

УДК 550.822.2.013:389

В. В. Вержбицкий, Н. Г. Козыряцкий, Г. А. Калистратов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ГРАДИЕНТ- И ПОТЕНЦИАЛ-ЗОНДАМИ В КОНТРОЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ

Предложен математический аппарат для расчета параметров имитационных колонн (имитаторов УЭС) контрольной скважины с искусственным разрезом, используемой для проверки работоспособности и стандартизации аппаратуры электрического каротажа (ЭК).

Ключевые слова: контрольная скважина, имитатор и имитационная колонна электрического сопротивления.

Опыт применения контрольных скважин показал, что они весьма эффективны для скважинных испытаний и контроля качества аппаратуры ЭК [4, 5, 7]. Для испытаний аппаратуры ЭК было предложено и опробовано несколько конструкций имитаторов электрических свойств пластов горных пород, пересеченных скважиной [2, 3, 6]. Из них лишь конструкция, описанная в [3], обеспечивает воспроизведение наперед заданных значений кажущегося удельного электрического сопротивления (УЭС) в широком диапазоне вне зависимости от свойств горных пород.

Математическая модель контрольной скважины для зондов электрического каротажа методом кажущегося сопротивления

Рассмотрим имитатор ЭК (рис. 1), представляющий собой, согласно [3], скважину, обсаженную стальной обсадной колонной радиусом r_c , внутри которой помещена перфорированная непроводящая труба с внешним r_{tp} и внутренним r_{bh} радиусами (рис. 1, а). В непроводящей трубе в радиальном направлении просверлены отверстия одинакового диаметра d_o , расположенные на равном расстоянии друг от друга, позволяющие имитировать однородный по сопротивлению участок среды любой мощности [7]. Изменение плотности расположения отверстий и их диаметров позволяет менять сопротивление имитируемой среды.

Радиальное распределение УЭС отражено на рис. 1, б.

Сопротивление среды при $r < r_{bh}$ и $r_{tp} < r < r_c$ равно ρ_c – УЭС промывочной жидкости, при $r > r_c$ сопротивление среды можно счи-

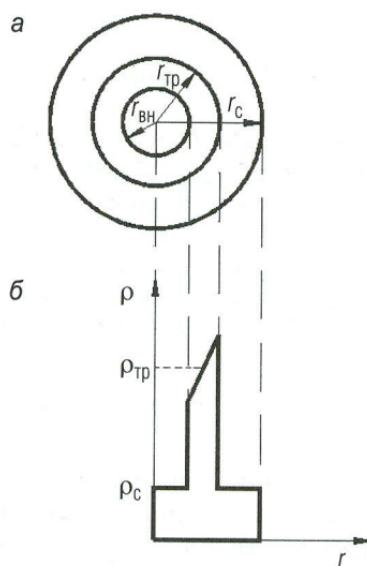


Рис. 1. Радиальное распределение сопротивления в контрольной скважине:
а – сечение контрольной скважины; б – радиальное распределение сопротивления

тать равным нулю, так как обсадная колонна экранирует скважину от внешней среды при проведении измерений зондами ЭК. Поскольку отверстия в непроводящей трубе просверлены в радиальном направлении, при $r_{\text{вн}} < r < r_{\text{tp}}$ среда электрически анизотропна и проводимость ее характеризуется тензором $\hat{\sigma}$. В цилиндрической системе координат $\{r, \phi, z\}$, ось z которой совпадает с осью скважины, этот тензор выглядит следующим образом:

$$\hat{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_{rr} \sigma_{r\phi} \sigma_{rz} \\ \sigma_{\phi r} \sigma_{\phi\phi} \sigma_{\phi z} \\ \sigma_{zr} \sigma_{z\phi} \sigma_{zz} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

При исследовании показаний электрических зондов, длина которых значительно превышает диаметр отверстий d_o и расстояние между ними, все элементы тензора $\hat{\sigma}$, кроме σ_{rr} , можно считать равными нулю. Величина σ_{rr} при этом определяется диаметром и количеством отверстий на единицу площади поверхности трубы, а также сопротивлением промывочной жидкости:

$$\sigma_{rr} = \frac{1}{\rho_c} \cdot \frac{n \cdot d_o^2}{8r \cdot h}, \quad (2)$$

где n – число отверстий по периметру трубы на одном уровне; h – расстояние между центрами отверстий по вертикали.

