



$$\sigma_0 = 10^{-4} \text{ См/м}, \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}, \epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} 10^{-9} \text{ Ф/м}$$

(ϵ_0 - диэлектрическая проницаемость вакуума), медного провода ($\sigma = 5,61 \cdot 10^7 \text{ См/м}$), $M = 1 \text{ Ам}^2$, $H = 20 \text{ м}$, $R = 10 \text{ м}$, $a = 0,001 \text{ м}$, для ранних и поздних стадий становления поля. На рис. 2а показано, что циркуляция напряженности электрического поля претерпевает два скачка - в момент времени $t_0 = 3,33 \cdot 10^{-5} \text{ с}$ прихода падающей волны и при $t_1 = 3,37 \cdot 10^{-7} \text{ с}$ в момент времени прихода в пункт наблюдения отраженной от идеального проводника волны. В отличие от циркуляции напряженности электрического поля ЭДС индукции является непрерывной функцией времени и, хотя и быстро, но непрерывно возрастает от нуля (в момент времени t_0) до некоторого мало изменяющегося в широком диапазоне времени, значения. С некоторого момента времени ЭДС индукции начинает быстро убывать, а на поздних временах ($t > 10^{-2} \text{ с}$) она практически не отличается от циркуляции напряженности электрического поля. Если при тех же параметрах геоэлектрической модели

уменьшать толщину круговой петли (рис. 3), то кривые $\mathcal{E}_i(t)$ и $\mathcal{E}_i^{ind}(t)$ сближаются, а при $a < 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ отличия кривых несутельственны.

Полученные в данной работе результаты показывают, что различие между циркуляцией напряженности электрического поля и ЭДС индукции может быть существенным на ранних и промежуточных стадиях становления и им можно пренебречь на самых поздних стадиях неуставившегося процесса.

Литература

1. Пескова О.С., Губатенко В.П. Применение интегральных уравнений для математического моделирования измерения электрического поля // Современные методы теории краевых задач: Материалы чтения - XV, 3-9 мая 2004 г. - Воронеж, 2004. - С. 165-166.
2. Пескова О.С., Губатенко В.П. Математическое моделирование измерения плоского и осесимметрического электрического поля // Математическое моделирование и краевые задачи: Труды всероссийской научной конференции, 26 - 28 мая 2004 г. - Самара, 2004. - С. 210-212. Часть 2.
3. Губатенко В.П., Осипов В.Г., Назаров А.А. Квазиволновые свойства сигнала становления электромагнитного поля // Известия РАН. Физика Земли, N3, 2000. С. 40-49.

Зондирование становлением поля с фокусировкой электрического тока

Рыхлинский Н.И., НП «Институт инновационных методов геофизики», г. Москва

Важная информация о геологическом объекте может быть получена путем электромагнитного зондирования становлением поля с использованием контролируемых искусственных источников поля с фокусировкой электрического тока в месте приема сигнала (ЗС-ФТ).

Возбуждаемое электромагнитное поле в земных породах реагирует не только на пространственное распределение электропроводности, но и, что особенно важно для нефтегазового поиска, на распределение вызванной поляризации (ВП). Чтобы получить информацию о наличии залежи углеводородов в изучаемом объекте и оконтурить ее, необходимо максимально ослабить искажающее влияние на результаты измерений всех боковых, относительно точки зондирования геологических объектов, в которые проникает электрическое поле источника тока. Для этого при зондировании нужно осуществить фокусировку тока в месте приема сигнала и при решении обратной задачи исключить плечевой эффект.

Понятие «исключение плечевого эффекта» появилось с изобретением в начале пятидесятых годов прошлого века методов электрического зондирования с фокусировкой тока и с решением для них обратной задачи. Методами с фокусировкой тока неоднородность (например, пройденный скважиной тонкий пласт) отображается в виде равнобедренной трапеции. Угол наклона ее боковой стороны не зависит от размера зондирующей установки, а зависит от длины фокусирующих элементов, которая по техническим причинам не может быть равна нулю. Амплитуда аномалии, измеренная установкой с фокусировкой тока, имеет одинаковое значение при профилировании над всей толщей неоднородности. Это значение не зависит от так называемого в каротаже влияния вмещающих пород (в электроразведке - бокового влияния), что согласуется с известным в физике принципом наименьшего действия.

