

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Ухтинский государственный технический университет

**Сборник лабораторных работ
по дисциплинам: «Геофизические исследования скважин» и
«Промысловая геофизика»
Часть I**

Методические указания для студентов специальностей
130201 «Геофизические методы поисков и разведки
месторождений полезных ископаемых»,
130304 «Геология нефти и газа»,
130503 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

Ухта 2005

УДК 550.83.00/2

Е 64

Енцов, И.И. Сборник лабораторных работ по дисциплинам: «Геофизические исследования скважин» и «Промысловая геофизика» [Текст]: метод. указания для студентов специальностей 130201 «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых», 130304 «Геология нефти и газа», 130503 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений». В 2 ч. Ч.1. / И.И.Енцов. – Ухта: УГТУ, 2005. – 47 с.; ил.

В методических указаниях рассматриваются: цель работы, физические основы метода, аппаратура, интерпретация диаграмм, порядок выполнения работы, отчетность. Приводится список рекомендуемой литературы.

Методические указания соответствуют учебному плану

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой ГМИС протокол № 3 от 18.11.2005 г. и рекомендованы к изданию.

Рецензент зав. кафедрой ГМИС, к.г.-м.н. Зыков В.А.

Редактор Скоробогатова Н.А.

В методических указаниях учтены замечания рецензента и редактора.

План 2005г., позиция 149.

Подписано в печать 12.12.05 г. Компьютерный набор.

Объем 47 с. Тираж 50 экз. Заказ № 196.

© Ухтинский государственный технический университет, 2005
г. Ухта, ул. Первомайская, 13.

Отдел оперативной полиграфии УГТУ
г. Ухта, ул. Октябрьская, 13.

Оглавление

1. Лабораторная работа №1. Обычные зонды метода кажущего сопротивления	4
2. Лабораторная работа №2. Боковое электрическое зондирование	10
3. Лабораторная работа №3. Метод нефокусирующих микрозондов	20
4. Лабораторная работа №4. Метод сопротивления экранированного заземления	26
5. Лабораторная работа №5. Индукционный метод	36

Лабораторная работа № 1

ОБЫЧНЫЕ ЗОНДЫ МЕТОДА КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ (КС)1.1.Цель работы

Целью работы является закрепление теоретического материала, связанного с графическими исследованиями скважины метода КС, изучение строения зондов, их обозначение, классификации, расчет коэффициентов, масштабов записи.

1.2.Физические основы метода КС

В основу метода КС положена дифференциация горных пород по их удельному электрическому сопротивлению (ρ).

Удельное электрическое сопротивление горных пород ρ характеризует их способность пропускать электрический ток.

$$\rho = \frac{RS}{L},$$

где R - полное электрическое сопротивление породы,

S - площадь поперечного сечения,

L - длина.

В системе СИ единицей измерения электрического удельного сопротивления служит Омм.

Удельное электрическое сопротивление горных пород зависит от минерального состава, структуры пористости, нефте-, газо-, водонасыщенности, температуры, давления и ряда других факторов. Оно может изменяться от долей до многих тысяч омметров.

Удельное электрическое сопротивление пород определяется с помощью четырехэлектродной установки. Принципиальная схема измерения удельного электрического сопротивления приводится на рис 1.1.

Электрический ток вводится в породы через электроды (заземления), которые называются токовыми и обозначаются буквами А и В. Между электродами М и N, называемыми, измерительными, определяется разность потенциалов ΔU .

Электроды одинакового назначения (токовые или измерительные), входящие в состав зонда, именуются парными, а электроды разного назначения, например, А и М-непарными.

Для измерения удельного электрического сопротивления пород в скважинах три электрода помещают вдоль оси скважины. Четвертый электрод В или N располагают возле устья. Совокупность электродов А, М, и М, А и В, закрепленных на определенных расстояниях, называют обычным зондом кажущегося сопротивления.

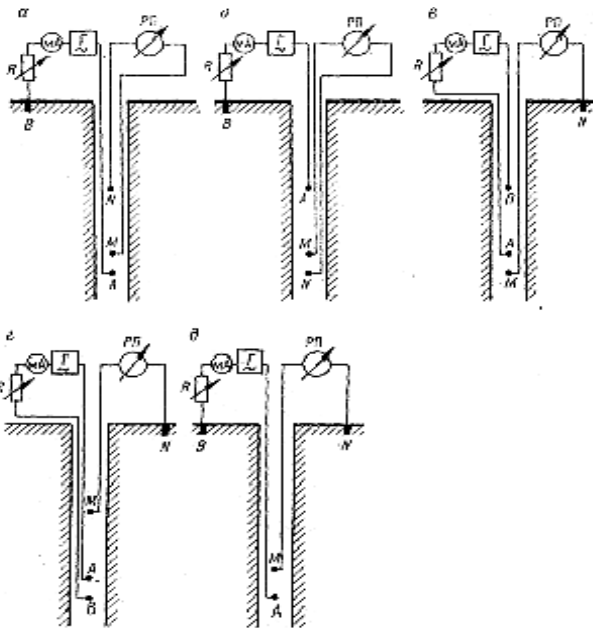


Рис1.1 Схемы измерения кажущегося сопротивления горных пород в скважине обычными зондами разных типов

а,б - однополюсные зонды; *в,г* - двухполюсные (*а, в*- потенциал зонды; *б,г* - градиент зонды); *д* - идеальный потенциал-зонд. *Г* - генератор тока для создания электрического поля в скважине; *Р* - реостат; *РП* - регистрирующий прибор.

Зонды обозначают в виде последовательного (сверху вниз) в порядке расположения в скважине сочетания буквенных наименований электродов с указанием расстояний между ними в метрах, например М4А0,5В. Результаты измерений относятся к точке записи О расположенной на половине расстояния между сближенными электродами.

В однородном изотропном пространстве записываемая разность потенциалов между точками М и N равна $\Delta U = U_M - U_N = \frac{\rho I}{4\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} \right)$, или $\Delta U = \frac{\rho \cdot I}{4\pi} \frac{MN}{AM \cdot AN}$

где AM, AN и MN - расстояния между электродами А и М, А и N, М и N;

I - сила тока в цепи.

По результатам измерений U и I можно определит ρ .

$$\rho = 4\pi \frac{AM \cdot AN}{MN} \cdot \frac{\Delta U}{I} = K \frac{\Delta U}{I}$$

В неоднородной среде получают не истинное, а кажущееся удельное сопротивление $\rho_k = K \frac{\Delta U}{I}$.

Кажущееся сопротивление зависит от расстояний между электродами зонда, формы и размеров неоднородностей окружающего зонд пространства, мощности пласта $h_{пл}$, диаметра скважины d_c , толщина глинистой корки $h_{гк}$, диаметра зоны проникновения фильтрата промывочной жидкости $D_{зп}$, удельных сопротивлений промывочной жидкости ρ_c , глинистой корки $\rho_{гк}$, пласта $\rho_{п}$ и вмещающих пород

$\rho_{вм}$.

1.3.Классификация зондов

Зонды метода кажущегося сопротивления подразделяются на потенциал- и градиент- зонды:

Потенциал – зонды

Потенциал зондом называют зонд, измеряемое кажущееся сопротивление которым определяется в основном потенциалом U_M электрода М. Идеальным (предельным) потенциал – зондом именуют такой зонд, у которого электрод N удален в бесконечность и потенциал которого стремится к нулю.

Разность потенциалов, измеряемая между электродами М и N идеального потенциал зонда:

$$\Delta U_{MN} = (U_M - U_N)_{U_N=0} = U_M = \rho_n I / 4\pi AM.$$

Отсюда кажущиеся сопротивления, измеренное идеальным потенциалом – зондом:

$$\rho_k = 4\pi AM \cdot \frac{U_M}{I} = K_n \frac{U_M}{I}$$

где $K_n = 4\pi AM$ - коэффициент предельного потенциала-зонда.

Идеальный предельный потенциал – зонд должен быть двухэлектродным (А и М).

Результаты измерений таким зондом искажены взаимной индукцией между жилами кабеля на которых размещены электроды А и М. Поэтому в измерительную схему вводится еще одна жила кабеля с электродом N. Жилы кабеля соединяют по бифилярной схемы, что в значительной мере уменьшает влияние индуктивной помехи. Реальный потенциал зонд должен удовлетворять условиям:

$$MN \geq (5 \div 10) AM \text{ и } AB \geq (5 \div 10) AM.$$

Кажущееся сопротивление измеряемое потенциалом – зондом, относится к условной точке О – середины расстояния между электродами А и М. При таком положении точки записи кривые ρ_k симметричны относительно середины пластов. Радиус исследования потенциал – зонда приблизительно соответствует его удвоенному размеру, т.е. $2AM$.

Градиент- зонд

Градиент-зондом называется зонд, измеряемое кажущее сопротивление которым пропорционально градиенту потенциала $\text{grad}U$ в точке, расположенной между измерительными электродами М и N, находящимися на некотором удалении от питающего электрода А.

В предельном (идеальном) градиент – зонде расстояние AN (т.е. Δr) между измерительными электродами М и N стремится к нулю, поэтому

$$\frac{\Delta U}{\Delta r} r \rightarrow 0 = \frac{dU}{dr} = -\text{grad}U = E.$$

Согласно выражению для напряженности электрического поля в однородном безграничном пространстве можно записать:

$$E = \frac{\rho_{\kappa} I}{4\pi AO^2}.$$

где АО- расстояние от электрода А до точки О, расположенной посередине между электродами М и N .

Из последней формулы следует, что кажущееся сопротивление, измеряемое предельным градиент – зондом:

$$\rho_{\kappa} = AO^2 E / K \frac{E}{I},$$

где $4\pi AO^2 = K$ - коэффициент предельного градиент-зонда.

В скважинах кажущееся сопротивление измеряется не идеальными градиент – зондами, так как нельзя установить электроды М и N (А и В) бесконечно близко друг к другу и кроме того при значительном сближении электродов измеряемая разность потенциалов ΔU настолько уменьшается, что ее точное измерение становится невозможным.

Реальные градиент- зонды должны удовлетворять условиям:

$$MN \leq \left(\frac{1}{5} \div \frac{1}{10} \right)_{AM} \text{ и } AB \left(\frac{1}{5} \div \frac{1}{10} \right)_{AM} .$$

Такой записи О градиент- зонда считается середина между электродами М и N. Радиус исследования градиент – зонда приблизительно равен его длине (расстояние АО).

Однополюсные и двухполюсные зонды

Согласно принципу взаимозаменяемости, значения КС не изменяются, если сохранив расстояние между питающими и измерительными электродами, взаимно заменить их назначение, т.е. пропустить ток через электроды М и N и измерить разность потенциалов между электродами А и В.