Потенциал U электрического поля источника постоянного тока в среде с тензором проводимости $\hat{\sigma}$ определяется уравнением

$$\operatorname{div}(\hat{\sigma} \operatorname{grad} U) = f, \quad (3)$$

где f – функция источника.

Подставляя в выражение (3) тензор $\hat{\sigma}$, определяемый из соотношений (1) и (2), получим при $r_{\text{вн}} < r < r_{\text{тр}}$

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial U}{\partial r} \right) = 0. \quad (4)$$

Решением такого уравнения является функция

$$U(r, \varphi, z) = C_1(\varphi, z)r + C_2(\varphi, z). \quad (5)$$

Во всем остальном пространстве уравнение (3) переходит в уравнение Лапласа, общий вид решений которого хорошо известен.

Рассмотрим достаточно протяженный участок трубы с однородной перфорацией, такой, что электрические свойства контрольной скважины можно было бы считать независимыми от z . Будем считать, что поле создается осесимметричным источником постоянного тока. Пусть U_0 – потенциал при $r < r_{\text{вн}}$; U_1 – потенциал при $r_{\text{вн}} < r < r_{\text{тр}}$; U_2 – потенциал при $r_{\text{тр}} < r < r_c$.

Учитывая, что эти функции являются решениями уравнения Лапласа или формулы (4), их можно представить в виде

$$U_2 = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty [A_2(m)I_0(mr) + B_2(m)K_0(mr)] \cos mz dm, \quad (6)$$

$$U_1 = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty [A_1(m)r + B_1(m)] \cos mz dm. \quad (7)$$

Вид функции U_0 зависит от геометрии источника тока. На поверхности обсадной колонны справедливо следующее граничное условие:

$$U_2 = 0 \Big|_{r=r_c}. \quad (8)$$

На внешней и внутренней поверхности перфорированной трубы справедливо условие непрерывности потенциала и нормальной составляющей плотности тока:

$$U_i = U_{i+1} \Bigg|_{\begin{array}{l} r = r_{\text{вн}}, \\ r = r_{\text{tp}} \end{array}} \quad (9)$$

$$\frac{1}{\rho_i} \frac{\partial}{\partial r} U_i = \frac{1}{\rho_{i+1}} \frac{\partial}{\partial r} U_{i+1} \Bigg|_{\begin{array}{l} r = r_{\text{вн}}, \\ r = r_{\text{tp}} \end{array}} \quad (10)$$

где $i = 0$ при $r = r_{\text{вн}}$; $i = 1$ при $r = r_{\text{tp}}$; $\rho_0 = \rho_c$; $\rho_2 = \rho_c$; $\rho_1 = \rho_{\text{tp}} = \frac{1}{\sigma_{rr}(r_{\text{tp}})}$.

Подставляя выражения (6) и (7) в формулы (8)–(10) получим

$$A_1(m) = -B_2(m) \cdot m \cdot r_{\text{tp}} \cdot \frac{\rho_{\text{tp}}}{\rho_c} \cdot F_2, \quad (11)$$

$$B_1(m) = B_2(m) \left(F_2 + m \cdot r_{\text{вн}} \cdot \frac{\rho_{\text{tp}}}{\rho_c} F_1 \right), \quad (12)$$

где

$$F_1 = k_1(m \cdot r_{\text{tp}}) + \frac{k_0(m \cdot r_c)}{I_0(m \cdot r_c)} \cdot I_1(m \cdot r_{\text{tp}});$$

$$F_2 = k_0(m \cdot r_{\text{tp}}) - \frac{k_0(m \cdot r_c)}{I_0(m \cdot r_c)} \cdot I_0(m \cdot r_{\text{tp}}) + m(r_{\text{tp}} - r_{\text{вн}}) \frac{\rho_{\text{tp}}}{\rho_c} \cdot F_1.$$

Для точечного источника постоянного тока, расположенного в начале координат, потенциал поля при $r < r_{\text{вн}}$ имеет вид

$$U_0 = \frac{\rho_c}{R} + \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} A_0(m) I_0(mr) \cdot \cos mz dm, \quad (13)$$

где $R^2 = r^2 + z^2$.