В разработанной новой технологии электричес-

ких зондирований проблема исключения плечевого эффекта решается. В основу технологии положен ряд вариантов метода становления поля с использованием контролируемых искусственных источников электромагнитного поля с фокусировкой электрического тока в месте приема сигнала.

Метод предназначен для поисков и оконтуривания нефтегазовых залежей на основе определения свойственных каждому из элементов (горизонтов) толщи осадочных отложений горных пород следующих трех, необходимых для решения поставленной задачи, электрофизических параметров: удельной электропроводности σ , вызванной поляризации η и постоянной времени τ спада разности потенциалов ВП. Благодаря фокусировке тока, метод обладает высокой расчленяющей способностью по латерали, что необходимо для определения местоположения границ контура залежи.

В традиционной электроразведке с контролируемым искусственным источником тока получают лишь суммарные сведения о совокупности всех элементов строения исследуемой среды, в которые проникает ток, так как его распределение в пространстве не определяют.

Поэтому традиционная электроразведка, в том числе и ЗСБ, высоко успешна для инженерных изысканий, где используют малоразмерные установки, и вполне успешна для поисков контрастных по электрическому сопротивлению объектов относительно вмещающих пород, например, высокопроводящих рудных тел, или для решения таких интегральных задач, как определение местоположения фундамента, определение границ вечной мерзлоты и пр. Но она редко успешна для поисков и оконтуривания нефтегазовых залежей из-за их недостаточной контрастности по электрическим параметрам относительно вмещающих пород и плохого расчленения разреза по латерали.

Получаемый предложенным методом технический результат, который сводится к решению задачи

обнаружения и оконтуривания нефтегазовых залежей, заключается в обеспечении возможности разделения параметров σ и η , а также возможности определения τ - важного третьего, наряду с двумя первыми параметра.

Этот результат для данного варианта достигается тем, что по оси профиля зондирования и исследуемую среду поочередно, двумя дипольными электрическими источниками посылают ток в виде разнополярных прямоугольных импульсов с паузами после каждого из них при непрерывном поддержании равной нулю результирующей первой осевой разности потенциалов в месте приема сигнала. И в каждой паузе, на всем протяжении времени ее существования, в дискретных точках с постоянным интервалом времени измеряют последовательность мгновенных значений первых осевых и вторых осевых и ортогональных разностей электрических потенциалов.

Из значений измеренных разностей рассчитывают, по крайней мере, три множества независимых от силы тока дипольных источников нормированных электрических параметров (у каждого из которых наблюдается различное соотношение вызванная поляризация/электродинамик):

$$\begin{aligned} & \frac{\Delta^2 U_x(t_i)_1 + \kappa(t_i) \cdot \Delta^2 U_x(t_i)_2}{\Delta U_x(t_i)_1}, \\ & \frac{\Delta^2 U_y(t_i)_1 + \kappa(t_i) \cdot \Delta^2 U_y(t_i)_2}{\Delta U_x(t_i)_1}, \\ & \frac{\Delta^2 U_x(t_i, \Delta t)_1 + \kappa(t_i) \cdot \Delta^2 U_x(t_i, \Delta t)_2}{\Delta U_x(t_i)_1}. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $\kappa(t_i)$ - коэффициент фокусировки, полученный из уравнения:

$$\Delta U_x(t_i)_1 + \kappa(t_i) \cdot \Delta U_x(t_i)_2 = 0, \quad (2)$$

вытекающего из условия равенства нулю результирующей осевой разности потенциалов электрического поля вдоль оси профиля в пределах зоны измерительных заземлений зондирующей установки в каждой точке измерения t_i на всем протяжении времени переходного процесса;

$$\begin{aligned} & \Delta U_x(t_i)_1, \Delta U_x(t_i)_2, \Delta^2 U_x(t_i)_1, \Delta^2 U_x(t_i)_2, \\ & \Delta^2 U_y(t_i)_1, \Delta^2 U_y(t_i)_2 \end{aligned}$$

- мгновенные значения первых осевых и вторых осевых и ортогональных разностей электрических потенциалов, измеренные в паузах тока на всем протяжении существования каждой из этих пауз от ее начала до конца через равные интервалы времени Δt при подаче токов, соответственно, в первый и второй дипольные электрические источники;

$$\Delta^2 U_x(t_i, \Delta t)_1, \Delta^2 U_x(t_i, \Delta t)_2$$

- разности между двумя ближайшими мгновенными значениями вторых осевых разностей электрических потенциалов, разделенными интервалом времени Δt .

