

Н. Л. Миронцов

Метод построения геоэлектрической модели пласта-коллектора по данным электротомии скважин

(Представлено академиком НАН Украины В. И. Старостенко)

Рассмотрены различные подходы при выборе геоэлектрической модели пласта. На примере аппаратуры МЭК-И показано, как с помощью конструктивно простых многозондовых комплексов возможно точное описание самых сложных таких моделей, включая модели, учитывающие гидродинамические процессы при бурении скважин. Показано, что предложенный метод построения геоэлектрической модели не ограничивает класс возможных классических многослойных моделей.

Параметр пласта, который представляет наибольший интерес для интерпретации, — удельное электрическое сопротивление (УЭС, ρ) незатронутой (contaminated) буровым раствором части пласта $\rho_{пл}$ [1]. В простейшей модели бесконечного пласта (рис. 1) на результаты каротажа напротив исследуемого пласта, кроме величины $\rho_{пл}$ будут влиять также величины УЭС промытой зоны $\rho_{п.з}$, зоны проникновения $\rho_{з.пр}$, скважины ρ_c . Величина такого влияния определяется геометрией модели, а именно диаметрами скважины d_c ($d = 2r_c$), зоны

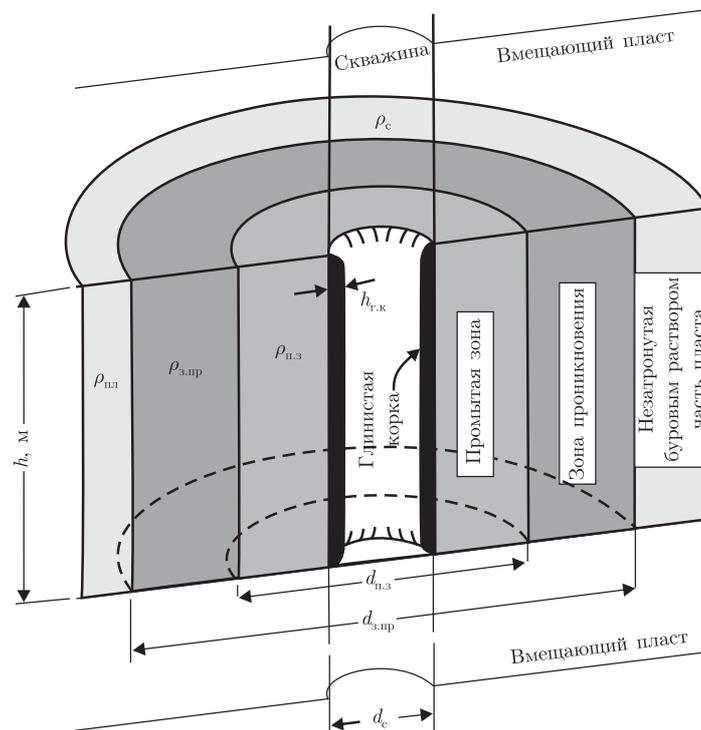


Рис. 1. Четырехслойная модель проницаемого пласта конечной мощности

© Н. Л. Миронцов, 2013

проникновения $d_{з.пр}$, промытой зоны $d_{п.з}$ (величины проводимости соответствующих частей модели будем обозначать теми же индексами).

При конечной мощности пласта h влияние будут оказывать и вмещающие породы. Заметим, что в научной литературе (англоязычной) обычно r_3 считается от оси прибора (для осесимметричной модели). В то же время в русскоязычной терминологии и при практическом расчете интерпретаторы зачастую отсчитывают r_3 от стенки скважины, т. е. от величины r_c .

Принято также называть модель однородного пласта — однослойной; однородного пласта, пересеченного скважиной, — двухслойной; модель скважина + зона проникновения + зона пласта, незатронутая буровым раствором, — трехслойной; модель скважина + промытая зона + зона проникновения + зона пласта, незатронутая буровым раствором, — четырехслойной.

Вопрос реального профиля проводимости вдоль пласта играет важную роль по нескольким причинам:

во-первых, его форма определяет фильтрационные свойства продуктивного пласта;

во-вторых, так как нельзя восстановить дифференциальный профиль проводимости в каждой точке, мы вынуждены описывать его некой моделью с ограниченным числом параметров. Соответственно выбранный тип модели резко ограничит класс возможных решений.

