

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЧЕТЫРЕХЗОНДОВОГО ИНДУКЦИОННОГО КАРОТАЖА В ТОНКОСЛОИСТЫХ РАЗРЕЗАХ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

Н.Л. Миронцов

*Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, г. Киев,
бульв. Чоколовский, 13, Украина, e-mail: myrontsov@ukr.net*

Создан и численно реализован алгоритм решения обратной задачи низкочастотного индукционного каротажа для определения геоэлектрических параметров тонкослоистых разрезов типа “рябчик”. Решение основано на возможности введения поправок “за скважину”, “за скин-эффект” и “за вмещающие породы”. Проведено экспериментальное тестирование созданного алгоритма в условиях Днепровско-Донецкой впадины. На примере реального скважинного материала показано, что четырехзондовый индукционный каротаж позволяет уверенно исследовать тонкослоистые разрезы типа “рябчик”. При этом вертикальное разрешение метода оказывается сопоставимым или выше, чем у вспомогательных методов, а в некоторых случаях индукционный каротаж — единственный метод, который позволяет уверенно исследовать продуктивные пласты.

Ключевые слова: обратная задача, электрометрия скважин, индукционный каротаж.

Индукционный каротаж (ИК), как один из основных методов электрометрии скважин, предоставляет Заказчику геофизических услуг ответы на два главных вопроса [18, 24]: “Где в разрезе, пересеченном скважиной, находятся углеводороды? Сколько их там?” Актуальность этих вопросов в настоящее время сложно переоценить [2, 4]. Однако ответ на них, как и многие задачи геофизики, требует численного решения сложной, неустойчивой по Адамару [18, 20] математической обратной задачи.

Поскольку при решении прямых задач электрометрии не всегда удается найти даже полуаналитическое решение [22], все чаще принято использовать прямые методы моделирования [5, 6], которые для задач ИК могут быть весьма эффективно сведены к задаче решения системы линейных алгебраических уравнений, например, с помощью использования метода интегральных токов [16, 21].

Будем следовать подходу, который позволяет сократить прямые вычисления с помощью физически содержательных упрощений объекта моделирования [1], для чего при решении прямых задач будем использовать метод полных токов [16]. В принципе конкретный метод решения прямой задачи не имеет значения, главное, чтобы найденное решение могло быть использовано для количественной интерпретации, т. е. было представлено в виде информации о продольном (по нормали к оси скважины) распределении проводимости каждого выделенного пласта-коллектора [21].

Заметим, что кроме неустойчивости, естественным образом заложенной во многих задачах геофизики, решение обратной задачи электрометрии часто усугубляется и сложными начальными условиями, что хорошо демонстрируется при исследо-

вании пространственных характеристик той или иной аппаратуры [8, 11, 23]. Следует также понимать, что на практике геоэлектрические параметры исследуемых объектов (пластов-коллекторов) часто оказываются сопоставимы с величиной пространственного и/или измерительного разрешения используемой аппаратуры [1, 9, 19].

В данной работе представлены результаты успешного численного решения задачи определения геоэлектрических параметров тонкослоистых разрезов типа “рябчик” в условиях Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ).

Изучение “рябчиков” осложняется тем, что известные аппаратурно-методические комплексы в основном не предоставляют возможности выделять и изучать пропластки, составляющие “рябчики”, как отдельные объекты. Но именно пропластки-коллекторы и их геоэлектрические параметры в итоге являются основной целью промысловой геофизики.

В силу существовавших ранее ограничений как пространственного разрешения самой аппаратуры каротажа, так и вычислительных ресурсов для решения ее обратных задач подобные объекты, которые исследователи даже не выделяли в отдельный класс, считая их всего лишь частным случаем “сложнопостроенного разреза” [3].