Используя значения нормированных параметров (1) и дифференциальное уравнение для напряженности электрического поля дипольного источника в поляризующейся проводящей среде

$$\nabla^2 \dot{E}(\omega) = i\omega\mu \cdot \sigma(i\omega\sigma_0\eta\tau) \cdot \dot{E}(\omega), \quad (3)$$

где:

∇^2 - оператор Лапласа;

$\dot{E}(\omega)$ - напряженность электрического поля дипольного источника, выраженная в уравнении для случая гармонического изменения величины электрического поля по времени;

$\sigma(i\omega\sigma_0\eta\tau)$ - частотно-зависимая электропроводность элементов среды;

σ_0 - электропроводность элементов среды без учета влияния вызванной поляризации;

η - коэффициент их вызванной поляризации,

τ - постоянная времени спада разности потенциалов ВП,

- определяют три электрофизических параметра σ_0 , η , τ и путем решения обратной задачи строят временные разрезы по этим параметрам.

Для решения обратной задачи необходимо использовать решение прямой задачи. Существует решение прямой задачи [1] для неполяризуемой одномерно-слоистой среды с субгоризонтальными границами раздела на основе теплового уравнения для напряженности электрического поля в случае ее импульсного изменения во времени:

$$\nabla^2 E(t) = \mu\sigma_0 \frac{\partial E(t)}{\partial t}, \quad (4)$$

а в случае ее гармонического изменения во времени -

$$\nabla^2 \dot{E}(\omega) = i\omega\mu\sigma_0 \cdot \dot{E}(\omega). \quad (4a)$$

Это решение позволяет определять только электропроводность элементов среды без учета влияния ВП. Но поскольку электропроводность осадочных горных пород не постоянна, а зависит от ВП и от частоты возбуждения, в частности, по формуле K.S. Cole и R.N. Cole [12], то уравнение (4a) с учетом этой формулы приобретает уже три определяющих свойства поляризуемой среды параметра - σ_0 , η , и τ вместо одного σ_0 , и принимает вид (3). Замена независимой от частоты электропроводности σ_0 , которая присутствует в уравнении (4a), на частотно-зависимую $\sigma(\omega)$, присутствующую в уравнении (3), математически корректна и теоретически доказана [5].

Отметим, что в реальности геологическая среда - всегда трехмерно-неоднородна и геометрически разнообразна. Однако уравнения (3) и (4a), как упоминалось выше, аналитически решены только для одномерных осесимметричных сред.

Поэтому использование решения уравнения (3) в обратных задачах электроразведки для поисков и оконтуривания нефтегазовых залежей допустимо, когда при полевых измерениях осуществляется фокусировка электрического тока, принцип которой основан на поддержании равенства нулю осевой разности электрических потенциалов в точке зондирования. В этом случае при инверсии исключается плечевой эффект.

Действительно, в одномерной горизонтально-слоистой среде при равенстве расстояний между токовыми диполями и точкой N и равенстве токов в каждом из них (рис. 1a) и (рис. 1б)

$$\Delta U_x(I_{B_1}A_1) + \Delta U_x(I_{A_2}B_2) = 0, \quad (5)$$

где:

$\Delta U_x(I_{B_1}A_1)$ - разность потенциалов между электродами M_1M_2 в окрестности точки зондирования N (рис. 1в) от действия электрического тока $I_{B_1}A_1$ расположенного слева от этой точки диполя B_1A_1 при выключенном диполе A_2B_2 ;

$\Delta U_x(I_{A_2}B_2)$ - разность потенциалов между электродами M_1M_2 в окрестности точки зондирования N (зеркальное изображение рис. 1в) от действия электрического тока $I_{A_2}B_2$, расположенного справа от этой точки диполя A_2B_2 , при выключенном диполе B_1A_1 .

Из формулы (5) вытекает, что, по закону Ома, суммарная осевая составляющая плотности тока j_x в окрестности указанной точки N от поочередного поэлементного включения обоих токовых диполей B_1A_1 и A_2B_2 , согласно принципу суперпозиции, равна нулю.

Таким образом, в точке зондирования происходит фокусировка тока, приводящая к исключению там осевой составляющей плотности тока j_x .