Подставляя выражение (13) в формулы (9) и (10) с учетом (11) и (12), получим

$$A_0(m) = \rho_c \frac{F_1 k_1(m \cdot r_{\text{вн}}) - F_2 \frac{r_{\text{tp}}}{r_{\text{вн}}} k_0(m \cdot r_{\text{вн}})}{F_1 I_1(m \cdot r_{\text{вн}}) + F_2 \frac{r_{\text{tp}}}{r_{\text{вн}}} \cdot I_0(m \cdot r_{\text{вн}})}. \quad (14)$$

Зная потенциал точечного источника, легко получить выражения для показаний идеальных потенциал- и градиент-зондов, находящихся на оси контрольной скважины:

$$\frac{\rho_k^{\Gamma 3}}{\rho_c} = 1 + \frac{2}{\pi} \bar{L}^2 \int_0^\infty A(m) m \cdot \sin m \bar{L} dm, \quad (15)$$

$$\frac{\rho_k^{\Pi 3}}{\rho_c} = 1 + \frac{2}{\pi} \bar{L} \int_0^\infty A(m) \cdot \cos m \bar{L} dm, \quad (16)$$

где $\rho_k^{\Pi 3}$ – показания потенциал-зонда; $\rho_k^{\Gamma 3}$ – показания градиент-зонда; L – длина зонда; $\bar{L} = \frac{L}{r_{bh}}$.

$$A(m) = \frac{\tilde{F}_1 k_1(m) - F_2 \bar{r}_{tp} k_0(m)}{\tilde{F}_1 I_1(m \cdot r_{bh}) + F_2 \bar{r}_{tp} \cdot I_0(m)},$$

$$\bar{r}_{tp} = \frac{r_{tp}}{r_{bh}}.$$

\tilde{F}_1, \tilde{F}_2 получают из F_1, F_2 соответственно заменой r_{tp} на \bar{r}_{tp}, r_c на $\bar{r}_c = \frac{r_c}{r_{bh}}$ и r_{bh} на 1.

По формулам (15) и (16) могут быть рассчитаны показания зондов БКЗ против участков трубы заданного диаметра и толщины, а также плотности перфорации, которая определяет ρ_{tp} .

Влияние параметров контрольной скважины на показания зондов КС

Как видно из формул (15) и (16), величина относительных показаний зондов КС в контрольной скважине определяется следующими параметрами: $\bar{r}_{tp}, \bar{r}_c, \rho_{tp}/\rho_c$ и \bar{L} . Предложенная модель контрольной скважины представляет собой скважину, пересекающую пласт бесконечно малого сопротивления, в которую помещен тонкий цилиндрический слой высокого сопротивления. Следовательно, влияние параметров перфорированной трубы ($\bar{r}_{tp}, \rho_{tp}/\rho_c$) должно соответствовать принципу U -эквивалентности и при сохранении величины

U-инварианта показания зондов КС должны оставаться неизменными. Для перфорированной трубы *U*-инвариант определяется по формуле

$$U = \int_{r_{\text{вн}}}^{r_{\text{tp}}} \left(\frac{1}{\rho_c \sigma_{rr}(r)} - 1 \right) \frac{r dr}{r} = \frac{\rho_{\text{tp}}}{\rho_c} \left(1 - \frac{r_{\text{вн}}}{r_{\text{tp}}} \right) - \ln \bar{r}_{\text{tp}}. \quad (17)$$

С целью проверки этого предположения рассчитаны кривые БКЗ для отношения ρ_{tp}/ρ_c , изменяющегося в пределах от 537 до 245, и \bar{r}_{tp} , изменяющегося от 1,10 до 1,25; \bar{L} , изменяющегося от 2 до 64, для фиксированного значения $r_c = 1,5$. При этом *U*-инвариант был постоянным и равным 48,7 (табл. 1).

Таблица 1

Значения ρ_k/ρ_c в контрольной скважине при сохранении *U*-эквивалентности

ρ_{tp}/ρ_c	\bar{r}_{tp}	\bar{L}					
		2	4	8	16	32	64
		ρ_k/ρ_c					
537	1,10	5,426	14,450	25,840	20,650	3,298	0,021
245	1,25	5,426	14,450	25,840	20,650	3,298	0,021

Как видно из табл. 1, полученные кривые совпадают между собой с точностью, определяемой погрешностью расчета.