В последнее десятилетие ситуация коренным образом изменилась. На рис. 1 показан пример модели разреза типа “рябчик”. Разрез представляет собой тонкослоистое напластование, в котором пласты-коллекторы чередуются с пропластками без проникновения. Мощность пропластков без проникновения и пластов-коллекторов может варьироваться в пределах 0,5–2,0 м. Само напластование, как правило, имеет суммарную мощность 4–12 м

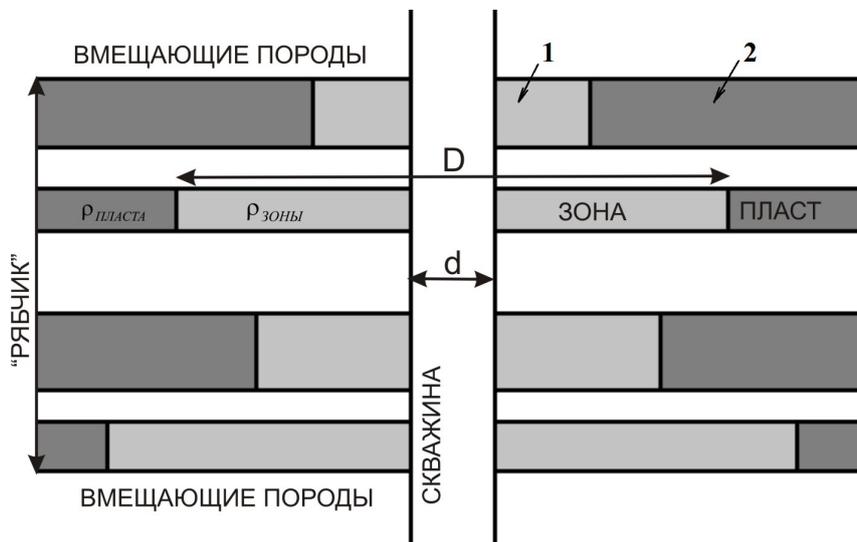


Рис. 1. Модель сложнопостроенного разреза типа “рябчик”: 1 – зона проникновения (зона); 2 – не затронутая буровым раствором часть пласта (пласт)

Fig. 1. The model of the borehole cut “grouse” type: 1 – invaded zone; 2 – uninvasion zone

и ограничено вмещающими породами без проникновения.

Наиболее типичные параметры такого напластования для ДДВ приведены в таблице.

Следует отметить, что, если по данным каротажа без дополнительной обработки верно выделяются пропластки, составляющие “рябчик”, то само введение нового понятия “рябчик” оказывается лишним и необоснованным. Напротив, если данные каротажа без решения обратной задачи не позволяют уверенно расчленить исследуемый объект на составляющие, то это и есть “рябчик”.

Ранее исследование “рябчиков” стандартными методами геофизического исследования скважин (ГИС) состояло в определении неких “средних” по всему напластованию характеристик [18]. Естественно, что такие “усредненные” значения параметров даже качественно не всегда верно описывали геоэлектрические особенности объекта. Аппаратурный способ повышения достоверности выделения таких объектов описан в публикациях [10, 13, 14]. Рассмотрим возможности численного решения соответствующей обратной задачи.

Алгоритм численного решения обратной задачи для аппаратуры четырехзондового ИК (4ИК) [7, 25], хорошо себя зарекомендовавшей и доступной в Украине, позволяет определять геоэлектрические параметры “рябчиков” для условий ДДВ.

На рис. 2 представлены каротажные диаграммы (столбцы: 1 – глубина, м; 2 – значения измеренной активной составляющей электрической проводимости; 3 – значения кажущегося электрического сопротивления после введения поправок “за скин-эффект”, “за скважину” и “за вмещающие”; 4 – данные двухзондового нейтрон-нейтронного каротажа; 5 – данные гамма-каротажа; 6 – кавернометрия скважины, заполненной слабопроводящим буровым раствором в условиях ДДВ).

В обозначении зондов I0.5; I0.85; I1.26; I2.05 цифры означают длину каждого из них в метрах.