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА СЕГОДНЯ И ЗАВТРА ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

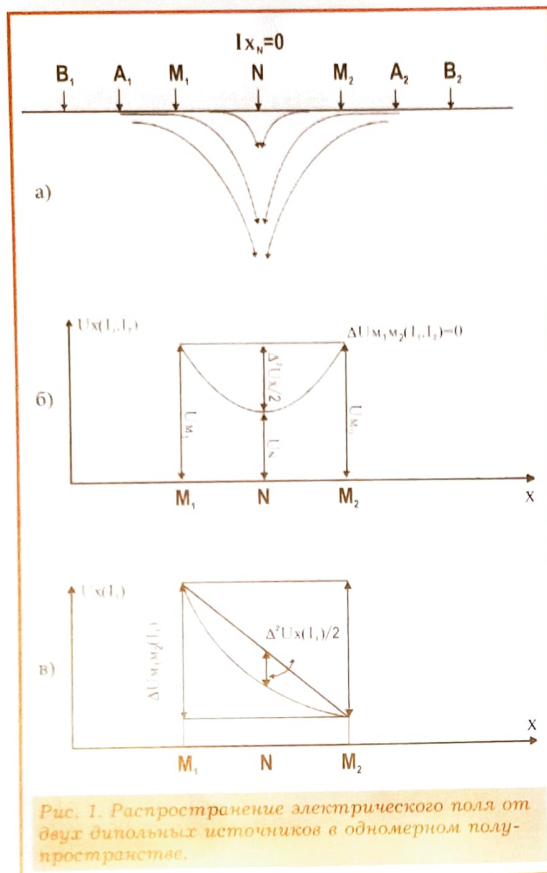


Рис. 1. Распространение электрического поля от двух дипольных источников в одномерном полупространстве.

Однако, в реальности геологическая среда всегда трехмерно-неоднородна и даже при равенстве токов $I_{B_1A_1}$ и $I_{A_2B_2}$ обоих токовых диполей и равенстве их расстояний до точки N условие (5) не выполняется. А именно, в трехмерно-неоднородных средах $\Delta U_x(I_{B_1A_1})$ и $\Delta U_x(I_{A_2B_2})$ по своим модулям отличаются в k раз.

Для выполнения условия фокусировки тока в трехмерно-неоднородной среде с целью исключения осевой составляющей плотности тока j_x в точке измерения выражение (5) должно принять вид [4], [8]:

$$\Delta U_x(I_{B_1A_1}) + k \cdot \Delta U_x(I_{A_2B_2}) = 0. \quad (6)$$

Исключение осевой составляющей плотности тока j_x в точке N в предложенном зондировании описывается соответствующими формулами измеряемых электрических параметров (1).

Формулы (1) независимо от расположения токовых диполей в профиле и величин токов $I_{B_1A_1}$ и $I_{A_2B_2}$ этих диполей в любой трехмерно-неоднородной среде в точке N на всем протяжении времени переходных процессов t , обеспечивают равенство нулю зависящей от времени t осевой составляющей плотности тока $j_x(t)$. Это происходит всегда независимо от того, меняется коэффициент фокусировки k в процессе времени переходных процессов t или нет.

Благодаря этому, как отмечалось выше, при инверсии исключается плечевой эффект, что позволяет, по сравнению с традиционным подходом, без применения фокусировки, более устойчиво решать обратную задачу в точке зондирования N для трехмерно-неоднородной среды, используя известное аналитическое решение для одномерно-слоистой среды с субгоризонтальными границами раздела.

Итак, независимо от модификации установки, основой метода является равенство нулю результирующей первой осевой разности потенциалов электрического поля на базе ее измерения в точке зондирования N на всем протяжении времени

переходного процесса. Что позволяет исключить влияние осевой компоненты плотности тока $j(t)$.

На рис. 2 с целью иллюстрации исключения влияния плечевого эффекта даны результаты моделирования становления поля с фокусировкой тока в трехмерно-неоднородной среде по программе SLDMEM3T [2].

Модель среды представляет собой неограниченно простирающийся вдоль координат x и y слой вмещающих пород с удельным сопротивлением $\rho=10$ Ом-м. По вертикальной координате z толщина этого слоя равна 1000 м. Сверху он ограничен воздухом ($\rho_\infty=\infty$), а снизу - фундаментом ($\rho_\infty=\infty$). В него погружены две неоднородности, обе с удельным сопротивлением 100 Ом-м.

