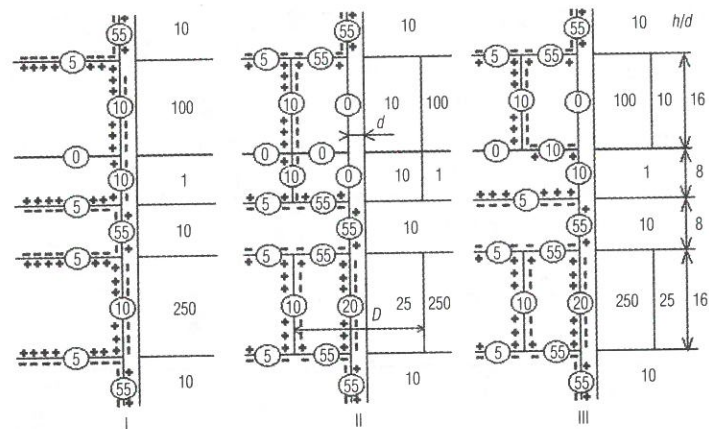


Рис. 4. Схема размещения скачков потенциала и значения электрических параметров среды:

I, II, III – варианты тестовых разрезов (I – без зоны проникновения, II – с зоной понижающего проникновения, III – с зоной повышающего проникновения). Цифры – отношения УЭС соответствующих областей к УЭС промывочной жидкости; цифры в кружках – значения скачков потенциала на поверхностях раздела сред

наличие погрешностей в приведенных в работе [4] данных около 2–3% статического потенциала. Поскольку такие погрешности соответствуют представлениям о точности результатов, получаемых с помощью электроинтегратора, можно сделать вывод, что сопоставляемые результаты хорошо подтверждают друг друга.

Таким образом, рассматриваемый численный метод позволяет получать решение прямой задачи ПС в пакке пластов с достаточной для практических целей точностью.

Небольшие временные затраты на решение прямой задачи дают возможность использовать описанный метод как основу алгоритма

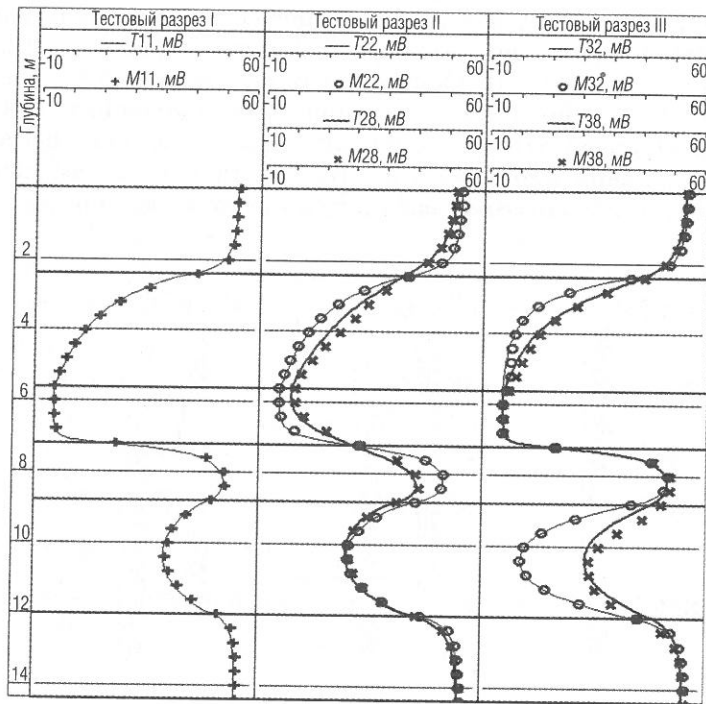


Рис. 5. Сопоставление расчетных кривых ПС с результатами, полученными с помощью электрокаротажного сеточного моделирования:

T – рассчитанные кривые; M – результаты моделирования [4]; первый индекс в именах кривых – номер тестового разреза, второй индекс – отношение D/d ; тонкие горизонтальные линии – отметки глубины, толстые – границы пластов

ввода поправок в результаты скважинных измерений ПС за влияние вмещающих пород. Известно [1], что в электрически однородной среде потенциал, создаваемый двойным слоем зарядов постоянной плотности, размещенным на границе замкнутой области, вне этой области равен нулю. Это справедливо и для электрически неоднородной среды. Отсюда следует, что результаты измерений потенциалов ПС на оси скважины не изменятся, если к исходному распределению двойных слоев добавить двойные слои зарядов постоянной плотности, размещенные на границах замкнутых областей. Поэтому задача восстановления плотности двойных слоев по результатам измерения потенциалов ПС на оси скважины не имеет однозначного решения. Однако задача расчета потенциалов на оси скважины при неограниченном увеличении толщины пластов (статических потенциалов) этой неоднозначности лишена.

Воспользовавшись отмеченным выше свойством, заменим вклад в потенциал от двойных слоев зарядов, расположенных на плоских границах между пластами, эквивалентным вкладом двойных слоев зарядов на цилиндрических границах везде, кроме области между радиусами зон проникновения соприкасающихся пластов. Таким образом, будем считать, что источником потенциалов ПС являются двойные слои $P_{i,k}$ зарядов на цилиндрических границах раздела и двойные слои зарядов Q_i на плоских границах между радиусами зон проникновения соприкасающихся пластов. Исходя из изложенного, модель формирования потенциала ПС представим в виде

$$Sp^t(Z) = \sum_{i=1}^{N+1} \sum_{k=1}^{M(i)} P_{i,k} \cdot X_{i,k}^e(Z) + \sum_{i=1}^N Q_i \cdot \delta(R_{i+1}^{3n} - R_i^{3n}) Y_i^e(Z),$$

где $X_{i,k}^e(Z)$ – расчетная кривая ПС, порожденная скачком потенциала $P_{i,k}$ на k -й цилиндрической границе i -го пласта; $Y_i^e(Z)$ – расчетная кривая ПС, порожденная скачком потенциала Q_i на границе i и $i+1$ пластов внутри радиального интервала между радиусами зон проникновения в этих пластах; N – количество пластов в пакке, $M(i)$ – количество цилиндрических границ в i -м пласте; R_i^{3n} – радиус зоны

проникновения в i -м пласте; $\delta(x) = \begin{cases} 0, & x = 0 \\ 1, & x \neq 0 \end{cases}$.

Задача расчета статических потенциалов ПС может быть сформулирована как задача поиска минимума невязки F расчетной $Sp^t(Z)$

и измеренной $Sp^a(Z)$ кривых ПС по величинам скачков потенциала $P_{i,k}$ и Q_i на соответствующих цилиндрических границах и участках плоских границ:

$$F = \sum_{j=1}^M (Sp^a(Z_j) - Sp^i(Z_j))^2.$$

В минимизируемую функцию методом штрафных функций включается информация о линии глин и линии песчаников.

В рамках рассматриваемой интерпретационной модели в пластах с зоной проникновения основной вклад в формирование кривой ПС вносят заряды на границах скважина – зона проникновения и зона проникновения – пласт. Эти заряды порождают аномалии, различающиеся формой: заряды от дальней поверхности дают более пологую аномалию. Несмотря на то что при обработке используется вся кривая ПС, а не просто отсчеты с нее, в маломощных пластах с зоной проникновения из-за малого количества шагов квантования (менее 5–7) появляется неустойчивость решения, связанная с необходимостью одновременного определения величин двух этих скачков. Для устранения указанной неустойчивости накладываются дополнительные условия на комбинацию скачков потенциала.