На практике мы имеем ограниченное количество зондов и, значит, при решении обратной задачи — ограниченное количество независимых переменных. В связи с этим возникает ограничение на количество параметров модели. Наиболее известные созданные программы численной интерпретации ЭК и ИК ограничены использованием трех- и совсем редко четырехслойными моделями пласта. В общем случае строение зоны весьма сложно и не может быть строго описано кусочнопостоянной моделью. Этот вывод подтверждает эксперимент: полученные с помощью ВИКИЗ [2] профили УЭС для двух моментов измерений (a , b) и при различных минерализациях бурового раствора демонстрирует рис. 2 [3]. Такие данные позволяют оценить адекватность модели, представленной на рис. 1, а также установить, что вопрос выбора модели для разрезов недавно пробуренных скважин нетривиальный и может зависеть еще и от времени после бурения.

На примере электрического каротажа покажем, как с помощью многозондовых комплексов возможно решить проблему ограничения класса, что позволяет получить результаты для любой многослойной модели пластов: двух-, трех- или даже четырехслойных. Для этого рассмотрим аппаратуру МЭК-И [4].

Измерение различных КС, каждое из которых соответствует различной глубине исследования, позволяет определять вообще говоря неограниченное количество геоэлектрических параметров каждого пласта. Действительно, в общем случае можно производить непрерывное измерение (для каждого положения зонда), и тогда мы получим фактически непрерывное сканирование радиального распределения УЭС околоскважинного пространства (от максимально удаленного по глубине, соответствующего глубине исследования классическим БК-3, до минимального, соответствующего радиусу скважины), что фактически соответствует бесконечному числу зондов различной глубинности. Другими словами, для интервала времени Δt , на котором изменяется величина $\Delta U = U_i^A - U_i^{Ab,At}$, определяем функцию:

$$\tilde{\rho}(\Delta U, \rho(\vec{r})) = K(\Delta U) \frac{\Delta U(T)}{I(\Delta U, \rho(\vec{r}))}.$$

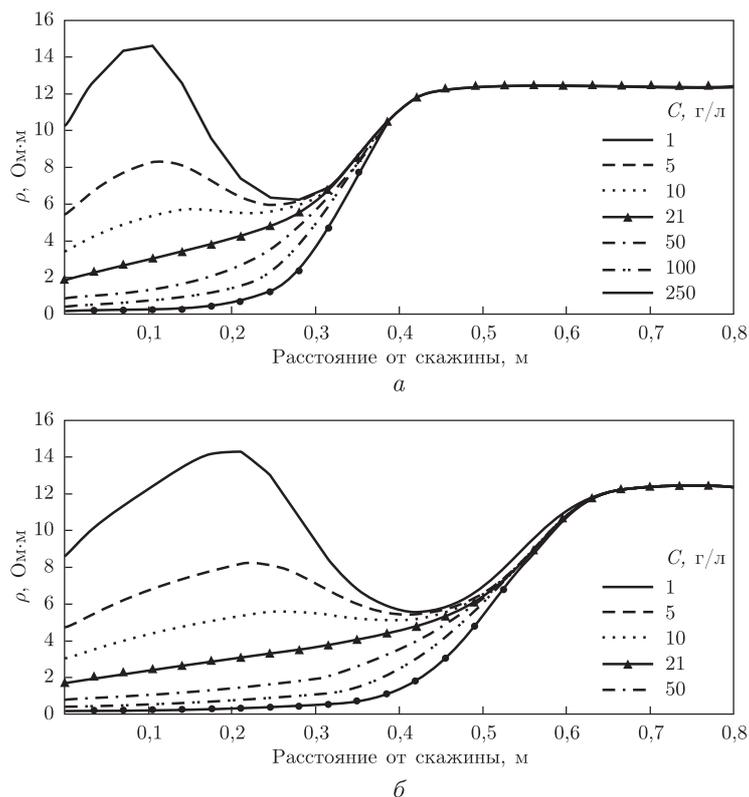


Рис. 2. Радиальное распределение УЭС при различных концентрациях бурового раствора для хорошо проницаемого и нефтенасыщенного слоя. Активное гидродинамическое воздействие на пласт: a — 0,6 сут; b — 3 сут.