Первая неоднородность - приповерхностная. Ее верхняя граница залегает на глубине 50 м от поверхности, а нижняя - на глубине 150 м. Размеры ее по горизонтали в направлениях координат x и y равны 500 м.

Нижняя неоднородность залегает по верхней границе на глубине 500 м, а по нижней - на глубине 800 м. Размеры ее по горизонтали в направлениях координат x и y равны 5000 м. Центры обеих неоднородностей находятся под точкой 0 км профиля зондирования x .

Геометрические размеры зондирующей установки $B_1A_1M_1NM_2A_2B_2$: длины токовых диполей AB равны 500 м, расстояния между токовыми заземлениями A и заземлением N равны 1250 м, расстояния между MN равны 250 м.

Результаты зондирования даны по двум параметрам: первый - $\Delta^2 U_x(t)/\Delta U_x(t)$ (голубые кривые) и второй - $P_x(t)$ - первый из трех нормированных параметров формулы (1) (розовые кривые) на двух временах становления поля $t_1=4$ мс и $t_2=32$ мс в паузе тока. Как видно из рисунка, оба параметра на обоих временах становления обладают высокой степенью расчленения разреза по латерали.

Параметр $\Delta^2 U_x(t)/\Delta U_x(t)$, хотя и регистрирует величины практически пропорциональные вертикальной компоненте плотности тока $j_z(t)$ за счет числителя $\Delta^2 U_x(t)$, согласно закону Стокса ($\text{div } j=0$), с учетом того, что $\Delta^2 U_x(t) \gg \Delta U_y(t)$ [3] (а.

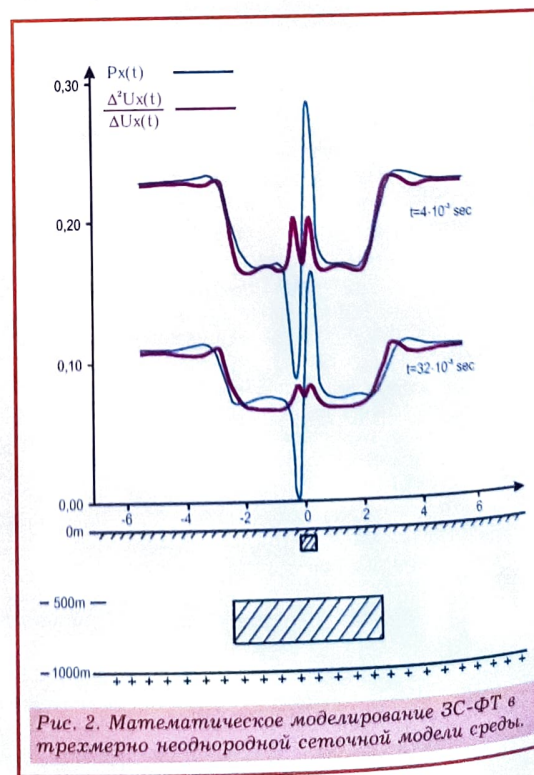


Рис. 2. Математическое моделирование ЗС-ФТ в трехмерно неоднородной сточной модели среды.

следовательно, и $j_z(t) \approx j_w(t)$), но из-за отсутствия фокусировки тока сильно подвержен искажающему влиянию приповерхностной локальной неоднородности на обоих временах становления. Амплитуда аномалий от этой неоднородности на обоих временах становления в несколько раз больше амплитуды аномалий от нижней неоднородности и не меняется с изменением времени становления.

Параметр $P_z(t)$, который построен на основе фокусировки тока, исключаяющей осевую компоненту плотности тока $j_z(t)$ в месте приема сигнала на всех временах становления, заметно подавляет влияние приповерхностной неоднородности.

Причем, с увеличением времени становления относительное влияние приповерхностной неоднородности на результаты моделирования уменьшается. Так, на времени становления $t=4$ мс максимальная амплитуда аномалии от приповерхностной неоднородности в 1,6 раза меньше амплитуды аномалии нижней неоднородности, а уже при времени становления $t=32$ мс максимальная амплитуда аномалии от приповерхностной неоднородности в 3 раза меньше амплитуды аномалии от нижней неоднородности.

По латерали нижняя неоднородность отображается в виде фигуры, близкой по форме к равнобедренной трапеции с шириной наклона ее боковых сторон значительно меньшей, чем размер зондирующей установки.