Влияние параметра $\bar{r}_c = \frac{r_c}{r_{\text{вн}}}$ можно оценить, рассматривая область $r_{\text{tp}} \leq r \leq r_c$ (рис. 1) как слой избыточно высокого сопротивления по сравнению с сопротивлением обсадной колонны. Это влияние характеризуется избыточным радиальным сопротивлением $\rho_c \ln \frac{r_c}{r_{\text{tp}}}$.

Из его сравнения с избыточным сопротивлением перфорированной трубы $\rho_{\text{tp}} \left(1 - \frac{r_{\text{вн}}}{r_{\text{tp}}} \right)$ видно, что влияние \bar{r}_c может быть существенным только при условии: $\ln \frac{r_c}{r_{\text{tp}}} \geq \frac{\rho_{\text{tp}}}{\rho_c} \left(1 - \frac{r_{\text{вн}}}{r_{\text{tp}}} \right)$, то есть когда зазор между внешней стенкой трубы и обсадной колонны велик, а толщина трубы и ее сопротивление малы.

Влияние величины радиуса обсадной колонны на показания градиент-зондов показаны на рис. 2, где построена зависимость отношения показаний в скважине с $\bar{r}_c = 1,75; 1,25$ к показаниям в скважине с $\bar{r}_c = 1,5$ от ρ_{tp}/ρ_c при различных значениях длин зондов. Из рис. 2 видно, что показания градиент-зондов возрастают при увеличении радиуса обсадной колонны и убывают при его уменьшении. Этот эффект ослабляется при увеличении отношения ρ_{tp}/ρ_c и усиливается при увеличении длины зонда. Следует отметить, что хотя при малых ρ_{tp}/ρ_c и больших \bar{L} изменение показаний зондов при изменении \bar{r}_c может достичь достаточно больших значений (30% и более), эти точки не представляют интереса, так как для них $\rho_k \ll \rho_c$. В случае, когда $\rho_k \geq \rho_c$, изменение \bar{r}_c более чем на 15% приводит к изменению ρ_k не более чем на 10%.

Таким образом, влияние величины радиуса обсадной колонны на показания градиент-зондов менее существенно, чем влияние параметров непроводящей перфорированной трубы, которые характеризуются некоторым U -эквивалентом. Можно предположить, что влияние смещения оси непроводящей трубы относительно оси скважины на показания градиент-зондов будет иметь тот же порядок значений, что и влияние \bar{r}_c .

Анализ показывает также, что влияние параметра \bar{r}_{tp} на показания градиент-зондов весьма значительно и его изменение менее чем на 5% может более чем вдвое изменить величину ρ_k . Это влияние усиливается при увеличении длины зонда и ослабляется при увеличении ρ_{tp}/ρ_c . В пределе, при стремлении ρ_{tp}/ρ_c к бесконечности показания градиент-зондов перестают зависеть от r_{tp} и зависят только от \bar{L} . Это связано с тем, что такой предельный случай соответствует непроводящей трубе, отверстия в которой отсутствуют и внешний радиус которой не влияет на показания электрических зондов внутри нее.

Таким образом, существует ряд факторов, учет которых при математическом моделировании процесса измерений зондами КС в искусственной контрольной скважине возможен лишь в некотором приближении. Поэтому расчет показаний зондов КС возможен с точностью порядка 20% и не пригоден для метрологической аттестации скважины. Данные расчета могут служить лишь для предварительного выбора параметров скважины и приближенной оценки показаний зондов.