Параметры пласта: $K_n = 21,3\%$, $K_{np} = 87,6$ мД, $K_n = 70,8\%$

Здесь $\rho(\vec{r})$ — пространственное распределение УЭС среды; ρ_i — КС; I_i — сила тока, протекающего между электродом A и электродами At , Ab для i -го измерения (геометрический фактор K_i также будет отличаться для каждого значения $U_i^A - U_i^{Ab,At}$); $U_i^A - U_i^{Ab,At}$ — измеряемая разность потенциалов (U_i^A — потенциал электрода A ; $U_i^{Ab,At}$ — общая величина потенциала электродов At и Ab , конструктивно соединенных низкоомной шиной. Считается, что их потенциалы относительно бесконечно удаленной точки равны). Фактически ограничение количества измерений будет определяться необходимым временем для каждого такого измерения и временем нахождения зонда в каждой точке по оси скважины (последняя определяется скоростью каротажа).

Следовательно, разделяя пласт на зоны фиксированных размеров (границами зон будут цилиндры, соосные со скважиной) и определяя УЭС каждой зоны, мы сможем аппроксимировать модель пласта любого количества слоев. При этом, если УЭС соседних зон совпадает, значит эти зоны относятся к одному слою в классической терминологии.

Согласно представленным на рис. 3 данным при решении обратной задачи для МЭК-И, следует, что рассмотренная модель есть четырехслойная. Выбранные размеры зон (0,05 м) позволяют описать и модель пласта, представленную на рис. 2.

Таким образом, на основании изложенного выше можно сделать следующий вывод, что использование конструктивно простых многозондовых комплексов ЭК или ИК позволяет

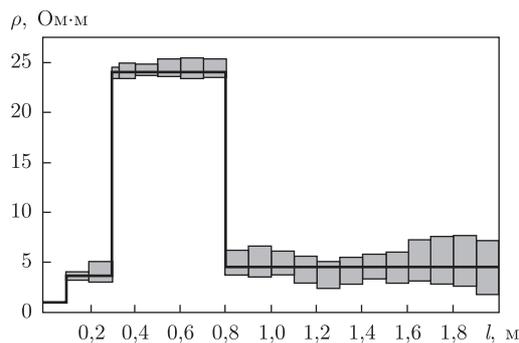


Рис. 3. Пример решения обратной задачи МЭК-И, не ограниченный четырехслойной моделью пласта

без привлечения дополнительных методов восстанавливать геоэлектрические параметры самых актуальных моделей пластов даже с учетом гидродинамических процессов при бурении скважин.

1. Дажнов В. Н. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. – Москва: Недра, 1972. – 368 с.
2. Технология исследования нефтегазовых скважин на основе ВИКИЗ. Методическое руководство / Под ред. М. И. Эпова, Ю. Н. Антонова. – Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ния РАН, 2000. – 121 с.
3. Ельцов И. Н., Кашеваров А. А., Нестерова Г. В. Гидродинамические процессы при бурении скважины и их влияние на результаты геофизических исследований // Геофиз. журн. – 2009. – **31**, № 4. – С. 132–141.
4. МIRONЦОВ Н. Л. Импульсный боковой каротаж с повышенным пространственным разрешением // Доп. НАН України. – 2010. – № 5. – С. 120–122.

Институт геофизики им. С. И. Субботина
НАН Украины, Киев

Поступило в редакцию 21.08.2012

М. Л. Миронцов

Метод побудови геоелектричної моделі пласта-колектора за даними електрометрії свердловин

Розглянуто різні підходи при виборі геоелектричної моделі пласта. На прикладі апаратури МЕК-І показано, як за допомогою конструктивно простих багатозондових комплексів можливий точний опис найскладніших цих моделей, включаючи моделі, що враховують гідродинамічні процеси при бурінні свердловин. Показано, що запропонований метод побудови геоелектричної моделі не обмежує клас можливих класичних багатозондових моделей.

M. L. Myrontsov

A method of construction of a geoelectrical model of reservoir bed by the data of borehole electrical measurements

Various approaches to the choice of a geoelectrical model of bed are considered. In terms of MEK-I equipments, it is shown how such most complicated models including those, in which hydrodynamic processes during borehole drilling are taken into account, can be described accurately through the use of multiprobe complexes simple in design. It is shown that the proposed method of construction of a geoelectrical model does not limit the class of possible classical multibed models.