Для анализа точности выделения пластов-коллекторов будем использовать данные гамма-каротажа (ГК), двухзондового нейтрон-нейтронного каротажа (2ННК), а также данные кавернометрии (КМ).

Для начала с помощью введения поправок исключим влияние искажающих факторов на величину каждого измерения. Это позволит утверждать, что исправленные таким образом данные зондирования против каждого пласта несут информацию только о нем самом и не зависят от параметров скважины или вмещающих пластов. И если введение поправки “за влияние скважины” или “за скин-эффект” [24] производится в этом случае без труда, то исключение влияния вмещающих пластов само по себе есть некорректно поставленная по

Типичные геоэлектрические параметры “рябчика”
Typical geoelectrical parameters of “grouse”

Разрез	$\rho_{\text{зоны}}$, Ом·м	$\rho_{\text{пласта}}$, Ом·м	D/d
Вмещающие породы	1–50	–	–
Пласты-коллекторы	0,2–200	0,2–200	2–15
Пропластки без проникновения	1–50	–	–

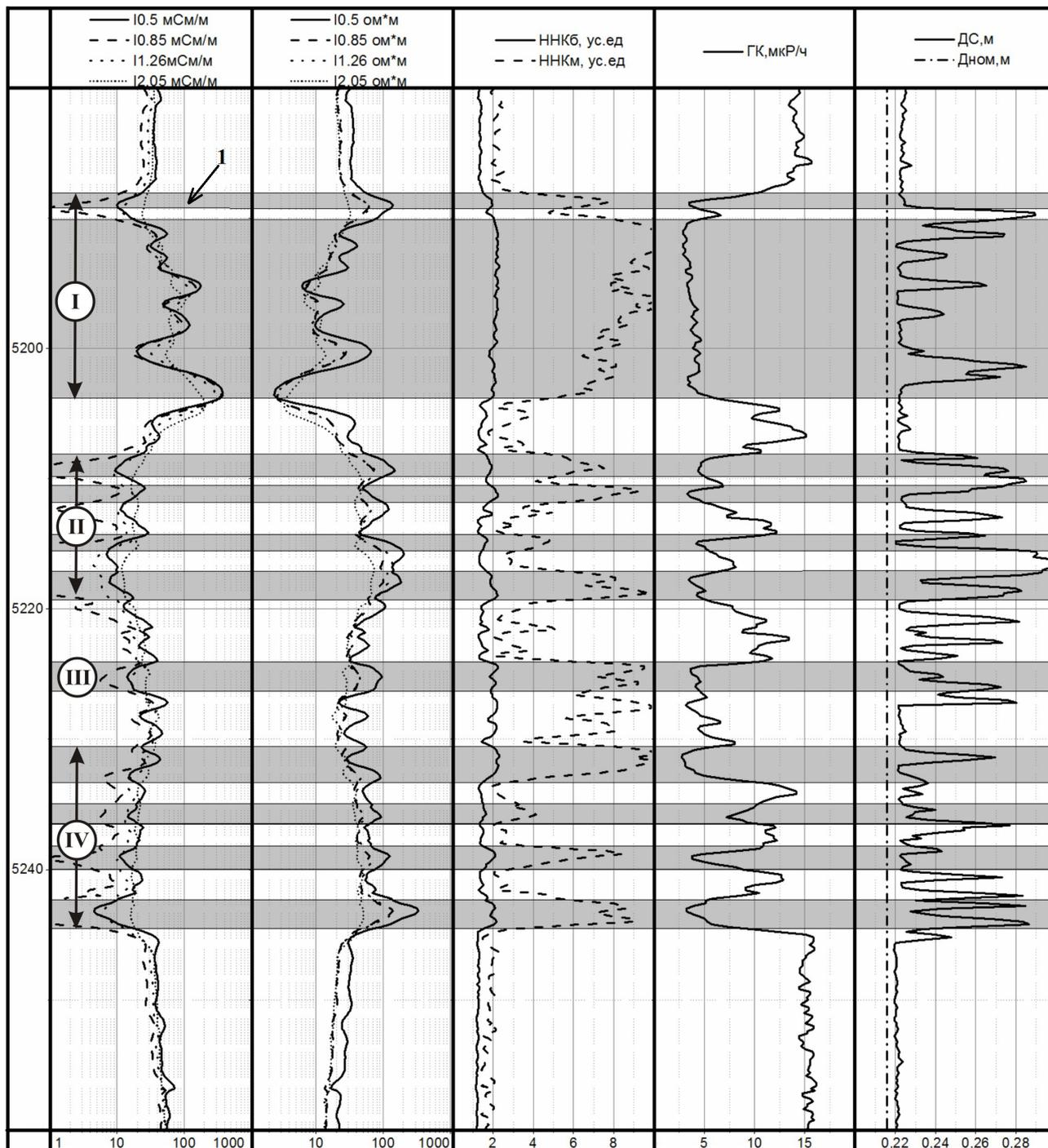


Рис. 2. Каротажные диаграммы тонкослоистого разреза типа “рябчик”. Пласты-коллекторы выделены по данным ГК и ННК
 Fig. 2. Logging diagrams of the borehole cut “grouse” type. Reservoirs (gamma logging, neutron-neutron logging)

Адамару задача [18, 22]. Это означает следующее: чтобы иметь возможность рассматривать каждый пропласток как отдельный объект, следует предварительно факторизовать задачу.

Отметим, что измеряемая зондом кажущаяся проводимость $\tilde{\sigma}$ связана с истинной (искомой) удельной проводимостью σ уравнением Фредгольма первого рода типа свертки:

$$\tilde{\sigma}(z) = \int_L g(z') \sigma(z - z') dz', \quad (1)$$

где z – координата в цилиндрической системе координат; g – вертикальный геометрический фактор зонда.

Чтобы факторизовать задачу, представим каждую из функций в уравнении (1) в виде ряда Фурье [15]:

$$\tilde{\sigma}(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \tilde{\sigma}_n \cdot e^{-inz},$$