Зонды, состоящие из одного питающего и двух измерительных электродов, называются однополюсными или зондами прямого питания. Зонды, состоящие из двух питающих и одного измерительного электрода, называются двухполюсными или зондами взаимного питания.

Последовательные и обращенные зонды

Зонды, у которых парные электроды (М и N у однополюсных и А и В у двухполюсных) расположены ниже непарного, называются последовательными, а зонды с парными электродами расположенными выше непарного (А и М), - обращенными.

Для градиент зондов помимо того, применимы термины кровельный и обращенный зонд. Кровельный – это обращенный зонд, подошвенной-последовательный.

1.4. Устройство зондов

При геофизических исследованиях обычно применяют многоэлектродные установки (рис 1.2) представляющие собой сочетания нескольких трехэлектродных зондов с общими токовыми электродами. Число электродов и расстояния между ними выбирают такими, чтобы можно было скомбинировать необходимые зонды для стандартной электрометрии и бокового электрического зондирования.

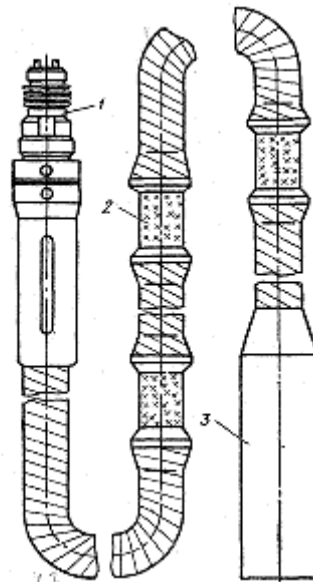
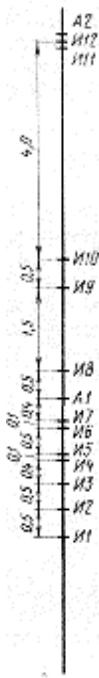


Рис 1.2. Схема размещения электродов Рис 1.3. Многоэлектродная установка для электрометрии скважин

Нижний конец зондовой установки (рис 1.3) снабжен наконечником 3 для механического и электрического соединения со скважинным прибором, сверху расположена стандартная кабельная головка 1, служащая для присоединения к геофизическому кабелю.

Для изготовления многоэлектродных зондовых установок используется специальный 17-жильный кабель типа КГ17-60-180 ШМ в шланговом защитном и изоляционном покрытии. К 16 жилам этого кабеля в соответствующих местах припаивают стальные или свинцовые (для измерения ПС) электроды 2. Места их присоединения тщательно изолируют. Сопротивление изоляции должно быть не менее 10 Мом.

Для предотвращения трения электрода в стенку скважины по обе стороны от каждого электрода устанавливают утолщения из сырой резины. Электроды изготавливают в виде кольца или спирали длиной 4-5 см.

1.5. Запись диаграмм обычными зондами КС

Диаграммы кажущихся сопротивлений могут быть зарегистрированы в различных масштаб глубин и сопротивлений. Масштабы глубин устанавливаются переключателем масштаб глубин регистрирующим прибором. Масштабы кажущихся сопротивлений определяются по стандартам – сигналу, измеренному на эталонном R_{cc} в цепи питания.

Получаемый при этом сигнал эквивалентен ρ_k , равному 40 и 200 Ом (две позиции переключателя). Стандарт сигнал 200 Ом в основном используется для проверки работоспособности и настройки аппаратуры, а стандарт сигнал 40 Ом – для установки масштабов записи кривых ρ_k по формуле:

$$L = 40 / n_{kc},$$

где L - отклонение блика гальванометра

n_{kc} - масштаб кривой КС.

Расчетного отклонения L в основном добиваются регулированием постоянной по напряжению в канале каротажного регистратора.

1.6. Задание по лабораторной работе

1. Изучить физические основы метода КС.
2. Изучите классификацию зондов метода кажущего сопротивления. Запишите их в таблицу с графическими изображениями соответствующих зондов с указанием их размеров и точек записи КС.
3. Дайте обозначения и укажите размеры зондов для расстояний между электродами, указанными преподавателем.
4. Рассчитайте коэффициенты зондов, предложенных преподавателем.
5. Рассчитайте масштабы записей диаграмм КС по данным, приведенным преподавателем.

Таблица 1.1

Классификация зондов метода КС

Градиент зонд				Потенциал зонд			
Последовательный		Обращенный		Последовательный		Обращенный	
Однополюсный	Двухполюсный	Однополюсный	Двухполюсный	Однополюсный	Двухполюсный	Однополюсный	Двухполюсный
1	2	3	4	5	6	7	8

1.7. Оформление отчета по лабораторной работе

Результаты выполнения лабораторной работы представьте в виде отчета, который должен содержать краткое изложение теоретических основ измерения зондами КС, результаты заполнения таблицы 1 и выполнения заданий по пунктам 3-5.

Литература:

1. Дьяконов Д. И., Леонтьев Е. И., Кузнецов Г. С. Общий курс геофизических исследований скважин: учебник, 2-е изд., перераб. – М.: Недра, 1984. -432с.
2. Загоротко Ю. М. Геофизические методы исследования скважин: Учебник для техникумов.- М.: Недра, 1983.-211с.
3. Кривко Н. Н., Шароварин В.Н., Широков В.Н. Промыслово- геофизическая аппаратура и оборудование: Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1981.- 280с.
4. Петров Л.П., Широков В.Н., Африкян А.Н. Практикум по общему курсу геофизических исследований скважин: Учеб. пособие для вузов. – М.: Недра. 1987.- 220с.
5. Померанц Л.И., Белокопъ Д.В., Козяр В.Ф. Аппаратура и оборудование геофизических методов исследования скважин: Учебник для техникумов.- М.: Недра, 1985.- 271с.

Лабораторная работа № 2

БОКОВОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

2.1. Цель работы

Целью данной работы является ознакомление студентов с методом бокового электрического зондирования (БЭЗ), принципами обработки и интерпретации диаграмм БЭЗ.

2.2. Физические основы метода БЭЗ

БЭЗ заключается в проведении на исследуемом интервале скважины измерений кажущегося сопротивления (кс) несколькими однотипными зондами разной длины. Обычно применяются градиент-зонды и, как правило, подошвенные или последовательные градиент зонды: А0,4М0,1N; А1М0,1N; А2М0,5N; А4М0,5N; А8М1N. Для более точной отбивки кровли пластов часто в комплекте БЭЗ используется кровельный градиент-зонд.

По мере увеличения длины зонда увеличивается радиус исследования, который примерно соответствует длине зонда.

При проведении измерений исследуют зону, в которую попадают: скважина (столб промывочной жидкости (ПЖ)), пласт и промежуточная зона. Промежуточные зоны бывают разного вида: зона проникновения, ослабленная зона и зона растепления.

Зона проникновения образуется в результате проникновения в пласт фильтрата ПЖ. Различают повышающее (повышающее удельное сопротивление пласта), понижающее (понижающее удельное сопротивление пласта) и нейтральное проникновение фильтрата ПЖ. При повышающем проникновении удельное сопротивление зоны проникновения больше, чем удельное сопротивление неизменной части пласта ($\rho_{зп} > \rho_{п}$), при понижающем проникновении $\rho_{зп} < \rho_{п}$ и при нейтральном - $\rho_{зп} \approx \rho_{п}$.

В пределах зоны проникновения, у стенки скважины, выделяют промытую зону пласта, в порах которой пластовая вода практически полностью замещена фильтратом ПЖ. В нефтеносной толще на границе зоны проникновения и неизменной части пласта образуется окаймляющая зона пониженного удельного сопротивления, где нефть замещена минерализованной пластовой водой.

В результате проникновения фильтрата ПЖ на стенке скважины отлагается глинистая корка.

Ослабленная зона возникает в некоторых породах при бурении скважины вследствие появления трещиноватости в прискважинной части пласта, что снижает удельное сопротивление в этой зоне. Кривые БЭЗ, построенные для таких пластов, соответствуют кривым, снятым при понижающем проникновении фильтрата ПЖ. Против пластов с ослабленной зоной часто наблюдается увеличение диаметра скважины.

Зона растепления образуется в многолетнемерзлых породах. Ее сопротивление уменьшается из-за частичного или полного расплавления льда под действием тепла вокруг скважины. При наличии зоны растепления кривые БЭЗ соответствуют кривым понижающего проникновения фильтрата ПЖ.

Исследуемый пласт может быть представлен чередованием прослоев низкого и высокого сопротивлений. Такой пласт называют пачкой.

Над и под исследуемым пластом располагаются вмещающие породы, которые могут быть неоднородны и содержать пласт, резко выделяющийся по сопротивлению и искажающий кривые КС против исследуемого пласта.

Присутствие такого экранирующего пласта необходимо учитывать при интерпретации БЭЗ.

2.3. Порядок выполнения БЭЗ в скважинах

БЭЗ в скважинах обычно проводят с помощью многоэлектродного зонда (см. лабораторную работу № 1) и многоканальной аппаратуры КСП, позволяющей одновременно регистрировать несколько кривых КС. Аппаратура КСП с частотной модуляцией сигнала и частотным разделяющим каналом обеспечивает одновременное измерение трех кривых ρ_k и кривой $U_{сп}$ или четырех кривых КС.

Имеются модификации аппаратуры КСП – КСП-2 и КСП-М. Комплексная скважинная малогабаритная аппаратура КСП-М состоит из глубинного прибора с многоэлектродным зондом и наземной панели. Блок-схема аппаратуры КСП-М приводится на рис. 2.1. Кривые КС записываются однополюсными зондами с общим токовым электродом А. Обратным токовым электродом В служит броня кабеля. Разности потенциалов, снимаемые с четырех пар измерительных электродов, образующих с электродом А четыре разных зонда КС, передаются на поверхность по линии связи с помощью частотно-модулированных колебаний. Сигнал СП проходит по кабелю в виде медленно меняющегося тока.

За три спуско-подъема (цикла) КСП-М записываются кривые СП, стандартной электрометрии и полного бокового электрического зондирования. За первый цикл регистрируются показания “стандарт-сигнал”, кривые зондов А2М 0,5N; А4М0,5N; А0,5М8N, за второй цикл кривые зондов А8М1N; N0,5М2А; А1М0,1N; А0,4М0,1N, за третий цикл – кривая СП.