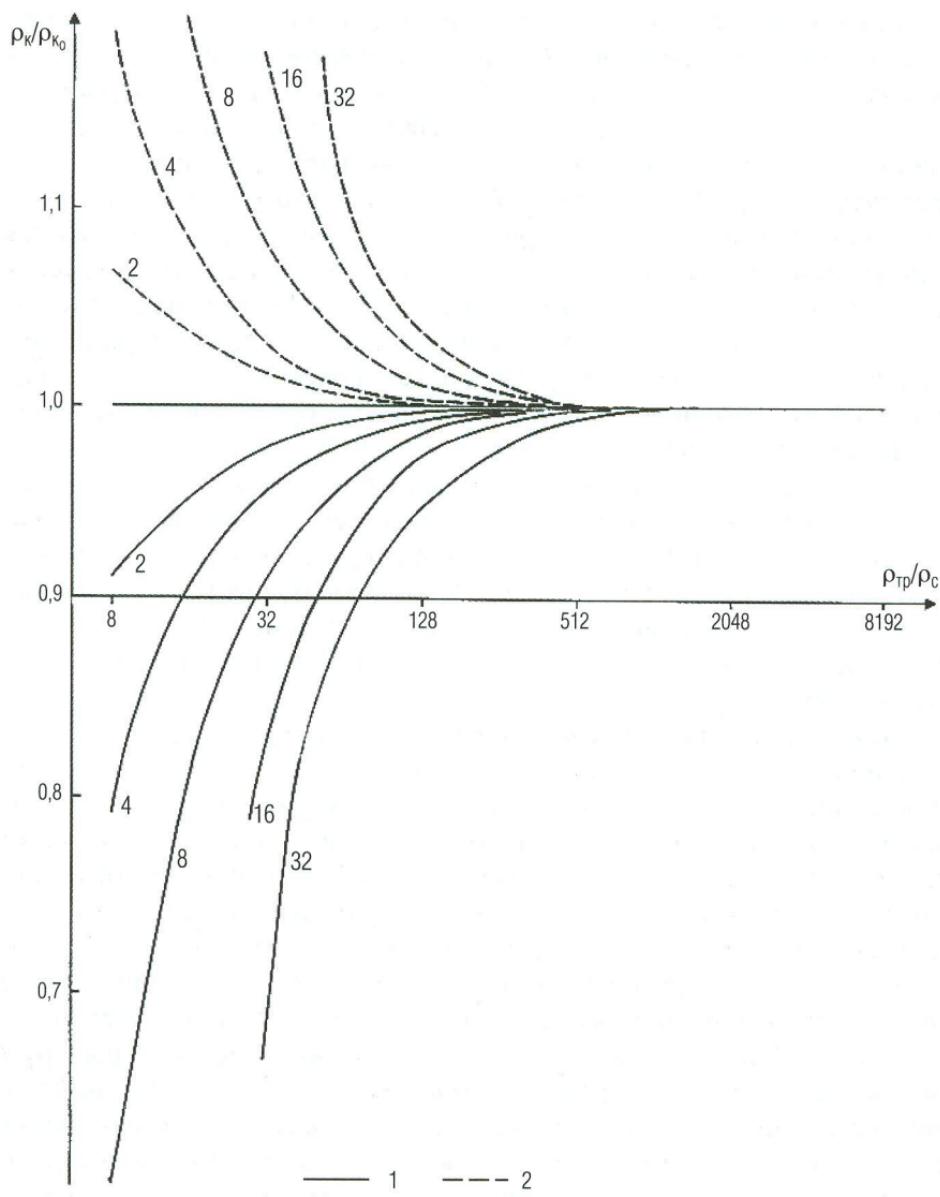


Рис. 2. Влияние радиуса обсадной колонны на показания градиент-зондов в контрольной скважине: $\bar{r}_{tp} = 1,15$; ρ_{k0} – показания при $\bar{r}_c = 1,5$; $1 - \bar{r}_c = 1,25$; $2 - \bar{r}_c = 1,75$. Числа при кривых – параметр $\bar{L} = L/r_{bh}$

Выбор параметров контрольной скважины

Анализ влияния параметров искусственной контрольной скважины на показания зондов КС, приведенный выше, позволяет сформулировать ряд требований к конструкции контрольной скважины:

1. Внешний радиус непроводящей трубы $r_{\text{тр}}$ должен быть максимально близок к внутреннему радиусу обсадной колонны. Это уменьшает влияние положения непроводящей трубы в скважине и влияние внешнего граничного слоя на показания зондов КС.
2. Толщина непроводящей трубы должна составлять не менее 10 мм для того, чтобы при достаточно частом расположении отверстий обеспечить заметное влияние на показания зондов КС.
3. Расстояния между отверстиями по вертикали h не должны превышать 200 мм для обеспечения имитации однородной среды.
4. Количество отверстий, просверленных на одном уровне, не должно быть меньше 6 для обеспечения осевой симметрии среды.

На практике не всегда удается выбрать оптимальные параметры, что связано с ограниченным набором выпускаемых труб из непроводящих материалов.

Рассмотрим скважину со следующими параметрами:

- диаметр обсадной колонны $d_l = 200 \text{ мм}$;
- внешний диаметр непроводящей трубы $d_{\text{тр}} = 176 \text{ мм}$;
- внутренний диаметр непроводящей трубы $d_{\text{вн}} = 150 \text{ мм}$.