Предполагается, что электрические параметры выделенных пластов (Rt , $Rx0$, D/d) и параметры скважины (УЭС ПЖ и диаметр скважины) известны. Входной информацией для решения задачи является кривая измеренных значений $Sp^a(Z)$. Результатом решения задачи является расчетная кривая $Sp^i(Z)$ и набор статических потенциалов $S_i = \sum_{k=1}^{M(i)} P_{i,k}$

в пластах, где i – номер пласта. Скачки потенциалов Q_i в формировании статических потенциалов не участвуют, так как протяженность границ, на которых они формируются, конечна, поэтому их вклад в измеренный потенциал при переходе к большой мощности пластов стремится к нулю.

Полученный набор статических потенциалов пластов визуализируется в виде ступенчатой кривой (кривой ПС, приведенной к условиям пластов большой мощности в составе рассматриваемой пачки пластов).

Изложенная методика обработки кривой ПС реализована в программе LogWin-ЭК, разработанной в ООО “Нефтегазгеофизика” [7]. Последовательность обработки данных ПС в этой программе выглядит следующим образом.

1. В обрабатываемом интервале отбиваются границы пластов. В интервале обработки может находиться несколько пластов-коллекторов, чередующихся в произвольном порядке с непроницаемыми пластами. В кровле и подошве интервала обработки желательно иметь непроницаемые пласты (например, глины) мощностью более 2–5 м.
2. По данным комплекса БКЗ, БК, ИК, ВИКИЗ определяются электрические параметры пластов (УЭС пласта и УЭС зоны проникновения, а также относительная глубина зоны проникновения при ее наличии).
3. В выделенном интервале разреза проводится обработка данных ПС. Основным результатом обработки является набор статических потенциалов пластов, визуализируемый в виде ступенчатой кривой, являющейся кривой ПС, скорректированной за влияние вмещающих пород (Sp^v). Дополнительным результатом обработки является расчетная кривая ПС (Sp^i).
4. Оцениваются результаты обработки. Недостаточно хорошее соответствие кривых Sp и Sp^i свидетельствует о неточно отбитых границах пластов либо о значительных ошибках в определении электрических параметров пластов. В качестве дополнительных входных данных могут использоваться линии глин и песчаников. Если расчетная кривая Sp^v выходит за линию глин или линию песчаников, что встречается в пачке с большим количеством тонких пластов, проводится повторная обработка с учетом линий глин и песчаников.

Ниже представлен пример обработки данных в терригенном разрезе с пресной ПЖ, в котором выполнен каротаж зондами БКЗ, БК, ИК и запись кривой ПС. Пласты-коллекторы в данном разрезе представлены песчаниками, а неколлекторы – глинами и плотными песчаниками. Значения параметров УЭС пластов и зоны проникновения, а также относительная глубина проникновения пластов-коллекторов находятся в пределах 2,7–9 Ом·м, 13–35 Ом·м и 2–4 м соответственно, а УЭС глин – в пределах 2,5–5 Ом·м (рис. 6). Как правило, в разрезе трудно выделить одиночные пласты-коллекторы с однородными вмещающими непроницаемыми породами большой мощности. Чаще всего встречаются пачки, представленные тонкими пластами-коллекторами вперемежку с глинами и плотными песчаниками.