Благодаря решающей способности по латерали зондирующие методы электроразведки без фокусировки тока в месте приема сигнала не обладают способностью исключать аномалии от неоднородности при зондировании установками без фокусировки тока задолго до подхода к этой неоднородности точки приема сигнала. Причем, исключение аномалии продолжает наблюдаться и на неоднородности, как минимум, на протяжении ширины, равной размеру зондирующей установки [5]. По иногда используемому традиционному параметру становления поля $\Delta U(t)/\Delta U_{cp}$ [7] нижняя неоднородность в данной модели на результатах измерений вовсе не проявляется.

Покажем также возможность исключения плечевого эффекта на практическом примере полевых измерений на Братском газовом месторождении (Иркутская обл.) [6].

Месторождение приурочено к базальному горизонту нижнего кембрия. Этот горизонт состоит из терригенных отложений, среди которых залегает на глубине около 3400 м низкоомный от первых единиц Ом-м (в водоносной его части) до десятков Ом-м (в продуктивной части) песчанник, толщина которого равна около 15 м. Ниже его с глубины около 3400 м располагается кристаллический высокоомный фундамент.

На рис.3 приведен геоэлектрический разрез по удельному электрическому сопротивлению ρ , построенный на основе решения обратной задачи, через продолженный по Братскому водохранилищу профиль 5. По оси x даны расстояния вдоль профиля от 0 км до 16 км, по оси z - глубины в км, а сопротивление ρ дано в цветовой гамме.

На рисунке виден на пикете - 11 км вертикальный разлом в толще разреза и в фундаменте с глубины 1,4 км до глубины 3,8 км, который подтвержден результатами бурения.

Кроме этого, просматривается подтвержденная бурением в базальном песчаннике газовая залежь с повышенным электрическим сопротивлением с четкими границами ее контура по латерали на пикетах 6,4 км и 10 км.

Далее, когда электропроводность первого слоя достаточно высока, весьма ценным является

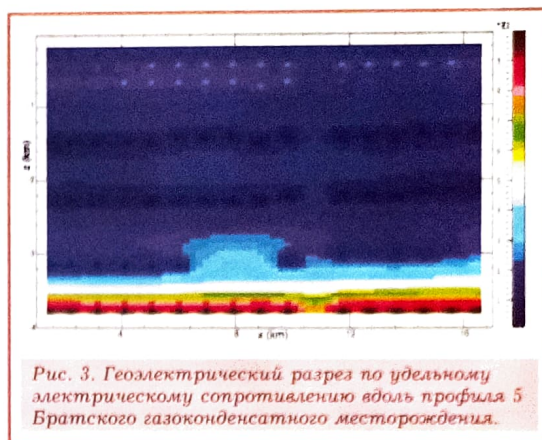


Рис. 3. Геоэлектрический разрез по удельному электрическому сопротивлению вдоль профиля 5 Братского газоконденсатного месторождения.

измерение ортогональных разностей электрических потенциалов $\Delta^2 U_y(t_i)$ (второй нормированный электрический параметр в формуле (1)).

В этих разностях в первом изотропном слое в слоистой среде с субгоризонтальными границами раздела и в однородном полупространстве по данным [3] и по данным математического моделирования сигналы электродинамических переходных процессов отсутствуют, что технически существенно увеличивает возможности проводить поиски и разведку углеводородов, благодаря подавлению экранирующего влияния высоко-проводящего слоя на результаты измерений. Кроме этого, по данным математического моделирования установлено, что на результаты измерений вторым параметром формулы (1) так же мало сказывается влияние присутствующего в разрезе высокоомного слоя.

В подтверждение сказанного приведем примеры математического моделирования на рис.4 и рис.5.

На рис.4 даны результаты моделирования по параметру $\Delta^2 U_y(t)/\Delta U_x(t)$: 1 - кривая синего цвета в однородном неполяризуемом полупространстве с удельным электрическим сопротивлением 20 Ом-м; 2 - кривая зеленого цвета в однородном по удельному сопротивлению в 20 Ом-м полупространстве с введением в его верхнюю часть на глубину 100 м десятиметрового поляризуемого слоя с параметрами $\eta = 0,1$; $\tau = 1$ с и $\epsilon = 0,4$; 3 - кривая голубого цвета в однородном по сопротивлению в 20 Ом-м полупространстве с введением в его нижнюю часть на глубину 1100 м двухсотметрового поляризуемого слоя с аналогичными верхнему слою параметрами.