Необходимо выбрать диаметры и взаимное расположение отверстий на трубе таким образом, чтобы для каждого зонда КС получить по крайней мере три участка, соответствующих границам диапазона измерений этого зонда и середине этого диапазона. Измерения при отсутствии непроводящей трубы обеспечивают нулевые показания зондов, измерения против неперфорированного участка трубы – максимальные показания. Для получения промежуточных точек используются участки трубы с различной плотностью перфорации. Их параметры и оценки величин относительных показаний зондов приведены в табл. 2.

Выбор плотности перфорации трубы на различных участках осуществляется следующим образом.

1. Если скважина заполнена промывочной жидкостью с сопротивлением ρ_c , соответствующим максимальному значению этой величины в данном регионе, то показания зондов против неперфорированного участка непроводящей трубы будут превосходить максимальные

величины показаний тех же зондов, полученные при исследовании разреза, так как внутренний диаметр непроводящей трубы $d_{\text{вн}}$, как правило, меньше номинального диаметра скважины. При этом показания длинных зондов БКЗ могут оказаться за пределами рабочего диапазона аппаратуры. Количество таких зондов можно уменьшить, выбрав диаметр непроводящей трубы $d_{\text{вн}}$ совпадающим с номинальным диаметром скважин, бурящихся в данном регионе.

2. Для того чтобы получить максимальные показания длинных зондов БКЗ, выбирается участок с минимальной плотностью перфорации: $h = 200 \text{ мм}$, $n = 6$, $d_o = 2 \text{ мм}$ (минимальный диаметр отверстий обусловлен технологическими требованиями).
3. Участки для получения промежуточных показаний зондов подбираются путем выбора параметра U и последующего подбора величин h , n , d_o из соотношений (2), (15)–(17):

$$U = \frac{8h}{nd_o^2} \left(r_{\text{tp}} - r_{\text{вн}} \right) - \ln \frac{r_{\text{tp}}}{r_{\text{вн}}} \quad (18)$$

После этого величина U уточняется и вновь рассчитываются показания зондов для округленных значений h и d_o . Следует отметить, что с изменением U показания зондов различной длины изменяются неравномерно, поэтому необходимо выбрать несколько участков для получения промежуточных величин показаний различных зондов.

Несмотря на то что выбор параметров контрольной скважины осуществлен только для градиент-зондов, она пригодна и для остальных зондов ЭК (за исключением микрозондов), так как их глубинность не превышает глубинности самого длинного градиент-зонда ($L = 8,5 \text{ м}$) и больше глубинности короткого зонда ($L = 0,45 \text{ м}$). Так, например, проведение измерений в контрольной скважине вполне позволяет оценить характеристики потенциал-зонда.

Для контрольной скважины с фиксированными параметрами расчетные значения показаний зондов удобнее всего представить в форме таблиц (табл. 2). Однако из-за отсутствия выпуска труб из непроводящих материалов, предназначенных для строительства контрольных скважин, на практике приходится использовать трубы различного диаметра и толщины. Поэтому для определения плотности перфорации на различных участках трубы и уточнения показаний зондов КС напротив этих участков разработан комплект теоретических зависимостей, состоящий из трех палеток БКЗ и таблицы относительных показаний потенциал-зонда в контрольной скважине (табл. 3).

Таблица 2
Относительные показания зондов КС в контрольной скважине

n	$h, \text{мм}$	$d_0, \text{мм}$	Зонд A0,4M0,1N		Зонд A1M0,1N		Зонд A2M0,5N		Зонд A4M0,5N		Зонд A8M1N		Зонд A0,5M6,5N		
			$(P_k/P_c)_{\min}$	$(P_k/P_c)_{\max}$											
0	-	-	72,0	392	392	1800	1800	6422	6422	25 689	25 689	1244	1244	1244	
6	200	2	54,9	54,0	208	200	461	426	491	422	150	111	229	214	214
6	200	3	48,4	46,8	155	143	247	208	151	109	14,1	7,33	139	123	123
6	200	5	38,4	35,1	90,1	73,2	76,8	49,1	16,5	7,12	0,17	0,03	67,8	53,8	53,8
6	100	5	32,4	26,3	60,4	36,9	32,6	11,3	3,27	0,44	0	0	44,1	27,6	27,6
12	50	5	24,2	9,88	30,4	3,66	7,46	0,08	0,2	0	0	0	23,3	4,69	4,69