$$\sigma(z - x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sigma_n \cdot e^{-inz} \cdot e^{inx},$$

$$g(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g_n \cdot e^{-inx}.$$

При этом коэффициенты разложения σ_n , $\tilde{\sigma}_n$, g_n будут связаны соотношением

$$\sigma_n = \frac{\tilde{\sigma}_n}{g_n^*}. \quad (2)$$

Решение представим в виде разложения с коэффициентами, рассчитанными по уравнениям (2). Число членов ряда необходимо ограничить условием теоремы Котельникова [18], поскольку известная нам $\tilde{\sigma}$ определена дискретно со строго заданным шагом вдоль оси скважины (как правило, шаг записи данных каротажа составляет 0,1 или 0,2 м).

Проанализируем полученные таким образом решения. Для этого используем вспомогательные методы КМ, ГК, 2ННК, а напластования, представляющие интерес для дальнейшего, условно сгруппируем в четыре объекта.

Объект I (рис. 2) по ГК и 2ННК – пласт-коллектор с “вкраплением” тонкого плотного пропластка. Согласно данным кавернометрии, подошвенная часть коллектора сама по себе может быть неоднородной. Без применения электрометрии вопрос об однородности этой его части не имел бы однозначного ответа. Однако данные 4ИК позволяют уверенно отнести и подошвенную часть объекта I к тонкослоистому типу “рябчик”. Более того, результат решения обратной задачи 4ИК позволяет не только пространственно выделить границы каждого из пропластков, но и определить тип проникновения каждого из них, поскольку после введения поправок “за скважину”, “за скин-эффект” и “за вмещающие” показания проводимости каждого зонда изменяются строго монотонно в зависимости от длины (против каждого из пластов).

Неоднородность структуры объектов II и IV проявляется по всем приведенным методам каротажа. Анализ сравнения различных методов для этих объектов позволяет наглядно продемонстрировать, что вертикальное (вдоль скважины) пространственное разрешение метода 4ИК оказывается сопоставимым с таковым методов ГК, 2ННК и КМ.