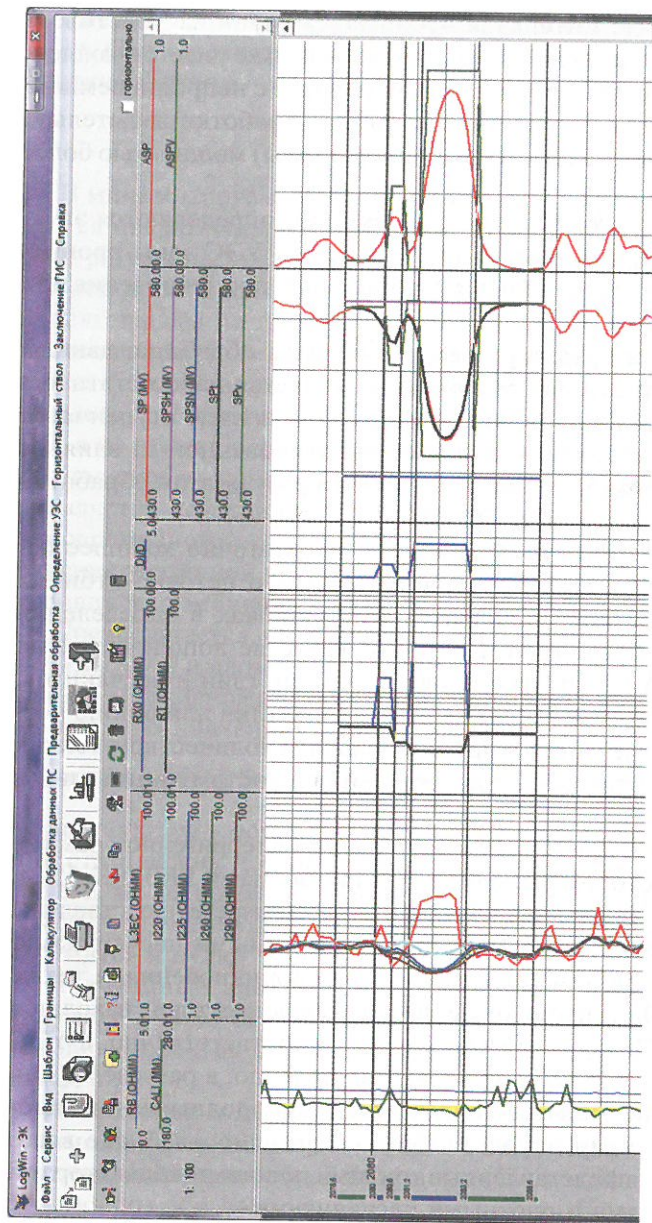


Рис. 6. Результаты обработки кривой ПС, проведенной с целью введения поправки за влияние вмещающих пород в пакке из пяти проницаемых и непроницаемых пластов:

L3ES – кривая КС зонда БК, исправленная за влияние скважины; 1220, 1235, 1260, 1290 – значения КС кривых синтетических зондов прибора ИКЗ-2 (вертикальное разрешение 2 фута); RT, RX0, DID – результаты попластовой обработки данных БКЗ, БК, ИК; SP – измеренная кривая ПС; SPSH, SPSN – линия глин и линия песчаников; Sp' – расчетная кривая ПС, полученная при решении прямой задачи ПС с найденными значениями статических потенциалов; Sp'' – кривая ПС, приведенная к условиям пластов бесконечной мощности; ASP, ASP'' – кривые $\alpha_{\text{ПС}}$ неисправленные и исправленные за влияние вмещающих пород

В данном примере наиболее простая часть разреза в интервале 2078,6–2085,8 м представлена тонким ($h = 2$ м) пластом песчаника с неглубокой зоной повышающего проникновения ($D/d = 3,5$). В его подошве находится пласт глин, а в кровле – два тонких ($h = 0,6$ м) пласта глин и глинистого песчаника, над которыми находится более мощный пласт глин. Таким образом, обрабатываемая пакка состоит из 5 пластов (вместе с вмещающими глинами). В результате обработки была получена кривая Sp'' , исправленная за влияние вмещающих пород. Контроль качества обработки показал, что кривые Sp и Sp' практически повторяют друг друга. При этом кривая Sp'' не выходит за пределы линии глин и линии песчаников, в пластах-коллекторах она стремится к линии песчаников (по сравнению с исходной кривой Sp), а в глинах – к линии глин. Поэтому был сделан вывод об успешности обработки. В результате обработки амплитуда кривой ПС против интересующего нас пласта-коллектора увеличилась с 83 до 92 мВ, а значение относительного параметра $\alpha_{\text{ПС}}$ увеличилось от значения 0,79 до 0,88. Амплитуда кривой ПС вышележащего тонкого глинистого проницаемого песчаника также увеличилась, соответственно увеличилось и значение параметра $\alpha_{\text{ПС}}$ (с 0,23 до 0,36).