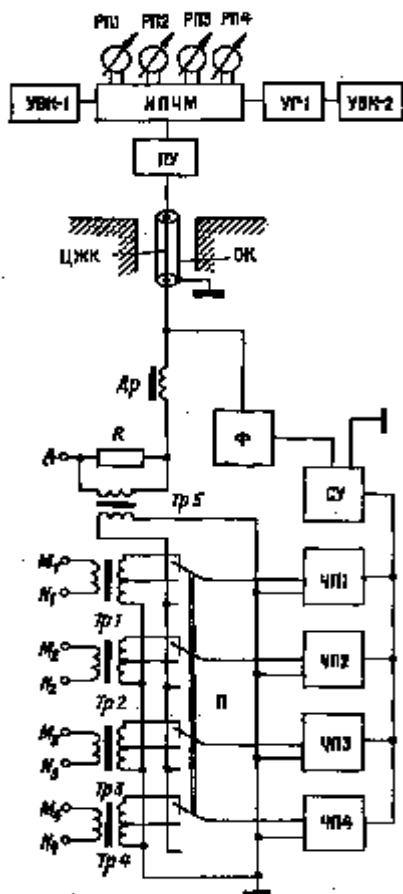


Рис. 2.1. Блок-схема аппаратуры КСП-М
ЦЖК, ОК – центральная жила и оплетка кабеля

За три спуско-подъема (цикла) КСП-М записываются кривые СП, стандартной электрометрии и полного бокового электрического зондирования. За первый цикл регистрируются показания “стандарт-сигнал”, кривые зондов А2М 0,5N; А4М0,5N; А0,5М8N, за второй цикл кривые зондов А8М1N; N0,5М2А; А1М0,1N; А0,4М0,1N, за третий цикл – кривая СП.

2.4. Интерпретация данных БЭЗ

Интерпретация результатов БЭЗ заключается в построении фактической кривой БЭЗ и сопоставления ее с теоретическими кривыми,

полученными для определенной среды. В случае совпадения кривых параметры среды теоретической кривой присваиваются исследуемому пласту.

Для пластов неограниченной толщины рассчитаны двухслойные и трехслойные палетки, которые объединяют кривые БЭЗ, построенные для разреза, содержащего две (ρ_c и ρ_n) и три (ρ_c , ρ_{zn} , ρ_n) среды.

Особенность кривых БЭЗ – наличие двух асимптот: правой – ρ_n и левой – ρ_c . Переход от значений ρ_k , близких к ρ_c , к значениям, близким к ρ_n , осуществляется через экстримум (максимум при $\rho_n > \rho_c$).

На кривых БЭЗ имеются точки, в которых они пересекают правую асимптоту. Через эти пересечения проводят пунктирную линию А – геометрическое место точек кривых БЭЗ, где кажущееся сопротивление равно истинному удельному сопротивлению пластов. Для удобства построения кривых БЭЗ на палетках нанесена также линия В, проходящая через максимумы (минимумы) кривых БЭЗ.

Важной деталью палетки БЭЗ является точка пересечения линии $\rho_k = \rho_c$ и $L_r = d_c$, так называемый крест палетки (скважины), необходимый при сопоставлении фактической и теоретической кривых БЭЗ.

Для кривых БЭЗ применяются понятия правой и левой ветвей. К левой ветви относят точки кривой, соответствующие малым зондам, на показания которых оказывают большое влияние параметры скважины. Поэтому при интерпретации этой части кривой БЭЗ, крест скважины фактической кривой обязательно совмещают с соответствующим крестом палетки. Правая ветвь соответствует большим зондам, значения КС которых мало искажены влиянием скважины. Поэтому при сопоставлении правых ветвей можно смещать кресты фактической и теоретической кривых БЭЗ.

Двухслойные кривые сведены в двухслойные палетки БЭЗ – 1а (для $\rho_n > \rho_c$) и БЭЗ – 1б (для $\rho_n < \rho_c$). Трехслойные кривые собраны в семейства “дробных” палеток, каждая из которых построена для определенных параметров зоны проникновения

$$D/d_c = 2; 4; 8; 16 \quad \text{и} \quad \rho_{zn}/\rho_c = 5; 10; 20; 40; 100; 200.$$

Для случая понижающего проникновения фильтрата промывочной жидкости может быть также использована палетка ЭК – 2, а для повышающего проникновения – палетки БЭЗ – У, использующие принцип эквивалентности кривых БЭЗ.

Явление эквивалентности кривых БЭЗ заключается в том, что различным разрезам соответствуют кривые, полностью или частично совпадающие друг с другом.

Пример эквивалентности, связанный со слоем высокого сопротивления, – У-эквивалентность, имеющая место при неглубоком повышающем проникновении и заключающаяся в том, что для разрезов с различными параметрами зоны проникновения кривые БЭЗ практически одинаковы, или сохраняется постоянной

величина параметра $U = \left[\frac{(\rho_{zn} - \rho_n)}{\rho_c} \right] \lg \left(\frac{D}{d_c} \right)$. Явление U-эквивалентности наблюдается, если параметры зоны проникновения не превышают значений, указанных ниже:

ρ_{zn} / ρ_c	5	10	20	40	100	200
D / d_c	2	2	3	4	6	8

Если U-эквивалентность имеет место, то по кривой БЭЗ, не привлекая дополнительных данных, нельзя определить одновременно оба параметра зоны проникновения ρ_{zn} / ρ_c и D, но можно лишь определить параметр U.

При наличии слоя низкого сопротивления (понижающее проникновение) параметром эквивалентности служит величина A:

$$A = 10 \frac{\sigma_{zn} - \sigma_n}{\sigma_c} \left(\frac{D^2}{d_c^2} - 1 \right),$$

где σ_{zn} , σ_n , σ_c – удельная электропроводность зоны проникновения, пласта и бурового раствора.

A-эквивалентность имеет место только при неглубоком проникновении, в случае, когда параметры зоны проникновения превышают значений, указанных ниже:

ρ_{zn} / ρ_c	5	10	20	40	100	200
D / d_c	1,5	2	2	3	4	6

Для пластов конечной толщины построены палетки ЭКЗ (экстремальных кривых зондирования) и палетки ЭКЗТ (экстремальных кривых зондирования трехслойных). На палетке выделены прямые $\rho_k = \rho_c$ и $L_r = d_c$, пересечение которых определяет крест скважины и прямые $\rho_k = \rho_{вм}$ и $L_r = h$, пересечение которых является крестом пласта или точкой учета мощности (ТУМ).

Палетки ЭКЗ предназначены для интерпретации кривых зондирования градиент-зондами в пластах ограниченной толщины без проникновения фильтрата промывочной жидкости. Всего имеется 70 палеток, полученных для толщины пласта от 1 до 24 d_c ($\rho_{вм} / \rho_c = 0,5; 1; 2,5; 5; 10; 25$ и 100).

Палетки ЭКЗТ используются при интерпретации кривых зондирования градиент-зондами в пластах конечной толщины с проникновением фильтрата промывочной жидкости в пласт. В комплекте палеток ЭКЗТ имеется 78 палеток на 13 листах. На каждом листе расположено по 4, 6 и 9 палеток, соответствующих

разным значениям отношений ρ_{zn}/ρ_c и D/d_c для фиксированных значений h/d_c и $\rho_{эм}/\rho_c$.

Построение фактических кривых БЭЗ

Для построения фактических кривых БЭЗ необходимо выделить пласты, для которых возможна количественная интерпретация. Границы пластов определяют по кривым КС стандартных и малых зондов БЭЗ. Уточнение положения границ пластов можно проводить по диаграммам микрозондов и других методов каротажа.

После выделения пластов и определения их толщин снимают отсчеты кажущегося удельного сопротивления с диаграмм, записанных зондами БЭЗ. При этом рекомендуется, придерживаться правил, учитывающих соотношение между размером зонда, толщиной пласта и диаметром скважины:

1. Отсчет средних значений ($\rho_{к.ср}$) снимают для пластов большой толщины ($h \gg L_T$).

2. При $\rho_n > \rho_{вм}$ и $h/d_c > 16 \div 25$ наиболее целесообразно снимать оптимальные значения ($\rho_{к.опт}$). Для этого от границы пласта со стороны удаленного электрода градиент- зонда отступают внутрь пласта на длину зонда L_T , значения ρ_k против оставшейся части усредняются; при длине зонда, близкой к толщине пласта ($L_T > 0,8 h$), отсчет $\rho_{к.опт}$ нецелесообразен.

3. Для пластов, толщина которых близка или меньше размера зонда ($h < 3-5$ м), используют экстремальные значения $\rho_{к.макс}$ и $\rho_{к.мин}$: максимальные для пластов с $\rho_n > \rho_{вм}$ и минимальных для пластов с $\rho_n < \rho_{вм}$.

Пример отсчета значений ρ_k приведены на рис. 2.2.

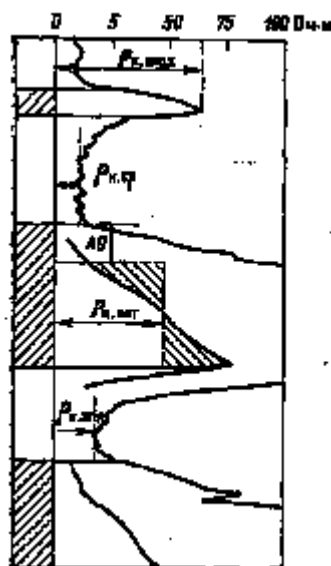


Рис 2.2. Снятие оптимального $\rho_{к.опт}$, среднего $\rho_{к.ср}$ и экстремальных $\rho_{к.макс}$ и $\rho_{к.мин}$ значений кажущегося сопротивления

Диаметр скважины против плотных пород берут номинальным, равным диаметру долота, которым бурят скважину. В случае проникновения фильтрата промывочной жидкости образуется глинистая корка. Удельное сопротивление глинистой корки близко к сопротивлению промывочной жидкости, их можно отождествлять, поэтому диаметр скважины в этом случае также берут номинальным.

При увеличении диаметра скважины (главным образом против пластов глин и соли) для интерпретации используют его фактические значения, определяемые по кавернограмме.

В случае проницаемого пласта с увеличенным по сравнению с номиналом диаметром скважины (например, карбонаты с ослабленной зоной) следует брать фактический диаметр плюс удвоенная толщина глинистой корки. При сужении диаметра скважины против глин используют ее фактический диаметр по кавернограмме.

Определение удельного сопротивления промывочной жидкости наиболее часто производят: непосредственно по диаграммам резистивиметра или по замерам на пробах раствора с последующим внесением температурной поправки; по результатам интерпретации БЭЗ в плотных пластах с высоким сопротивлением. Температурную поправку можно найти по палетке (рис. 2.3).

Удельное сопротивление вмещающих пород определяют по данным бокового электрического зондирования или по замеру одним большим зондом, показания которого практически равны истинному сопротивлению вмещающих пород.