Рис.5 отличается от рис.4 лишь тем, что в модель полупространства дополнительно введен на глубину 500 м двадцатиметровый неполяризуемый слой с удельным сопротивлением 500 Ом-м.

Для сравнения с рис.4 на рис.6 даны результаты моделирования по параметру $\Delta^2 U_z(t)/\Delta U_x(t)$ для тех же моделей, что и на рис.4.

Геометрические параметры зондирующей установки ВАНМ, для всех моделей по рис.4-6 равны: ВА = 1000 м, АН = 1000 м и МВ = 250 м.

Итак, обратная задача обнаружения залежей углеводородов решается [9] согласно уравнению (3) в рамках одномерной горизонтально-слоистой модели. В конечном результате, решением обратной задачи получают модель среды наиболее близкую к реальной по геометрическому строению и по значениям параметров σ_0 , η и τ для каждого ее элемента и разделяют эти три параметра.

Метод реализован в виде комплекса питающей, измерительной и обрабатывающей аппаратуры.

Приведем схему электрических зондирований с использованием ЗС-ФТ и алгоритм сбора и

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА СЕГОДНЯ И ЗАВТРА ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

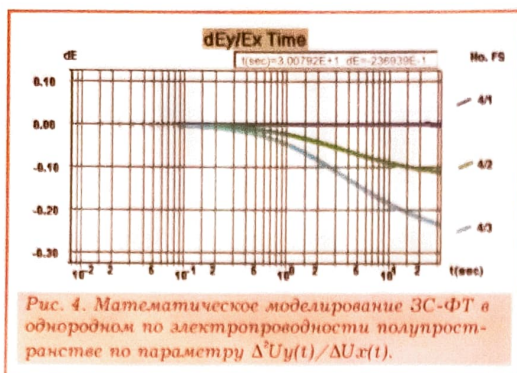


Рис. 4. Математическое моделирование ЗС-ФТ в однородном по электропроводности полупространстве по параметру $\Delta^2 U_y(t)/\Delta U_x(t)$.

первичной обработки информации. Параметры зондирования задаются оператором в зависимости от особенностей решаемой геолого-геофизической задачи по поиску углеводородов в той или иной нефтегазовой провинции. Сама инструментальная программа цифрового измерителя сигналов зондирования стандартна, защита в измерителе, сопряженном с приемником GPS, и допускает гибкую адаптацию к электроразведочному заданию.

Электромагнитное поле в геологической среде возбуждается токовым заземленным диполем AB (рис. 1), а полезный сигнал регистрируется с помощью измерительных электродов M_1, N, M_2 . Для реализации фокусировки тока в месте приема сигнала необходимо двухстороннее возбуждение электромагнитного поля в данной точке зондирования. Поэтому в приведенной схеме предусматривается два положения диполя AB относительно приемника для поочередной работы генераторного устройства.

Ток возбуждения электромагнитного поля в генераторном диполе представляет периодическую последовательность разнополярных прямоугольных импульсов с паузами после каждого из них, длительность которых должна быть больше длительности установления электрического поля в среде. Для типовых геоэлектрических разрезов в нефтегазовых провинциях диапазон используемых длительностей импульсов составляет 4с - 16с.

С целью увеличения точности измерения сигналов зондирования (кривой становления электрического поля в среде) используется метод накопления информации от всех импульсов. Количество требуемых импульсов накопления определяется в зависимости от того, насколько необходимо увеличить отношение сигнал/помеха при проведении конкретных полевых работ. Длительность сеанса накопления в одной физической точке определяется оператором с тем учетом, чтобы кривая становления электрического поля была определена с погрешностью не хуже 5 %. Критерием того, что получена достоверная информация, служит степень расхождения между двумя последовательными определениями искомой кривой в одной и той же точке на профиле. Это расхождение не должно превышать указанный допуск. Практически используется от 10 до 50 импульсов накопления.

Цифровой измеритель зондирующего сигнала делает цифровые 24-х разрядные отчеты с периодом опроса, равным 0,25 мс.

В программе первичной обработки сигналов зондирования могут быть реализованы классический вариант накопления сигнала с использованием среднеарифметической оценки параметров сигнала на каждом дискретном времени отсчета [10], а также накопление с использованием робастных оценок - винзоризованного среднего и выборочной медианы [11].