В нижней части рассматриваемого разреза в интервале 2090,2–2111,2 м находится более сложная и мощная ($h = 21,0$ м) пакка из 20 пластов, которая состоит из пластов-коллекторов малой толщины ($h = 0,4$ – $1,6$ м), а также глин и тонкого пласта плотного непроницаемого песчаника ($h = 0,6$ м; УЭС = 21 Ом·м). Результаты обработки данного интервала представлены на рис. 7. При обработке была учтена линия песчаников, так как без ее учета в тонком проницаемом пласте толщиной 0,6 м (интервал 2098,8–2099,4) отмечается выход кривой Sp'' за ее границу на 4 мВ (4% от максимальной амплитуды ПС). После учета линии песчаников кривая Sp'' находится в требуемых границах ($\alpha_{\text{ПС}} \leq 1$) и, что важно, в соседних пластах не отмечается существенных изменений в результатах интерпретации. Счетное время обработки рассматриваемого примера составило около 5 мин.

Из опыта работы следует, что при обработке лучше использовать данные ПС, записанные с шагом квантования 10 см и менее. По мнению авторов, повысить надежность получаемых результатов позволит использование при обработке результатов измерений первой и второй осевых производных потенциала ПС, регистрация которых реализована в методе биградиентного картожа ПС [8]. Предложенный метод обработки легко обобщается на этот случай.