Таблица 3

Расчетные значения относительных кажущихся сопротивлений для потенциал-зонда A0,5M6,0N в искусственной контрольной скважине

$d_c/d_{\text{вн}}$	$d_{\text{вн}}, \text{м}$	Значения U										
		4	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096
1,2	0,14	0,21	1,04	3,76	10,7	25,0	50,8	92,9	157,3	249,9	372,3	518,3
	0,16	0,34	1,40	4,49	11,7	25,6	49,6	87,9	145,1	224,9	326,5	442,6
1,6	0,18	0,48	1,74	5,09	12,3	25,7	48,1	83,0	134,0	203,3	288,3	381,9
	0,20	0,63	2,06	5,56	12,7	25,5	46,4	78,3	124,1	184,5	256,2	332,7
2,0	0,14	0,25	1,11	3,88	10,8	25,1	50,9	92,9	157,4	249,9	372,3	518,3
	0,16	0,39	1,49	4,62	11,8	25,7	49,7	87,9	145,1	224,9	326,5	442,6
2,4	0,18	0,55	1,85	5,22	12,4	25,8	48,2	83,0	134,1	203,3	288,3	381,9
	0,20	0,71	2,17	5,69	12,8	25,6	46,5	78,4	124,1	184,5	256,2	332,7
2,8	0,14	0,29	1,18	3,97	10,9	25,2	50,9	93,0	157,4	250,0	372,4	518,3
	0,16	0,45	1,57	4,72	11,9	25,8	49,8	88,0	145,2	224,9	326,5	442,6
3,2	0,18	0,61	1,94	5,32	12,5	25,9	48,3	83,1	134,1	203,3	288,3	381,9
	0,20	0,79	2,27	5,79	12,9	25,7	46,6	78,4	124,2	184,5	256,2	332,7

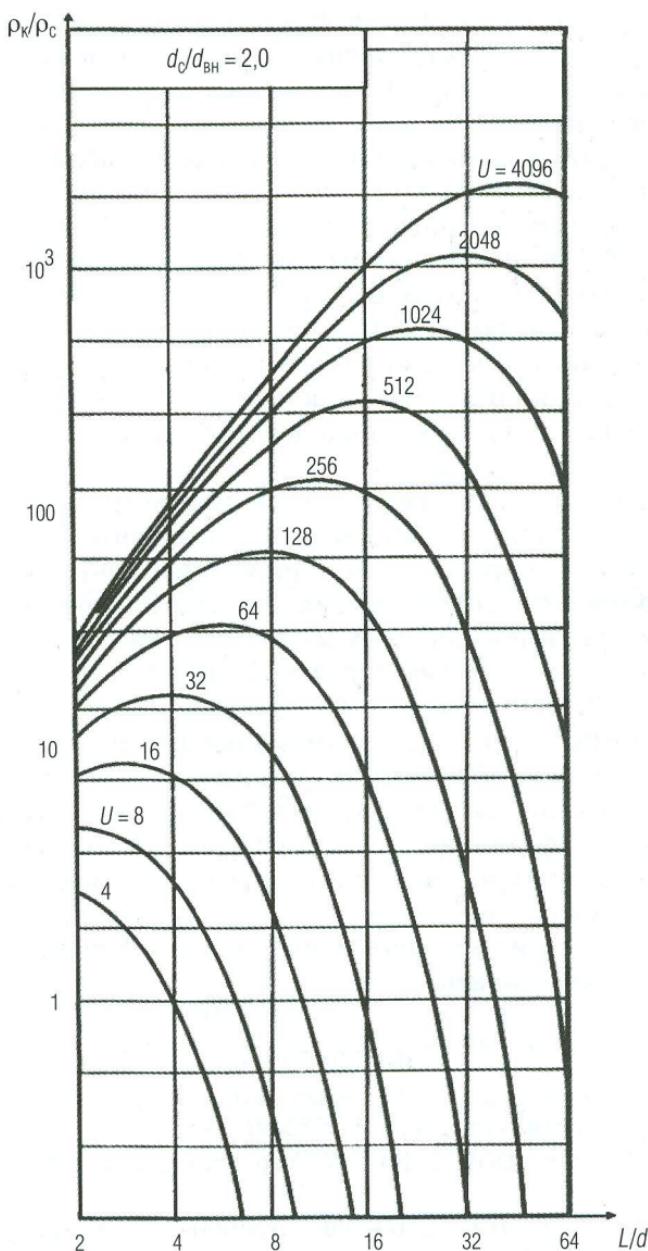


Рис. 3. Зависимости относительных показаний идеальных градиент-зондов ρ_k/ρ_c от их относительных длин (L/d) при различных значениях U