В результате первичной обработки данных улучшается точность измерения полезного сигнала

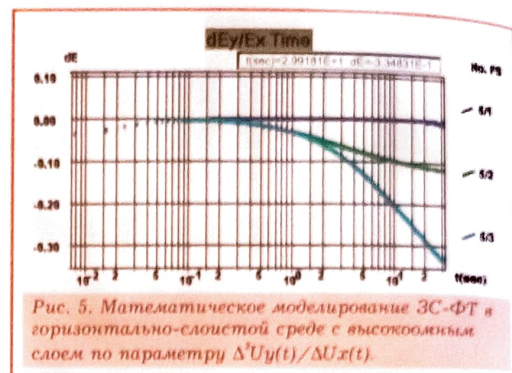


Рис. 5. Математическое моделирование ЗС-ФТ в горизонтально-слоистой среде с высокоомным слоем по параметру $\Delta^2 U_y(t)/\Delta U_x(t)$.

и происходит уменьшение объема исходной цифровой информации обратно пропорционально количеству выполненных импульсов накопления.

Полученный цифровой массив, отражающий измеренный с заданной точностью электромагнитный отклик среды на импульс тока возбуждения, служит исходной информацией для решения обратной задачи геоэлектрики с целью получения пространственного распределения электрофизических параметров исследуемой среды.

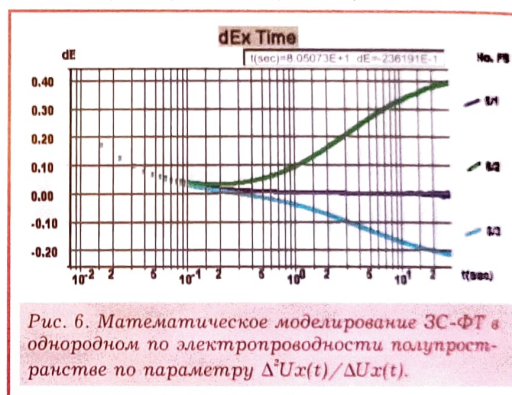


Рис. 6. Математическое моделирование ЗС-ФТ в однородном по электропроводности полупространстве по параметру $\Delta^2 U_x(t)/\Delta U_x(t)$.

Работа генераторно-приемного комплекса управляется персональным компьютером, способным работать в полевых условиях и обладающим необходимой оперативной и долговременной памятью для приема и первичной обработки сигналов зондирования.

Отфильтрованные данные материалов зондирования хранятся в долговременной памяти персонального компьютера и записываются на компакт-диск для передачи их в центр вторичной обработки данных.

Литература

1. Вальнян Л.Л. Основы электромагнитных зондирования. М. «Недра», 1965. с. 28-30.
2. Друскин В.Л., Книжнерман Л.А. Программа SLDMEM3T. Сайт ЦГЭ. www.cge.ru.
3. Жданов М.С. Электроразведка М. Недр. 1986. с. 250-261.
4. Кашик А.С., Рыхлинский Н.И. и др. Способ каротажа обсаженных скважин. Патент РФ № 2176802. Бюл. № 34. 2001.
5. Куликов А.В., Шемякин Е.А. Электроразведка фазовым методом вызванной поляризации. М. Наука, 1978. с. 24-26 и с. 64-73.
6. Легейдо П.Ю., Мандельбаум М.М., Рыхлинский Н.И. и др. Современное состояние и перспективы применения дифференциально-нормированного метода электроразведки для поисков нефти и газа. Геология и геофизика. 2002 г. т. 43, №12 Новосибирск. «Наука», с. 1137-1143.
7. Моисеев В.С. Метод вызванной поляризации при поисках нефтеперспективных площадей. Новосибирск. «Наука». 2002. с. 57-71.
8. Рыхлинский Н.И. Способ дивергентного каротажа. А. с. СССР № 333514. Бюл. № 11. 1972.
9. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М. Наука, 1979. с. 37-43.
10. Харкевич А.А. Борьба с помехами, М., Наука 1965, с. 275.
11. Цыпкин Я.З., Поляк Б.Т. Огрубленный метод максимального правдоподобия. М., Динамика систем, 1977, Выпуск 12, с. 22-46.
12. Pelton, W.H., Ward S.H., Hallof, P.C., Sill, W.R., and Nelson, P.H. Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency J.P. Geophysics, 1978, Vol. 43, p. 588-603.