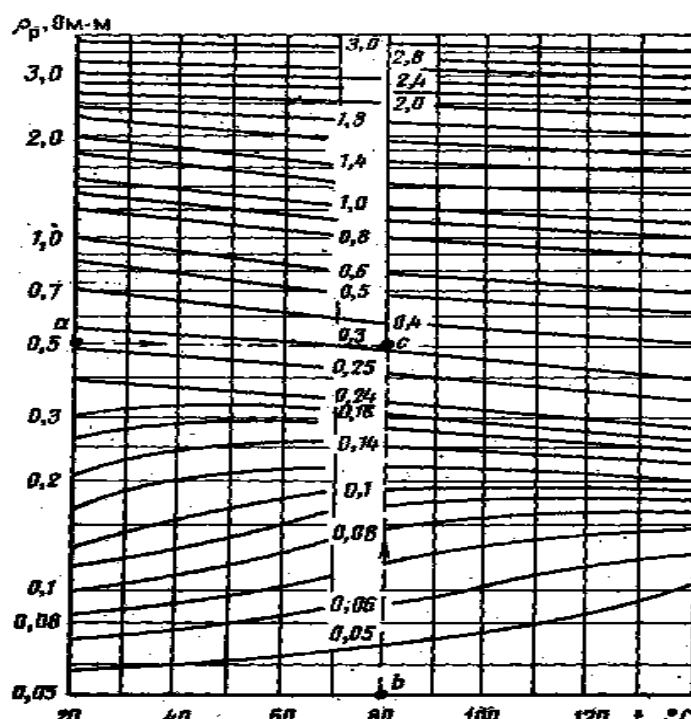


Рис 2.3. Определение удельного электрического сопротивления

Фактические кривые БЭЗ строятся на билогарифмическом бланке, модуль шкалы которого равен 6,25 см. На интерпретационный бланк наносят значения кажущегося сопротивления, соответствующие зондам комплекта БЭЗ, откладывая их по оси ординат, а размеры зондов – по оси абсцисс.

При интерпретации также используют линии: диаметра скважины, толщины пласта, удельного сопротивления промывочной жидкости и удельного сопротивления вмещающих пород, необходимые для нанесения креста скважины и креста пласта. Эти кресты кривых БЭЗ для удобства могут смещаться при необходимости на один или два модуля бланка.

После нанесения на бланк фактической кривой БЭЗ, построенной для интерпретируемого пласта, ее совмещают с одной из теоретических кривых. В случае их совпадения параметры среды теоретической кривой переносят на интерпретируемый пласт.

2.5. Порядок выполнения работы

1. Выделяются однородные пласты, пригодные для количественной интерпретации. Определяется их кровля, подошва, мощность.

2. Отсчитываются значения КС. Для пластов мощностью более 20 м можно отсчитывать средние значения; для пластов, мощность которых превышает длину самого большого зонда, желательно отсчитывать оптимальные значения. В пластах с $h < L_T$ ($h = 3 \div 5$ м) находятся экстремальные ρ_k .

3. Отсчитанные значения ρ_k , записанные зондами разной длины, заносятся в таблицу и наносятся на билוגарифмический прозрачный бланк. По оси абсцисс откладываются длины зондов, по оси ординат – соответствующие им величины ρ_k . На бланк наносятся также крест скважины с координатами ρ_c и d_c . Удельное сопротивление бурового раствора берется с бланка диаграммы стандартного каротажа с корректировкой на температуру пласта.

Диаметр скважин, как правило, учитывается номинальный, равный диаметру долота. В пластах же, диаметр скважины в которых существенно отличается от номинального, отсчитывается фактический диаметр.

В пластах ограниченной мощности кроме того на бланке наносится крест пласта с координатами $\rho_{вм}$ и h .

4. Устанавливается тип фактической кривой зондирования.

Для этого совмещаются крест скважины фактической кривой БКЗ с крестом палетки БКЗ – С – 1.

Если фактическая кривая БЭЗ хорошо согласуется с теоретическими кривыми (совпадает с одной из кривых или располагается симметрично между теоретическими кривыми), то фактическая кривая двухслойная. Удельное сопротивление пласта ρ_n в этом случае находится в точке пересечения фактической кривой с пунктирной кривой А палетки. Значения ρ_n отсчитываются на оси ординат прозрачного бланка путем снесения точки пересечения на ось ординат.

Когда фактическая кривая сечет теоретические кривые палетки, среда трехслойная. Повышающему проникновению соответствует условие $\rho_p < \rho_{зп} > \rho_n$. Фактическая кривая БЭЗ в этом случае сечет своей правой ветвью теоретические кривые БЭЗ все с меньшим и меньшим модулем (значением ρ_n / ρ_c). При понижающем проникновении ($\rho_p < \rho_{зп} < \rho_n$) фактические кривые БЭЗ секут теоретические кривые все с большим и большим модулем.

5. При трехслойной кривой БЭЗ вначале находится $\rho_{зп}$ (ρ_Δ). Для этого совмещается крест скважины фактической кривой БЭЗ с крестом палетки БКЗ – С-1. По показаниям самого малого зондов (иногда используется лишь одна точка самого короткого зонда) проводится кривая до пересечения с пунктирной линией А палетки БКЗ – С – 1. Эти значения сносятся на ось ординат и таким образом получают величину $\rho_{зп}$ (ρ_Δ). Сопротивление зоны проникновения $\rho_{зп}$ делится на ρ_c и по полученному значению $\rho_{зп} / \rho_c$ подбирается серия палеток с $\rho_{зп} / \rho_n$, наиболее близким к найденному с фиксированными $D/d = 2; 4; 8; 16$. Накладывая бланк с фактической кривой БЭЗ на палетки с различными значениями D/d добиваются лучшего совмещения фактической кривой БЭЗ с теоретическими. Затем, по пересечению фактической кривой БЭЗ с пунктирной кривой А находят ρ_n . Величину D/d берут с бланка теоретических кривых БЭЗ, на котором наблюдается лучшее совмещение фактической кривой БЭЗ с теоретическими.

При неглубоком понижающем проникновении фильтрата ПЖ удельное сопротивление пород и D/d можно определить по палетке БКЗ – С – 1, используя палетку ЭК – 2, расположенную в левом нижнем углу палетки БКЗ – С – 1.

На палетке ЭК – 2 сплошной линией нанесены значения $\rho_{зп} / \rho_c$, а пунктирными – D/d . Передвигая крест фактической кривой БЭЗ по соответствующей кривой $\rho_{зп} / \rho_c$ добиваются наилучшего совмещения фактической кривой БЭЗ с палеточными в правой части. По пересечению фактической кривой БЭЗ с кривой А палетки БКЗ – С – 1 на оси ординат бланка фактической кривой БЭЗ находят ρ_n .

Значение D/d определяют по положению креста фактической кривой БЭЗ среди пунктирных кривых палетки ЭК – 2.

При неглубоком понижающем проникновении фильтрата ПЖ можно использовать палетки БКЗ – U. Приближенное значение ρ_n , необходимое для выбора

палетки БКЗ – U, находится по положению правой асимптоты или же по показаниям длинного градиент-зонда.

При этом интерпретация фактической кривой БЭЗ осуществляется в обычном для трехслойной среды порядке. По левой ветви кривой зондирования определяют величину параметра $U = \left[\frac{(\rho_{zn} - \rho_n)}{\rho_c} \right] \ln \left(\frac{D}{d} \right)$, по правой – уточненное значение ρ_n .

Подставляя в данную формулу значения U, ρ_{zn} , ρ_n , ρ_c и d, находят величину D.

При нахождении уточненного значения ρ_n разрешается для лучшего совмещения фактической кривой БЭЗ с теоретическими смещать крест фактической кривой БЭЗ по вертикали.

Интерпретация кривых БЭЗ в палетках ограниченной мощности осуществляется следующим образом.

Отсчитываются экстремальные значения ρ_k и наносятся на бланк фактической кривой БЭЗ. На этом же бланке фиксируются два креста: первый – с координатами $\rho_k = \rho_c$ и $L_r = d_c$, второй – со значениями $\rho_k = \rho_{вм}$ и $L_r = h$.

По величинам отношений h/d_c и $\rho_{вм}/\rho_c$ интерпретируемой кривой подбирается палетка ЭКЗ с такими же или ближайшими значениями данных модулей. Интерпретируемая кривая совмещается с палеточной вначале левым крестом. Определяется модуль палеточной кривой, проходящей через точки, соответствующими малым зондам. Рассчитывается $\rho_{п.лев} = \mu \rho_c$.

Затем совмещаются правые кресты, находится модуль палеточной кривой, с которой совпадает правая ветвь интерпретируемой кривой. Рассчитывается $\rho_{п.пр} = \frac{\mu}{\nu} \rho_{вм}$, где $\rho_{вм}/\rho_c$ - отношение, снимаемое с палетки, $\rho_{вм}$ – удельное сопротивление вмещающих пород.

Если $\rho_{п.лев} = \rho_{п.пр}$, то зона проникновения отсутствует или очень велика, или имеет нейтральное проникновение.

При $\rho_{п.лев} > \rho_{п.пр}$ имеем повышающее проникновение фильтра ПЖ, при $\rho_{п.лев} < \rho_{п.пр}$ – понижающее. В случае наличия проникновения фильтра ПЖ в пласт используются трехслойные палетки ЭКЗТ.

2.6. Оформление отчета по лабораторной работе

Результаты выполнения лабораторной работы оформляются в виде отчета, в котором кратко излагаются теоретические основы метода БЭЗ, результаты обработки и интерпретации диаграмм БЭЗ по какой-либо скважине.

К отчету прилагаются: таблицы отсчетов значений КС по интерпретируемым пластам, прозрачные бланки с построенными фактическими кривыми БЭЗ.

Литература

1. Дьяконов Д.И., Леонтьев Е.И., Кузнецов Г.С. Общий курс геофизических исследований скважин: Учебник. 2-е изд., перераб. – М.: Недра, 1994.- 432 с.
2. Интерпретация результатов геофизических исследований нефтяных и газовых скважин: /Справочник/ Под ред. Добрынина В.М. – М.: Недра, 1988. – 476 с.
3. Латышова М.Г. Практическое руководство по интерпретации диаграмм геофизических методов исследования скважин: Учебное пособие. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1991. –218 с.

Лабораторная работа № 3

МЕТОД НЕФОКУСИРОВАННЫХ МИКРОЗОНДОВ

3.1. Цель работы

Целью данной работы является усвоение теоретического материала, связанного с исследованиями нефокусированными микрозондами, изучение аппаратуры, техники и методики скважинных исследований, привитие навыков интерпретации диаграмм микрозондирования.

3.2. Физические основы метода

Метод микрозондирования заключается в измерении кажущегося сопротивления зондами малой длины, электроды которых укреплены на обрезиненном башмаке и прижаты рессорой или управляемым рычагом к стенке скважины (рис. 3.1). Диаметр раскрытия рессор или рычагов определяется диаметром скважины.