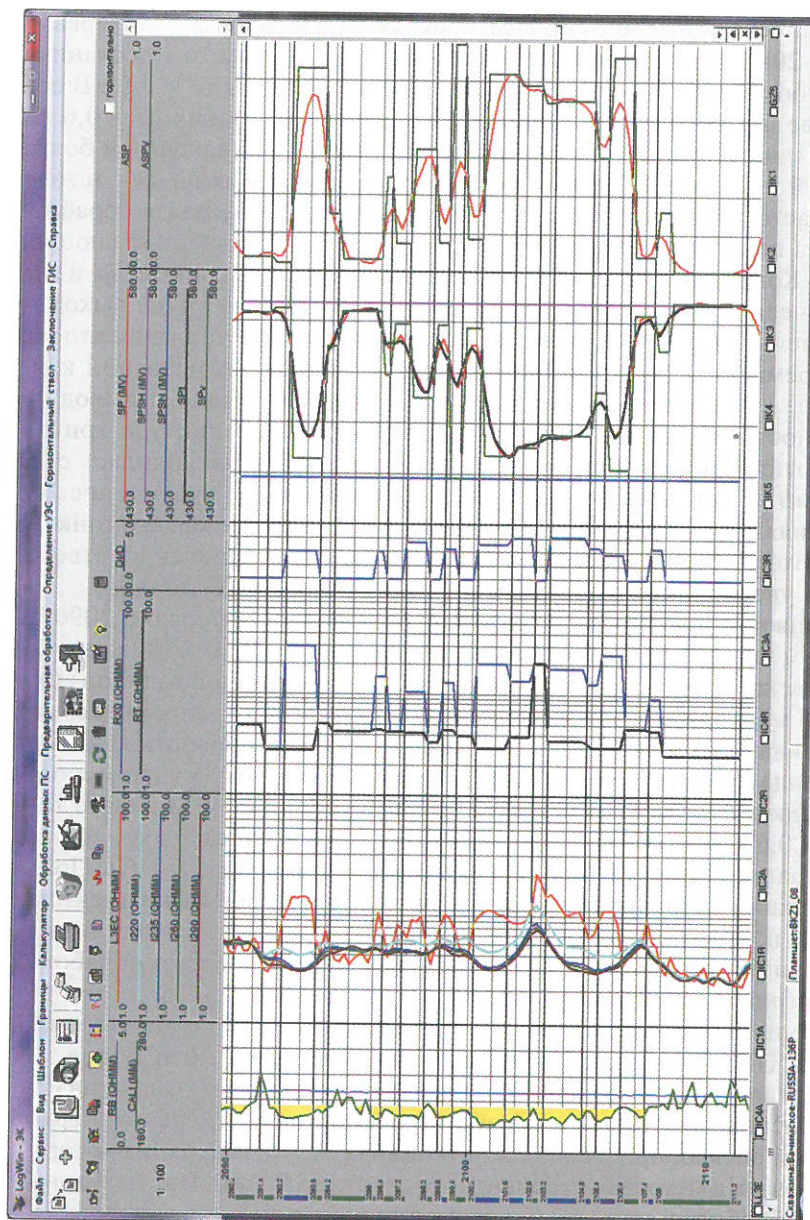


Рис. 7. Результаты обработки кривой ПС, проведенной с целью введения поправки за влияние вмещающих пород в пакке из двадцати проницаемых и непроницаемых пластов (обозначения те же, что на рис. 6)

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурсиан В. Р. К вопросу о распределении потенциала вдоль оси скважины при наличии диффузионных (контактных) э. д. с. // Бюллетень нефтяной геофизики. Вып. III. ОНТИ, 1936.
2. Друсин В. Л. Прямой метод расчета стационарных полей для одного класса моделей, принятых в геофизике // Изв. вузов. Сер. Геология и разведка. (Рук. деп. в ВИНТИ от 1.09.83, № 5099-83).
3. Журавлев В. П., Васильева Г. П. Моделирование каротажа ПС пластов конечной мощности // Прикладная геофизика. 1970. Вып. 60. С. 200–213.
4. Журавлев В. П., Новиков Е. Н., Васильева Г. П., Назаренко Л. И. Применение моделирующих устройств для усовершенствования методов интерпретации данных каротажа скважин // Отчет по теме ГПС/101(И) 135-5/61-70. ВНИИ геофизика, Краснодарский филиал. 1971.
5. Инструкция по обработке БКЗ с комплектом палеток и теоретических кривых электрического каротажа // М. Т. Бондаренко, И. П. Бриченко, В. П. Журавлев, А. И. Сидорчук. МинГео СССР. Ленинград, 1985.
6. Кузьмичев О. Б. Исследование электрических полей естественного происхождения в нефтегазоразведочных скважинах (теория, аппаратура, методика, скважинные испытания). СПб.: ООО "Недра", 2006.
7. Свидетельство Роспатента об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005610807.
8. Стандарт ТК 440-003-01 "Геофизические исследования и работы в скважинах: Геофизическая аппаратура и оборудование. Аппаратура биградиентного каротажа потенциалов самопроизвольной поляризации АБГК-ПС. Параметры, характеристики, требования. Методы контроля и испытаний". Тверь, 2002. 19 с.
9. Шень Цин-Сянь. Расчет теоретических кривых потенциалов собственной поляризации горных пород в неоднородной среде // Прикладная геофизика. 1962. Вып. 32.
10. Log Interpretation Charts. Schlumberger®, 2000.
11. Taherian M. R. et al. (Schlumberger – Doll Research). Spontaneous Potential: Laboratory Experiments and Modeling Results // The Log Analyst. 1995. V. 36. № 5. P. 34–48.
12. Segesman F. New SP Correction Charts // Geophysics. 1962. Vol. XXVII. № 6. Part I. P. 815–828.
13. Tabanou J. R., Glowinski R., Rouault G. F. SP Deconvolution and Quantitative Interpretation in Shaly Sands: 28th Annual Logging Symposium Transactions: SPWLA, 1987. Paper SS. 25 p.

Рукопись рассмотрена на научно-техническом совете ООО "Нефтегазгеофизика" и рекомендована к публикации