Палетки БКЗ (рис. 3) представляют собой зависимости относительных показаний идеальных градиент-зондов от их относительных длин при различных значениях U . Палетки построены в том же масштабе, что и обычные палетки БКЗ, что позволяет использовать при работе с ними стандартный интерпретационный бланк. Таблица относительных значений показаний потенциал-зонда включает теоретические значения ρ_k/ρ_c , рассчитанные для $d_c/d_{bh} = 1,2; 1,6; 2,0$ и $d_{bh} = 0,14; 0,16; 0,18$ и $0,2$ м при различных значениях U , соответствующих шифрам кривых на палетках БКЗ (рис. 3).

При известных параметрах контрольной скважины относительные показания потенциал-зонда могут быть получены путем интерполяции табличных значений и нанесены на палетку БКЗ в виде изорезисты. Комплект может быть легко дополнен таблицей для любого зонда ЭК (исключая микрозонды).

Следует отметить, что предложенные зависимости можно использовать для уточнения степени влияния граничного слоя путем сравнения значения U , определенного при интерпретации, с расчетным.

На основе предложенного математического аппарата были рассчитаны параметры имитационных колонн ЭК контрольных скважин, построенных в ряде геофизических предприятий (Актюбинская ЭГИС, Уральская ЭГИС, Поморская ГЭ, Сургутская ГЭ, Центр сертификации ОАО НПП "ГЕРС" и др.), причем в качестве изолирующего материала колонны использован как полиэтилен низкого давления марки ПНД, так и стеклопластик. Эксплуатация этих контрольных скважин показала их высокую эффективность как при контроле работоспособности скважинной аппаратуры, так и при учебной подготовке операторов. В настоящее время рассматривается вопрос строительства такой скважины и при одном из ведущих вузов, осуществляющих подготовку геофизиков-каротажников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альпин Л. М. К моделированию задач электроразведки и электрического каротажа // Разведочная геофизика. Т. XXXVI. 1959.
2. А. с. 827764 СССР, МКИ Е21В47/00. Устройство для контроля скважинной аппаратуры.
3. А. с. 1239283 СССР, МКИ Е21В47/00. Устройство для контроля воспроизведения показаний скважинной аппаратуры.
4. Блюменцев А. М., Калистратов Г. А. и др. Метрологическое обеспечение геофизических исследований скважин. М.: Недра, 1991. С. 54–65.

5. Дембицкий С. И. Оценка и контроль качества геофизических измерений в скважинах. М.: Недра, 1991.
6. Дембицкий С. И. Типовые конструкции контрольно-проверочных скважин // Повышение качества геофизических измерений. Уфа: ВНИИнефтепромгеофизика, 1981.
7. Калистратов Г. А., Козыряцкий Н. Г. Унифицированная конструкция контрольной скважины с имитаторами электрических, акустических и радиоактивных свойств пластов горных пород // НТВ "Каротажник". Тверь: Изд. АИС. 2011. Вып. 10. С. 69–76.

УДК 550.832.57

B. A. Велижанин, N. G. Лобода

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АППАРАТУРЫ В ОТДЕЛЕ РАДИОАКТИВНОГО КАРОТАЖА ООО “НЕФТЕГАЗГЕОФИЗИКА”

Рассмотрены вопросы математического моделирования при разработке зондовых установок и интерпретационного обеспечения радиоактивного каротажа. Показана эффективность этих разработок.

Ключевые слова: радиоактивный каротаж, аппаратура, интерпретация, математическое моделирование.

Задача сопровождения математическим моделированием всего цикла “жизни” аппаратуры радиоактивного каротажа (РК) от создания зондовых установок до интерпретации данных исследования скважин позволяет выделить две области использования результатов решения прямых задач РК:

- разработка зондовых установок, включая их метрологическое, методическое и интерпретационное обеспечение;
- интерпретация результатов каротажа, в том числе и опробование методик обработки.

Требования, предъявляемые к результатам моделирования в этих областях их использования, на наш взгляд, в настоящее время не могут быть удовлетворены в рамках единого аппарата.