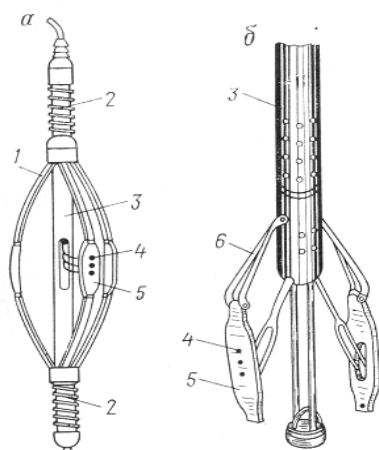


Рис 3.1.Схемы конструкций микрозондов с рессорным (а) и управляемым рычажным (б) прижимными устройствами
1-рессора; 2-пружина; 3-штанга; 4-электроды; 5-башмак; 6-рычаг

В практике используют микроградиент-зонд (градиент-микрозонд) А0,025М0,025N и микропотенциал-зонд (потенциал-микрозонд) А0,05М. Иногда для градиент-микрозонда употребляются обозначения А0,025М₁0,025М₂.

Радиус исследования градиент-микрозондом приблизительно равен длине микрозонда (около 4 см), а радиус исследования потенциал-микрозондом примерно в 2-2,5 раза больше его длины, т.е. составляет 10-12 см.

Между электродами микрозонда и породой находится промежуточный слой, представленный глинистой коркой или пленкой промывочной жидкости. За счет влияния этого слоя величина кажущегося сопротивления ρ_k будет в общем случае отличаться от истинного удельного электрического сопротивления породы.

Против пластов-коллекторов, где образуется глинистая корка, градиент-микрозонд изучает в основном сопротивление глинистой корки $\rho_{г.к.}$, а потенциал-микрозонд – сопротивление пород в пределах промытой зоны $\rho_{п.з.}$ (иногда обозначается $\rho_{п.п.}$), где основным флюидом является фильтрат промывочной жидкости, а также остаточные нефть и газ.

3.3. Аппаратура для регистрации кривых микрозондирования

Измерение КС градиент- и потенциал-микрозондами можно производить отдельно или одновременно с помощью многожильного или одножильного кабеля. Варианты схем измерения ρ_k микрозондами с трехжильным и четырехжильным кабелем показаны на рис. 3.2.

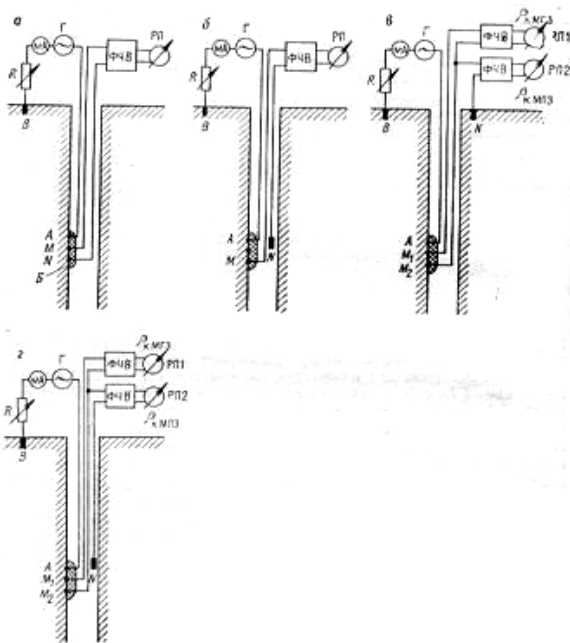


Рис 3.2 Принципиальные схемы измерения кажущего сопротивления пород микрозондами с многожильным кабелем

При раздельной записи кривых ρ_k градиент-микрозондом и потенциал-микрозондом башмак перемещается по стенке скважины в неодинаковых условиях (различная толщина промежуточного слоя между башмаком и породой, разная степень микроавернозности пород и др.), поэтому не всегда эти кривые сопоставимы. При записи кривой ρ_k потенциал-микрозондом в качестве электрода N используется корпус микрозонда.

В настоящее время широко применяется двухканальная аппаратура микрозондов, для работы с одножильным и трехжильным кабелями, сконструированная на основе телеизмерительной системы с частотной модуляцией и частотным разделением каналов. Такая аппаратура позволяет регистрировать одновременно две кривые КС градиент- и потенциал-микрозондов.

Схема двухканальной аппаратуры для микрозондирования с одножильным кабелем МДО-3 показана на рис. 3.3.

Питание скважинного прибора обеспечивается стабилизированным переменным напряжением с частотой тока 300 Гц от генератора Г и выпрямителя В. В цепи электродов АВ протекает переменный ток силой 5 мА от блока питания БП через первичную обмотку трансформатора ТР1. Разность потенциалов ΔU измеряется между электродами M_1 и M_2 (градиент-микрозонд), M_2 и N (потенциал-микрозонд). В качестве электрода N используется корпус скважинного прибора. Одновременная передача сигналов от измерительных электродов микрозондов по одножильному кабелю осуществляется по принципу частотного разделения каналов при частотной модуляции измеряемых сигналов. С этой целью разность потенциалов с электродов M_1 и M_2 подается через трансформатор ТР3 на частотный модулятор ЧМ1 с несущей частотой 7,8 Гц, а с электродов M_2 и N – через трансформатор ТР2 на частотный модулятор ЧМ2 с несущей частотой 14 кГц. Промодулированные по частоте сигналы поступают на сумматор (усилитель мощности) СУ и далее через согласующий трансформатор ТР4 и разделительную емкость С – на кабель и вход панели ИП. В панели ИП измеряемые сигналы разделяются по соответствующим каналам, где они усиливаются, демоделируются, а затем выпрямляются фазочувствительными выпрямителями ФЧВ и подаются на регистрирующие приборы РП1 и РП2.

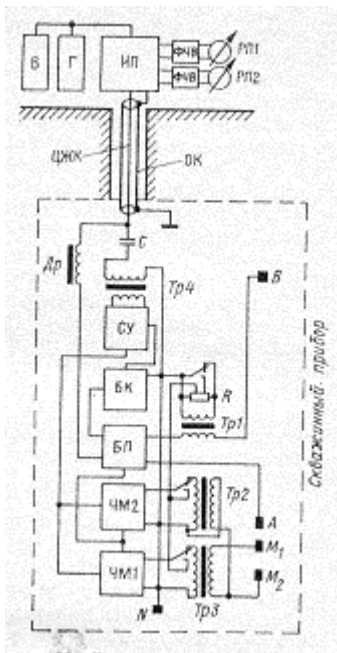


Рис 3.3. Блок – схемы измерения кажущего сопротивления аппаратурой МДО-3

Блок питания скважинного прибора обеспечивает питание цепи АВ переменным током, а питание частотных модуляторов, сумматора и блока коммутации БК – постоянным током. Блок питания подключается к кабелю через заградительную индуктивность ДР, которая предотвращает шунтирование высокочастотных каналов от сумматора.

Блок коммутации позволяет производить калибровку аппаратуры путем подачи ноль-сигнала и стандарт-сигнала. Напряжение стандарт сигнала снимается с резистора R, включенного через трансформатор ТР1 и цепь питания АВ.

Глубина исследования аппаратурой МДО-3 – до 4000 м при температуре до 100 °С.

Точкой записи кривой ρ_k градиент-микрозонда является середина между электродами M_1 и M_2 , а кривой ρ_k потенциал-микрозонда электрод M_2 , т.е. точки записи кривых КС при обычных масштабах записи на глубине практически совпадают. Кривые КС микрозондов в нефтяных и газовых скважинах в интервалах проведения БЭЗ регистрируются в масштабе глубин 1: 200.

Определение коэффициентов микрозондов

По формулам, полученным для обычных зондов, коэффициенты микрозондов не могут быть рассчитаны, так как размеры электродов микроустановок соизмеримы с длиной микрозонда.

Коэффициенты микрозондов определяются только экспериментальным путем. С этой целью микрозонд погружают в металлическую ванну с электролитом известного удельного сопротивления (порядка 1-2 Ом) таким образом, чтобы расстояние с электродами до стенок ванны было не менее 35-40 см. Удельное сопротивление электролита ρ_v измеряется лабораторным резистивиметром по обычным схемам. При этом электродом В служит корпус ванны. Перед измерениями электроды микрозондов зачищаются.

Коэффициент микрозонда рассчитывается по формуле $K = \frac{\rho_v I}{\Delta U}$.

Паспортные данные коэффициентов микрозондов 5МЗ-20 для градиент-микрозонда и потенциал-микрозонда соответственно равны примерно 0,34 и 0,50 м.

3.4. Интерпретация диаграмм нефокусированных микрозондов

Диаграммы микрозондирования используются в основном для решения следующих задач:

1. расчленение разреза на проницаемые и непроницаемые пласты;
2. уточнение литологического состава пород;
3. определение границ пластов и их мощности;
4. определение удельного сопротивления части пласта, прилегающей к скважине, и толщины промежуточного слоя (глинистой корки и пленки бурового раствора).

Если против пластов образуется глинистая корка, то обычно кажущееся сопротивление, измеренное потенциал-микрозондом, выше сопротивления, записанного градиент-микрозондом в силу меньшего радиуса исследования последним. Такое расхождение сопротивлений получило название положительного приращения. Оно характерно для проницаемых пластов. При этом показания градиент- и потенциал-микрозондов невысокие, менее $25\rho_c$.

При наличии на стенке скважины толстой глинистой корки (25 мм и более) кажущееся сопротивление, полученное обоими микрозондами, оказываются

близким к сопротивлению глинистой корки, и положительное приращение может не наблюдаться.

В отдельных случаях сопротивление, измеренное градиент-микрозондом, превышает сопротивление, полученное потенциал-микрозондом, т.е. наблюдается отрицательное приращение, которое может быть, когда сопротивление промывочной жидкости больше сопротивления пласта.

Против глин и аргиллитов, где образуются каверны значительных рамеров, величины кажущихся сопротивлений, измеренные градиент- и потенциал-микрозондами, обычно совпадают и соответствуют удельному сопротивлению бурового раствора.

Без признаков расхождения на диаграммах микрозондирования отмечаются также непроницаемые пласты не очень высокого сопротивления (плотные алевролиты, глинистые песчаники, мергели). В таких породах кажущиеся сопротивления выше, чем в проницаемых пластах.

В плотных породах с нарушенной монолитностью (трещиноватые песчаники и карбонатные породы, кавернозные известняки и доломиты) диаграммы микрозондирования сильно изрезаны при общем достаточно высоком уровне показаний. Изрезанность диаграмм связана с шероховатостью стенок скважины и соответственно неравномерным контактом электродов зонда с породой.

Для оценки электрического удельного сопротивления промытой зоны $\rho_{п.п}$ по данным изучения микрозондами применяются специальные палетки (рис. 3.4). их получают в результате измерений на моделях пластов.