Объект III заслуживает отдельного рассмотрения. По вспомогательным методам, согласно принятым методикам [3] интерпретации ГИС, исследуемый интервал не выделяется даже как “возможный коллектор”. Напротив, реализованный алгоритм решения обратной задачи только по данным 4ИК уверенно и однозначно выделил его как коллектор. Правильность такого выделения подтверждена обнаруженным притоком полезного флюида в указанном интервале после перфорации.

На приведенном примере показано, что после введения поправок “за скин-эффект”, “за скважину” и “за вмещающие” все рассмотренные объекты хорошо расчлениаются по 4ИК на маломощные пропластки

различных геоэлектрических параметров. Более того, для пропластков, которые по данным 2ННК, ГК и КМ (значение D_c (реальный диаметр скважины) приближается или равно значению $D_{ном}$ (номинальный диаметр скважины)) выделяются как “возможные коллекторы”, по данным 4ИК устанавливается монотонная зависимость показаний зондов комплекса от его длины, что соответствует физическому содержанию понятия “пласт с проникновением” [21, 24].

На примере объекта I становится очевидным, что и отбивку границ пластов при изучении “рябчиков” следует выполнять не по вспомогательным методам, таким как ГК, а по одному (самому малому) зонду комплекса электрометрии. Так, на рис. 2 отображены основные границы пластов, соответствующие точкам, в которых вторая производная каротажной кривой зонда 0,5 м равна нулю после процедуры десятикратного сглаживания [17, 18].

Таким образом, основным результатом данной работы стало успешное создание алгоритма (и его численной реализации) решения обратной задачи 4ИК в условиях тонкослоистого напластования ДДВ.

Список библиографических ссылок

1. Гомилко А.М., Савицкий О.А., Трофимчук А.Н. Методы суперпозиции, собственных функций и ортогональных многочленов в граничных задачах теории упругости и акустики. К.: Наук. думка, 2016. 433 с.
2. Довгий С.О., Евдошук М.І., Коржнев М.М., Кулеш Є.О., Курило М.М., Малахов І.М., Трофимчук О.М., Яковлев Є.О. Енергетично-ресурсна складова розвитку України. К.: Ніка-Центр, 2010. 263 с.
3. Єгурнова М.Г., Зайковский М.Я., Заворотко Я.М., Цьоха О.Г., Кнішман О.Ш., Муляр П.М., Дем'яненко І.І. Нафтогазоперспективні об'єкти України. Нафтогазонасність та особливості літогеофізичної будови відкладів нижнього карбону і девону Дніпровсько-Донецької западини. К.: Наук. думка, 2005. 196 с.
4. Курганський В.М., Тишаєв І.В. Електричні та електромагнітні методи дослідження свердловин. К.: Видавн.-полігр. центр “Київський університет”, 2011. 175 с.
5. Миронцов М.Л. Метод розв'язання прямої та зворотної задачі електричного каротажу. *Доповіді Національної академії наук України*. 2007. № 2. С. 128–131.
6. Миронцов М.Л. Метод швидкого розв'язання прямої та оберненої задачі індукційного каротажу. *Геофізичний журнал*. 2007. № 5. С. 212–214.
7. Миронцов Н.Л. Анализ возможностей синтетических зондов низкочастотного индукционного каротажа. *НТВ Каротажник*. 2010. № 4. С. 73–87.
8. Миронцов Н.Л. Анализ возможностей стандартного комплекса электрометрии для решения актуальных задач геофизического исследования скважин. *Геофизический журнал*. 2012. № 1. С. 159–170.
9. Миронцов Н.Л. Аппаратурно-методический комплекс для исследования коллекторов аномально низкого сопротивления. *Доповіді Національної академії наук України*. 2012. № 1. С. 117–122.
10. Миронцов Н.Л. Импульсный боковой каротаж с повышенным пространственным разрешением. *Допо-*