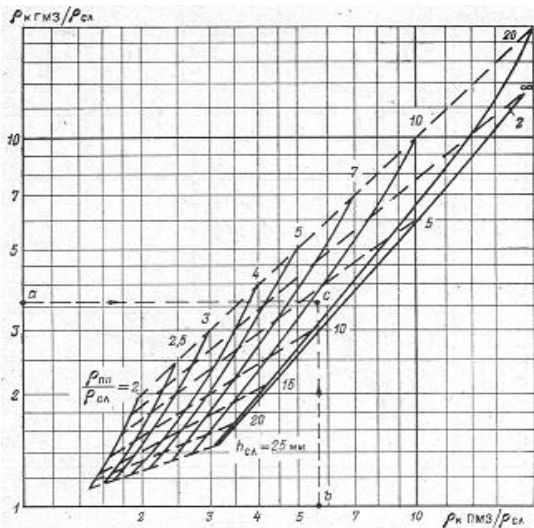


Рис 3.4. Опредeление ρ_m по МЗ
(ВНИИГеофизика)

Градиент-микрозонд АО,025МО,025N, $K=0.34$ м. Потенциал-микрозонд АО,05М, $K=0.48$ м, $d_c=200$ мм. Исхожные данные: $\rho_{\kappa} \text{ ГМЗ} / \rho_{\text{св}}$, $\rho_{\kappa} \text{ ПМЗ} / \rho_{\text{св}}$.

Удельное сопротивление глинистой корки находится по номограмме (рис. 3.5).

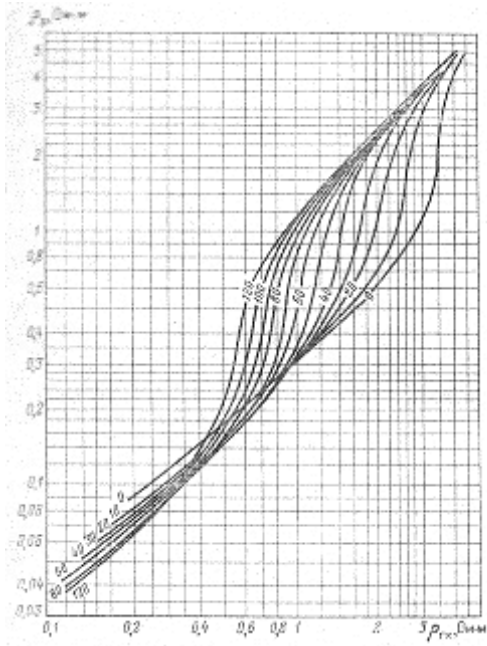


Рис3.5. Зависимости удельного электрического сопротивления глинистой корки $\rho_{ГК}$ от сопротивления ПЖ $\rho_{ПЖ}$

Интерпретация диаграмм микрозондирования сильно затрудняется, если толщина промежуточного слоя большая. При глинистой корке толщиной свыше 25 мм получить достоверные данные об удельном сопротивлении промытой зоны по замерам $\rho_{ГК}$ обычными микрозондами практически невозможно.

Диаграммы микрозондирования полученные в условиях заполнения скважин осолоненным буровым раствором, также мало пригодны для количественной интерпретации.

3.5. Задание по лабораторной работе

1. Изучите физические основы метода нефокусированных микрозондов.
2. Ознакомьтесь с устройством микрозондов, схемами измерений $\rho_{ГК}$ микрозондами.
3. Расчленив разрез по данным микрозондирования, обратив особое внимание на проницаемые пласты. Фактический диаграммный материал выдается преподавателем.
4. По номограмме (рис. 5) найдите сопротивление глинистой корки по известным значениям удельного сопротивления бурового раствора и температуры пластов.
5. Против выбранных вами проницаемых пластов отсчитайте $\rho_{ГК}$ записанные градиент- и потенциал-микрозондами. Найдите отношение $\frac{\rho_{ГК}^{ГМЗ}}{\rho_{ГК}}$ и $\frac{\rho_{ГК}^{ПМЗ}}{\rho_{ГК}}$. При помощи палетки определите $\frac{\rho_{ПП}}{\rho_{ГК}}$ и $h_{ГК}$, найдите значения $\rho_{ПП}$.

3.6. Оформление отчета по лабораторной работе

Результаты отчета представляют в виде отчета, который должен содержать краткое изложение физических основ метода, устройства микрозондов, результаты определений $\rho_{ПП}$ и $h_{ГК}$.

Список литературы

1. Альбом палеток и номограмм для интерпретации промыслово-геофизических данных. – М.: Недра, 1984. –200 с.
2. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Резванов Р.А., Африкан А.Н. Промысловая геофизика: /Учебник для вузов/ Под ред. В.М. Добрынина. – М.: Недра, 1986. –342 с.
3. Дьяконов Д.И., Леонтьев Е.И., Кузнецов Г.С. Общий курс геофизических исследований скважин: /Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. – М.: Недра, 1984. –432 с.
4. Заворотько Ю.М. Геофизические методы исследования скважин: /Учебник для техникумов. – М.: Недра, 1983. –211 с.
5. Итенберг С.С. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин: /Учебное пособие/. – 2-е изд., перераб. и допол. – М.: Недра, 1987. –374 с.
6. Латышова М.Г. Практическое руководство по интерпретации диаграмм геофизических методов исследования скважин: /Учебное пособие. 3-е изд., перераб. и допол. – М.: Недра, 1991. –218 с.

Лабораторная № 4

МЕТОД СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭКРАНИРОВАННОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ (БОКОВОЙ КАРОТАЖ)

4.1. Цель работы

Целью данной работы является закрепление теоритического материала по методу сопротивление экранированного заземления (СЭЗ), который еще именуется боковым каротажем (БК), изучение аппаратуры, техники и методики скважинных исследований, привитие навыков интепретации диаграмм СЭЗ.

4.2. Физические основы метода

Если скважина заполнена буровым раствором высокой минерализации, а породы обладают высоким электрическим сопротивлением, ток растекается в основном по стволу скважины, и кривая ρ_k оказывается слабо дифференцированной и сильно искаженной. Для исключения такого явления разработан метод сопротивления экранированного заземления.

В методе СЭЗ чаще всегоиспользуется трех- и семиэлектродные зонды. Иногда применяются и девятиэлектродные зонды.

Трехэлектродный зонд СЭЗ представляет собой длинный проводящий цилиндрический электрод, разделенный изоляционными промежутками на три части (рис. 4.1 а). Центральный короткий электрод A_0 является токовым, а крайние A_1 и A_2 , соосные и равные по диаметру первому, но более длинные, - экранные.

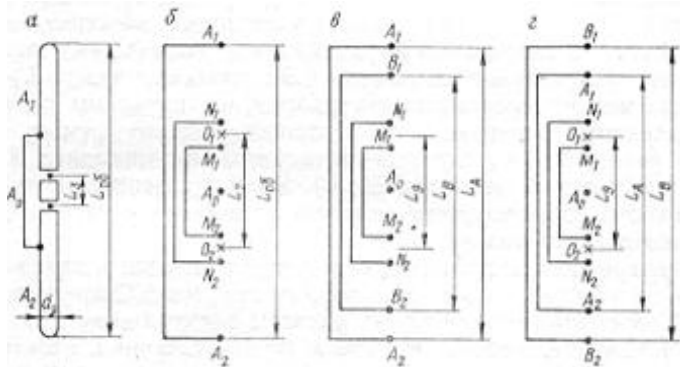


Рис 4.1. Схемы трехэлектродного (а), семиэлектродного (б), девятиэлектродного нормализованного (в), девятиэлектродного псевдоэкранированного (г) зондов метода СЭЗ с автоматической фокусировкой тока

Экранные электроды соединены между собой и через них пропускается ток той же полярности, что и через электрод A_0 . Вторым токовым электродом, на котором замыкается цепь источника тока, служит электрод В, расположенный на поверхности или в скважине.

Центральный токовый электрод A_0 является одновременно измерительным М.

Регистрируется изменение потенциала электрода М относительно удаленного электрода N, находящегося в скважине. Схемы измерения трехэлектродными зондами СЭЗ приводятся на рис. 4.2.

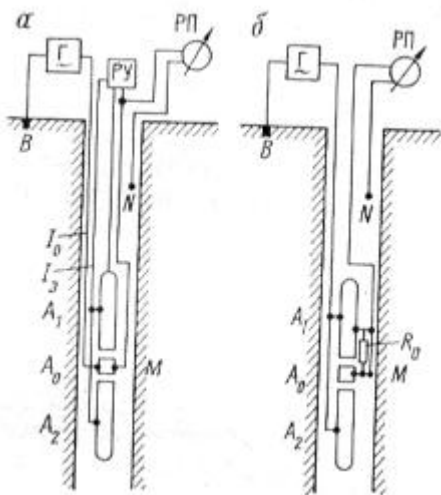


Рис 4.2 Схемы измерения методом СЭЗ с автоматической фокусировкой тока с применением фокусировкой тока с трехэлектродного зонда с автокомпенсатором (а) и с шунтирующим сопротивлением R_0 (б)

I_0, I_3 - токи, питающие соответственно центральный электрод A_0 и экранные электроды A_1 и A_2 ; РУ - регулирующие устройство силы тока, протекающее через экранные электроды

Для записи кривой электрического сопротивления, именуемого обычно эффективным сопротивлением ρ_3 , обеспечивается равенство потенциалов питающего и экранирующего электродов.

$$\rho_3 = \kappa_3 \frac{\Delta U}{I_0},$$

где ΔU – разность потенциалов между одним из токовых электродов и электродом N;

I_0 – ток питания центрального электрода;

κ_3 – коэффициент трехэлектродного зонда равный $\frac{2\pi\ell_0}{\ln(2\ell_{06}/d_3)}$, ℓ_0 – длина токового электрода A_0 , ℓ_{06} – общая длина зонда.

Характерными размерами трехэлектродного зонда являются его длина L – расстояние между серединами интервалов, изолирующих центральный электрод от экранных; общий размер зонда L_{06} – расстояние между внешними концами электродов A_1 и A_2 , диаметр зонда d_3 . За точку записи ρ_3 принимают середину центрального электрода.

Для обозначения трехэлектродных зондов метода СЭЗ указывается расстояние между точкой записи и крайними внешними концами экранных электродов и длина центрального электрода. Например, зонд $A_2 1,6 A_0 0,15$ характеризуется расстоянием от точки записи (середина центрального электрода) до внешних концов экранных электродов, равным 1.6 м, и имеет длину центрального электрода A_0 в 0,15 м.

Диаграммы трехэлектродного зонда СЭЗ обладают высокой расчленяющей способностью, по ним достаточно уверенно выделяются пласты мощностью 0.5-1 м. Применение описанного зонда исключает экранные эффекты.

Радиус исследования трехэлектродного зонда СЭЗ сравнительно небольшой и составляет 1-2 м.

Семиэлектродный зонд СЭЗ состоит из питающего A_0 , двух экранных A_1 и A_2 и двух пар измерительных M_1, N_1 и M_2, N_2 электродов (рис. 4.1.б). одноименные электроды расположены симметрично относительно центрального и соединены между собой попарно. Через электрод A_0 пропускают ток силой I_0 , который в процессе записи поддерживается постоянным. Через экранные электроды A_1 и A_2 ток I_3 устанавливают таким, чтобы разность потенциалов между электродами M_1 и N_1 (или M_2 и N_2) была равна нулю.

Измеряется разность потенциалов между одним из измерительных электродов и удаленным электродом N. Эффективное электрическое сопротивление рассчитывается по формуле:

$$\rho_{эфф} = \kappa_7 \frac{\Delta U}{I_0},$$

где κ_7 – коэффициент семиэлектродного зонда СЭЗ, рассчитывается по сложной формуле.

Основными характеристиками семиэлектродного зонда СЭЗ являются его длина L – расстояние между серединами интервалов M_1N_1 и M_2N_2 , общий размер $L_{06}=A_1A_2$ – расстояние между экранными электродами и параметр фокусировки

$q_{\phi} = (L_{об} - L) / L$. С увеличением $L_{об}$ уменьшается влияние скважины и зоны проникновения, но уменьшается и расчлняющая способность зонда.

Семиэлектродные зонды СЭЗ могут обозначаться двойко, например:

1. $A_1 2,1 N_1 0,2 M_1 0,2 A_0 0,2 M_2 0,2 N_2 2,1 A_2$, где буквы – наименование электродов, а цифры – расстояние между электродами.
2. $L_A 5 q 7$, в котором расстояние между электродами A_1 и A_2 составляет 5 м, а параметр фокусировки равен 7.

Десятиэлектродный зонд СЭЗ отличается от семиэлектродного тем, что имеет еще одну пару экранированных электродов B_1, B_2 , установленных между или за экранированными электродами A_1 и A_2 (рис. 4.1 в). Введение дополнительных электродов B_1, B_2 способствует увеличению радиуса исследования.

Принцип обозначения десятиэлектродных зондов такой же, что и для семиэлектродных, но во втором случае указывается еще расстояние между электродами B_1 и B_2 , например $L_B 5 L_A 1,2 q 1$.

4.3. Аппаратура метода СЭЗ

При исследовании скважин методом СЭЗ применяется несколько типов аппаратуры (таблица 1)

Таблица 1

Тип аппаратуры	Методы исследования	Обозначение экранированного зонда	Характеристика экранированных зондов			
			$L_{об}$, м	q_{ϕ}	L , м	Радиус исследования
ТБК	БК-3	$A_3 1,6 A_0 0,15$	3,2	-	0,2	Средний (1-2 м)
АБКТ	БК-3, БЭЗ, ПС	$A_3 1,5 A_0 0,15$	-	-	-	— // — (1-2 м)
Э1	БК-3, БЭЗ, ПС	$A_3 1,5 A_0 0,15$	-	-	-	— // — (1-2 м)
БКР-3	БК-3, ГМ, НГМ	$A_3 1,4 A_0 0,02$	2,8	-	0,02	Средний
БКС-2	БК-Б	$L_A 5 q 7,3$	5	7,3	0,6	Большой
	БК-М	$L_{B5} L_A 1,2 q 1$	1,2	2	0,6	Малый

Наиболее часто используется аппаратура Э1 и АБКТ. В данной работе приводится описание аппаратуры Э1.

Аппаратура Э1 (рис. 4.3) предназначена для проведения стандартной электрометрии, бокового электрического зондирования и измерений фокусированными зондами.

Измерения проводятся скважинным прибором Э1 с источником питания 1,2 типа УИП-К, УГ-1, стойкой 3, включающей блок частотной модуляции 4, управления 3 и логарифмических преобразователей 5,6.

Эффективное сопротивление ρ_z определяется по формуле $\rho_z = K_z \Delta U / I_0$. Для этого отдельно измеряют ток I_0 электрода A_0 и разность потенциалов между электродами М (A_0 или A_z) и удаленным электродом N_∞ . Поскольку электроды A_0 и A_z должны иметь одинаковый потенциал для выполнения условия фокусировки тока электрода A_0 , то сопротивление шунта в цепи электрода A_0 должно быть минимальным (не превышать 0,01 Ом).

Трансформатор ТР1 имеет коэффициент трансформации $K_{тр} = 500$, поэтому при $R1 = 2,5$ кОм сопротивление шунта, соединяющего центральный и экранный электроды, оказывается меньше 0.01 Ом и поверхности всех трех электродов можно считать эквипотенциальными.

Для приведения сигналов к необходимому уровню их усиливают с помощью усилителей 7,14.

Разность потенциалов ΔU между электродами Аэ (М) и N_{∞} преобразуется (см. рис. 1, ТР6, 7-11) аналогично ΔU при БЭЗ.

В наземной аппаратуре сигналы разделяются по частоте, преобразуются в постоянный ток в блоке Б1 и логарифмируются в блоке Б4. Логарифмируя выражение $\rho_s = K \Delta U / I_0$ получаем $\lg \rho_s = \lg K + \lg \Delta U - \lg I_0$

Так как коэффициент зонда – величина постоянная ($\lg K = c$), то $\lg \rho_s - c = \lg \Delta U - \lg I_0$.

Разность логарифмов записывается в виде диаграммы ρ_s экранированного зонда в логарифмическом масштабе.

4.4. Интерпретация диаграмм метода СЭЗ

Эффективное удельное сопротивление ρ_s , измеряемое зондом метода СЭЗ, зависит от типа и характеристики зонда ($L_{об}$, L , q), удельных сопротивлений пласта ρ_n , вмещающих пород $\rho_{вм}$, зоны проникновения $\rho_{зп}$, промывочной жидкости ρ_c , а также от геометрических факторов этих сред. В цепь электрода A_0 включены при этом последовательно среды с ρ_c , $\rho_{зп}$, ρ_n .

С учетом полного объема пространства, окружающего зонд, измеряемое эффективное сопротивление против однородного мощного пласта:

$$\rho_s = B_c \cdot B_c + B_{зп} \cdot \rho_{зп} + B_n \cdot \rho_n,$$

где B_c , $B_{зп}$, B_n – геометрические факторы бурового раствора, зоны проникновения и пласта, которые зависят от геометрии данных сред.

Сумма геометрических факторов сред составляет геометрический фактор изучаемого пространства и равна единице.

Кривые эффективного сопротивления ρ_s экранированных зондов симметричны относительно середины пласта при одинаковых сопротивлениях вмещающих пласт пород. Пласты высокого сопротивления на диаграммах ρ_s отмечаются максимумами, низкого – минимумами. Если породы, подстилающие и перекрывающие пласт, имеют различные сопротивления, то максимум против пласта высокого сопротивления становится асимметричным, наблюдается снижение сопротивления со стороны меньшего сопротивления. При постепенном изменении сопротивлений отдельных пластов форма кривой ρ_s принимает ступенчатый вид. Границы пластов высоких сопротивлений на кривых ρ_s , зарегистрированных трехэлектродным зондом СЭЗ, соответствует точкам на спаде кривой с определенным значением ρ_s (граничное сопротивление $\rho_{с.гр.}$). Величина $\rho_{с.гр.}$ с достаточной для практики точностью аппроксимируется выражением $\rho_{с.гр.} / \rho_{с.вм.} = 2 \rho_s / (\rho_s + \rho_{с.вм.})$.

Грубо границы таких пластов отмечаются в начале крутого подъема кривой ρ_s .

Для более точного определения граничного сопротивления $\rho_{\text{э.гр.}}$ можно использовать палетку (рис. 4.4).

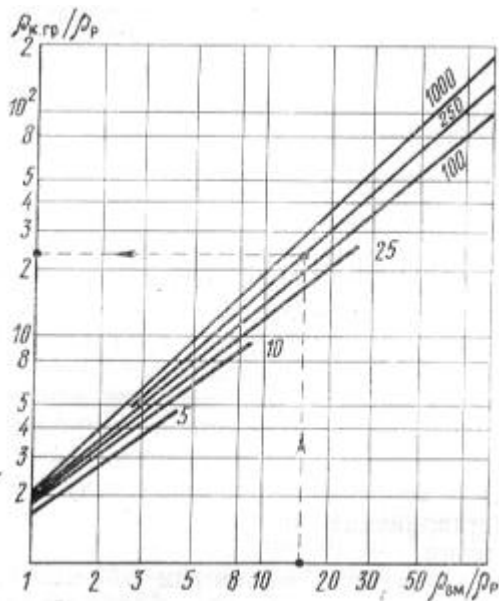


Рис. 4.4. Палетка для определения $\rho_{\text{к.гр.}}$

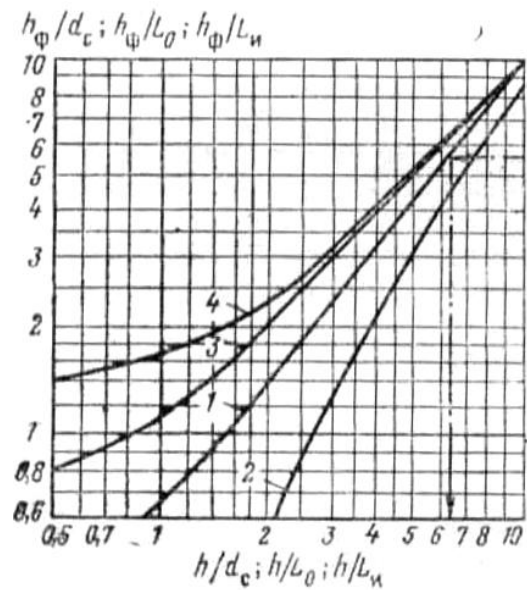


Рис. 4.5. Палетка для определения мощности пласта h по ее фиктивному h_ϕ значению

При нахождении границ пластов можно вначале по значениям фиктивной мощности пластов h_ϕ определить истинную мощность, используя палетку $h_\phi/d_c = f(h/d_c)$ (рис. 4.5).

Затем от центра пласта откладывают $h/2$ вверх и $h/2$ вниз. Полученные точки будут соответствовать кровле и подошве пласта.

Границы пластов высокого сопротивления на кривых ρ_z многоэлектродных зондов (семи- и девятиэлектродных) отбиваются на расстоянии $L/2$ выше и ниже точек, расположенных на середине амплитуды аномалии (точки, определяющие величину h_ϕ).