- віді Національної академії наук України. 2010. № 5. С. 120–122.
11. Миронцов Н.Л. Метод повышения эффективности решения обратной задачи каротажного зондирования комплексом БКЗ-БК-ИК. *Геоинформатика*. 2011. № 2. С. 43–47.
 12. Миронцов Н.Л. Метод распознавания “ошибочных” коллекторов и коллекторов остаточного нефтенасыщения при геофизическом исследовании скважин. *Доповіді Національної академії наук України*. 2012. № 4. С. 100–105.
 13. Миронцов Н.Л. Новый принцип многозондового электрического каротажа. *Доповіді Національної академії наук України*. 2010. № 6. С. 103–106.
 14. Миронцов Н.Л. О методе импульсного индукционного каротажа. *Доповіді Національної академії наук України*. 2010. № 7. С. 110–112.
 15. Миронцов Н.Л. Решение задачи определения действительного вертикального профиля проводимости по данным индукционного каротажа. *НТВ Каротажник*. 2010. № 3. С. 57–69.
 16. Миронцов Н.Л. Решение прямых и обратных задач электрического и индукционного каротажа методом интегральных (полных) токов. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*: зб. наук. праць. К., 2009. С. 340–352.
 17. Миронцов Н.Л. Способ решения обратной 2D задачи индукционного каротажа. *Геофизический журнал*. 2009. № 4. С. 196–203.
 18. Миронцов Н.Л. Численное моделирование электрометрии скважин. К.: Наук. думка, 2012. 224 с.
 19. Миронцов Н.Л. Эффективный метод исследования сложнопостроенных анизотропных пластов-коллекторов в терригенных разрезах. *Доповіді Національної академії наук України*. 2012. № 5. С. 119–125.
 20. Старостенко В.И., Оганесян С.М. Некорректно поставленные задачи по Адамару и их приближенное решение методом регуляризации А.Н. Тихонова. *Геофизический журнал*. 2001. № 6. С. 3–20.
 21. Технология исследования нефтегазовых скважин на основе ВИКИЗ. Методическое руководство: под ред. М.И. Эпова, Ю.Н. Антонова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 270 с.
 22. Эпов М.И., Глинских В.Н. Линеаризация относительных характеристик высокочастотного магнитного поля в двумерных проводящих средах. *Геология и геофизика*. 2004. № 2. С. 266–274.
 23. Эпов М.И., Глинских В.Н., Ульянов В.Н. Оценка характеристик пространственного разрешения систем индукционного и высокочастотного каротажа в терригенных разрезах Западной Сибири. *НТВ Каротажник*. 2001. №3. С. 19–57.
 24. Anderson B.I. Modeling and inversion methods for the interpretation of resistivity logging tool response. Delft: Delft University Press, 2001, С. 377.
 25. Myrontsov N. Method for improving the spatial resolution of resistivity logging. *Геофизический журнал*. 2010. № 4. С. 119–121.

Надійшла до редакції 03.10.2017 р.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЧОТИРИЗОНДОВОГО ІНДУКЦІЙНОГО КАРОТАЖУ В ТОНКОШАРУВАТИХ РОЗРІЗАХ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ

М.Л. Миронцов

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України,
м. Київ, бульв. Чоколівський, 13, Україна, e-mail: myrontsov@ukr.net*

Створено та реалізовано у числовому вигляді алгоритм розв’язання оберненої задачі низькочастотного каротажу для визначення геоелектричних параметрів тонкошаруватого розрізу типу “рябчик”. Розв’язання ґрунтується на можливості введення поправок “за свердловину”, “за скін-ефект” і “за вмісні породи”. Проведено експериментальне тестування створеного алгоритму в умовах Дніпровсько-Донецької западини. На прикладі реального свердловинного матеріалу показано, що чотиризондовий індукційний каротаж дає змогу впевнено досліджувати тонкошаруваті розрізи типу “рябчик”. При цьому вертикальна роздільна здатність методу виявляється зіставною чи вищою, ніж у допоміжних методів, а в деяких випадках індукційний каротаж є єдиним методом, за допомогою якого можна впевнено досліджувати продуктивні пласти.

Ключові слова: обернена задача, електрометрія свердловин, індукційний каротаж.

FEATURES OF FOUR-PROBE INDUCTION LOGGING IN THIN-LAYERED CUTS OF THE DNIEPER-DONETS BASIN

M.L. Myrontsov

Institute of Telecommunications and Global Information Space, NAS of Ukraine, 13, Chokolivskiy boulevard, Kyiv, 03186, Ukraine, e-mail: myrontsov@ukr.net

Purpose The purpose of the article is to create and numerically implement an algorithm for solving the inverse problem of low-frequency induction logging for oil and gas in order to determine the geoelectrical parameters of thin-layered cuts of the “grouse” type; to perform experimental testing of the created algorithm in the Dnieper-Donets Basin conditions.

Design/ methodology/ approach In order to create the algorithm for solving the inverse problem, we used corrections “for the well”, “for the skin-effect” and “for the surrounding rocks”. The correction “for the surrounding rocks” was used in the numerical solution of the unstable inverse problem of induction low-frequency logging.

Findings Based on the example of the real borehole material, the study showed that the four-probe induction logging allows us to reliably study thin-layered cuts of the “grouse” type in the Dnieper-Donets Basin. At the same time, the vertical resolution of the method proves to be comparable or higher than that of the auxiliary methods, and in some cases induction logging is the only method that distinguishes productive beds.

Practical value/ implications The dismemberment of thin-layered cuts of the “grouse” type with simultaneous precise determination of the geoelectrical parameters of each interlayer will permit to increase the daily flow rate of the useful well fluid in the Dnieper-Donets Basin conditions.

Keywords: inverse problem, electrometry in wells, induction logging.

References:

1. Gomilko A.M., Savitsky O.A., Trofimchuk A.N. Metody superpozicii, sobstvennykh funktsiy i ortogonalnykh mnogochlenov v granichnykh zadachah uprugosti i akustiki. Kyiv: Naukova Dumka, 2016, 433 p. [in Russian].
2. Dovgiy S.O., Yevdoschuk M.I., Korjnev M.M., Kulish Ye.O., Kurilo M.M., Malakhov I.M., Trofimchuk O.M., Yakovlev Ye.O. Energetichno-resursna skladova rozvitku Ukrainy. K.: Nika-Center, 2010, 263 p. [in Ukrainian].
3. Yegurnova M.G., Zaikovskiy M.Ya., Zavorotko Y.M., Tsoha O.G., Knishman O.Sh., Mulyr P.M., Demyanenko I.I. Naf-togazoperspektyvni ob`etky Ukrainy. Kyiv: Naukova Dumka, 2005, 196 p. [in Ukrainian].
4. Kurganskiy V.M., Tishoev I.V. Elektrichni ta elektromagnitni metodi doslidzennja sverdlodyn. Kyiv: “Kyivskiy Universitet”, 2011. 175 p. [in Ukrainian].
5. Myrontsov M.L. Method of solving the direct and inverse problem of electric logging. *Dopovidi Nacionalnoi akademii nauk Ukrainy*, 2007, no. 2, pp. 128-131. [in Ukrainian].
6. Myrontsov M.L. Method of quick solving the direct and inverse problem of induction logging. *Geofizicheskij zhurnal*, 2007, no. 5, pp. 212-214 [in Ukrainian].
7. Myrontsov N.L. Analiz vozmozhnostey sinteticheskikh zondov nizkochastotnogo induktsionnogo karotazha. *NTV Karotag-nik*, 2010, no. 4, pp. 73-87 [in Russian].
8. Myrontsov N.L. Analysis of possibilities of standard electrometric complex for solving urgent problems of wells geophysical studies. *Geofizicheskij zhurnal*, 2012, no. 1, pp. 159-170 [in Russian].
9. Myrontsov N.L. Hardware-methodical complex for the investigation of collectors with abnormally low resistance. *Dopovidi Nacionalnoi akademii nauk Ukrainy*, 2012, no. 1, pp. 117-122 [in Russian].
10. Myrontsov N.L. Pulse lateral logging with high spatial resolution. *Dopovidi Nacionalnoi akademii nauk Ukrainy*, 2010, no. 5, pp. 120-122 [in Russian].
11. Myrontsov N.L. Metod povysheniya effektivnosti resheniya obratnoy zadachi karotagnogo zondirivanaja kompleksom BKZ-BK-İK. *Geoinformatika*, 2011, no. 2, pp. 43-47 [in Russian].
12. Myrontsov N.L. Investigation method for “wrong” formations and the relict oil content under the well logging. *Dopovidi Nacionalnoi akademii nauk Ukrainy*, 2012, no. 4, pp. 100-105 [in Russian].
13. Myrontsov N.L. A new principle of multiprobe electric logging. *Dopovidi Nacionalnoi akademii nauk Ukrainy*, 2010, no. 6, pp. 103-106 [in Russian].
14. Myrontsov N.L. On the method of electromagnetic-pulse logging. *Dopovidi Nacionalnoi akademii nauk Ukrainy*, 2010, no. 7, pp. 110-112 [in Russian].
15. Myrontsov N.L. Reshenie zadachi opredelinija deystvitelnogo vertikalnogo profilja provodimosti po dannim indukcionnogo karotoga. *NTV Karotag-nik*, 2010, no. 3, pp. 57-69 [in Russian].
16. Myrontsov N.L. Reshenie prjamih i obratnykh zadach elektricheskogo i indukcionnogo karotoga metodom integralnykh (polnykh) tokov. *Teoretychni ta prykladni aspekty geoinformatyky*. K., 2009, pp. 340-352 [in Russian].
17. Myrontsov N.L. Method for solving 2D inverse problem of induction logging. *Geofizicheskij zhurnal*, 2009, no. 4, pp. 196-203 [in Russian].
18. Myrontsov M.L. Numerical modeling of electrometry in wells. Kyiv: Naukova Dumka, 2012, 224 p. [in Russian].
19. Myrontsov N.L. Efficient investigation method for complex structures and anisotropic formations in clastic deposits. *Dopovidi Nacionalnoi akademii nauk Ukrainy*, 2012, no. 5, pp. 119-125 [in Russian].
20. Starostenko V.I., Hovhannisian S.M. Inaccurately posed problems on Hadamard and their approximate solution by the method of regularization A.N. Tikhonov. *Geofizicheskij zhurnal*, 2001, no. 6, pp. 3-20 [in Russian].
21. Epov M.I., Antonov Yu.N. (Eds.). Technology of exploration of oil and gas wells based on VIKIZ. Methodical direction. Novosibirsk: Publishing House of SB RAN, 2000, 270 p. [in Russian].
22. Epov M.I., Glinskiy V.N. Linearizatsiya otnositelnykh harakteristik visokochastotnogo magnitnogo polja v dvumernykh provodjaschih sredah. *Geologija i Geofizika*, 2004, no. 2, pp. 266-274 [in Russian].
23. Epov M.I., Glinskiy V.N., Uljanov V.N. Ocenka harakteristik prostranstvennogo razresheniya sistem indukcionnogo i vysokochastotnogo karotaga v terigennykh razrezah Zapadnoy Sibiri. *NTV Karotag-nik*, 2001, no. 3, pp. 19-57 [in Russian].
24. Anderson B.I. Modeling and inversion methods for the interpretation of resistivity logging tool response. Delft: Delft University Press, 2001, 377 p.
25. Myrontsov N. Method for improving the spatial resolution of resistivity logging. *Geofizicheskij zhurnal*, 2010, no. 4, pp. 119-121.

Received 03/10/2017