Характерными (существенными) значениями ρ_z против однородного пласта являются экстремальные (максимальные в пластах высокого сопротивления и минимальные в пластах низкого сопротивления). Для пачки чередующихся тонких пропластков, максимальное и минимальное сопротивление которых различается не более, чем в 2,5 раза, существенным является среднегармоническое (или продольное) сопротивление

$$\rho_{\text{э.ср.з}} = \sum h_i / \sum \left(\frac{h_i}{\rho_{\text{э.и}}} \right) = h / \sum \left(\frac{h_i}{\rho_{\text{э.и}}} \right),$$

где h — мощность пласта (пачки);

$h_i, \rho_{\text{э.и}}$ — соответственно мощность и эффективное сопротивление прослоев пласта (пачки).

При отношении максимальных и минимальных значений сопротивлений, меньшем 1,4, для упрощения нахождения ρ_z принимают $\rho_{z, \text{ср.г}} = \rho_{z, \text{ср}}$.

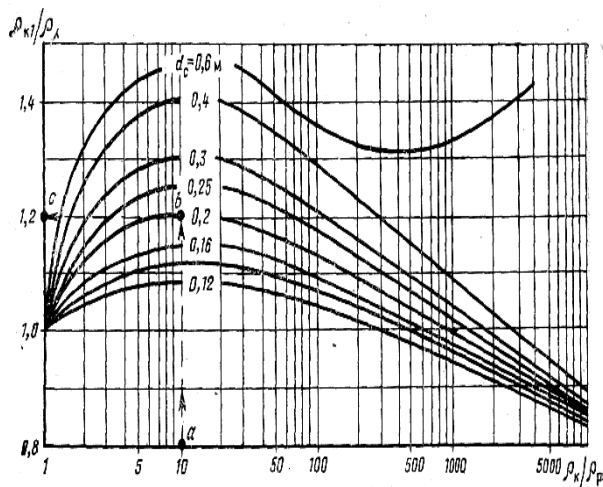
Определение удельного сопротивления пород. При определении удельного сопротивления пород выделенных пластов следует отсчитывать существенные значения ρ_z . Затем необходимо ввести поправки за влияние скважины (d_c), ограниченной мощности пласта h , сопротивление вмещающей среды $\rho_{\text{вм}}$.

Ниже излагается порядок определения удельного электрического сопротивления пород по данным трехэлектродного зонда СЭЗ.

По одной кривой СЭЗ удельное электрическое сопротивление пород может быть определено только при отсутствии проникновения фильтрата промывочной жидкости (ПЖ) в пласт. Наличие или отсутствие проникновения фильтрата можно легко установить в случае минерализованной ПЖ ($\rho_c < 0,20$ Омм). Для этого используют замеры в скважине зондами СЭЗ (БК) и микрозонда СЭЗ (МБК). Если $\rho_{z, \text{БК}} = \rho_{z, \text{МБК}}$, то проникновение отсутствует. При $\rho_{z, \text{БК}} \neq \rho_{z, \text{МБК}}$ имеет место проникновение фильтрата ПЖ в пласт.

В наиболее простом случае, когда проникновение отсутствует, определение удельного сопротивления пласта $\rho_{\text{п}}$ производится по ρ_z с внесением поправок за влияние скважины и ограниченную мощность пласта.

Поправка за влияние скважины учитывается при помощи палетки (рис. 4.6).



Поправка за скважину (БК-3. Приборы Э1, Э4) (СКТБ ПГ). Исходные данные:

ρ_k / ρ_p , d_c . Исправленное значение:

$$\rho_{k1} / \rho_k$$

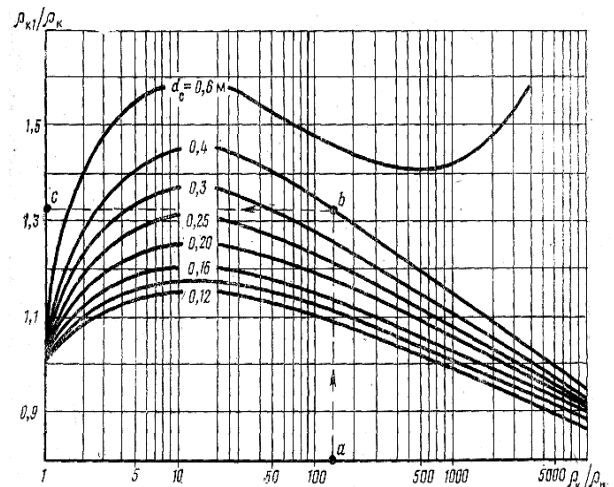


Рис 4.6. Поправка за скважину (БК-3. Прибор Э7) (СКТБ ПГ)

Нахождение поправки за ограниченную мощность и влияние $\rho_{\text{вм}}$ осуществляется с использованием палетки (рис. 4.7).

Палетка рассчитана для условий, когда зону СЭЗ расположена против середины пласта, а $\rho_{\text{вм}}$ подстилающих и покрывающих пластов равны, их мощности значительны.

Если вмещающая среда представлена достаточно мощными и однородными по сопротивлению породами, за величину $\rho_{\text{вм}}$ принимают $\rho_{\text{э.ср}}$ толщ пород мощностью 5-10 м, расположенных выше и ниже пласта. Для неоднородных по сопротивлению вмещающих отложений $\rho_{\text{вм}}$ принимается в качестве средневзвешенной значений $\rho_{\text{э.и}}$, отсчитанных на кривой сопротивлений против сравнительно однородных пропластков:

$$\rho_{\text{вм}} = \sum_{i=1}^n (h_i / z_i^2) \cdot \rho_{\text{э.и}} / \sum_{i=1}^n h_i z_i^2,$$

где h_i – мощность прослоя;

z_i – расстояние между серединой пласта, для которого вводится поправка, и серединой соответствующего пропластка вмещающих пород;

$\rho_{\text{э.и}}$ – существенное значение эффективного сопротивления прослоя;

h_i / z_i^2 – взвешивающий коэффициент.

Исправленное значение $\rho_{\text{э.2}}$ при отсутствии проникновения равно истинному сопротивлению пласта $\rho_{\text{п}}$.

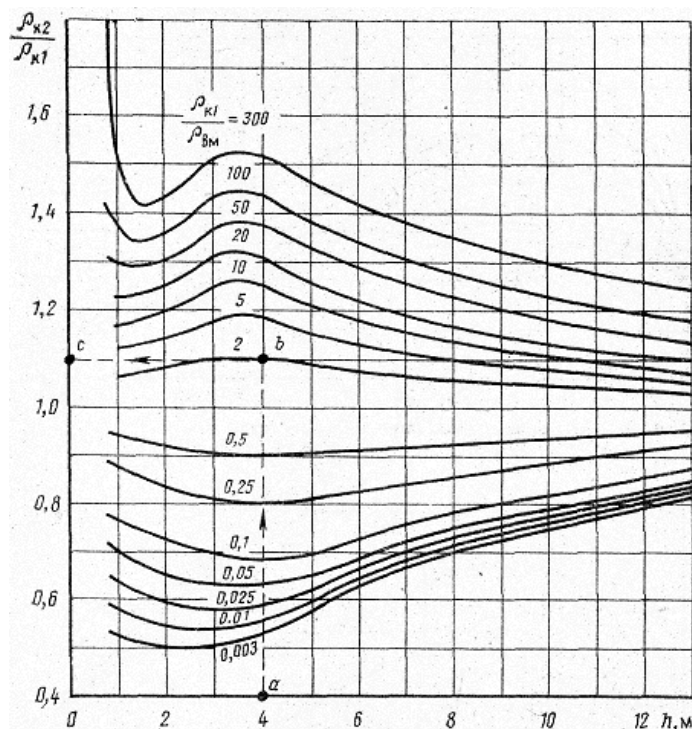


Рис 4.7 Поправка за мощность (БК-3. Приборы Э1, Э4, Э7) (СКТБ ПГ)

При наличии проникновения фильтра ПЖ в пласт метод СЭЗ должен использоваться в комплексе с другими зондами, имеющими различный радиус исследования.

Комплекс зондов зависит от типа изучаемого разреза и минерализации промывочной жидкости. Наиболее типичным является комплекс БК с градиент-зондами БКЗ, ИК, МБК.

Хорошие результаты дает применение зонда БК в комплексе с градиент-зондами длиной 1 и 4 м для определения $\rho_{\text{п}}$ песчано-глинистых и карбонатных достаточно однородных и мощных пластов при слабоминерализованном растворе.

Этот комплекс можно использовать и при минерализованном растворе если $\rho_{\text{п}}/\rho_{\text{с}}$ не превышает 1000-2000. Удельное сопротивление пласта в этом случае определяется следующим образом:

1. По БК и кривым градиент-зонда выделяют пласт, находят его границы и мощность;
2. Против выделенного пласта на кривых БК и градиент-зондов длиной 1 и 4 м отсчитывают существенные значения $\rho_{\text{э.БК}}$, $\rho_{\text{к}}^{'}$ и $\rho_{\text{к}}^{''}$;
3. По БК находят сопротивление вмещающих пород;
4. Полагая, что проникновение отсутствует, по палеткам (рис. 15, 16) для зондов БК находят условное удельное сопротивление $\rho_{\text{п.БК}}$ пласта, а по характерным значениям для градиент зондов $\rho_{\text{к}}^{'}$ и $\rho_{\text{к}}^{''}$ находят (по палеткам БКЗ – 1 или ЭКЗ) условное удельное сопротивление $\rho_{\text{п1}}$ и $\rho_{\text{п2}}$;
5. Сравнивая значения $\rho_{\text{пБК}}/\rho_{\text{с}}$, $\rho_{\text{п1}}/\rho_{\text{с}}$ и $\rho_{\text{п2}}/\rho_{\text{с}}$ между собой делаем выводы:

а) проникновение отсутствует, если все три значения отличаются между собой меньше, чем на 40%; удельное сопротивление в этом случае будет равно среднему значению сопротивлений

$$\frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{с}}} = \left(\frac{1}{3} \right) \left(\frac{\rho_{\text{п.БК}}}{\rho_{\text{с}}} + \frac{\rho_{\text{п1}}}{\rho_{\text{с}}} + \frac{\rho_{\text{п2}}}{\rho_{\text{с}}} \right);$$

- б) $\rho_{\text{п1}}/\rho_{\text{с}} > \rho_{\text{п.БК}}/\rho_{\text{с}} > \rho_{\text{п2}}/\rho_{\text{с}}$, пласт имеет повышающее проникновение;
 в) при $\rho_{\text{п1}}/\rho_{\text{с}} < \rho_{\text{п.БК}}/\rho_{\text{с}} < \rho_{\text{п2}}/\rho_{\text{с}}$ пласт имеет понижающее проникновение.

Если имеется проникновение фильтрата ПЖ в пласт, то отношение $\rho_{\text{п1}}/\rho_{\text{с}}$, полученное с малого градиент зонда ($A_0 = 1$ м), принимают за приближенное значение отношения $\rho_{\text{зп}}/\rho_{\text{с}}$. после этого производят определение удельного сопротивления с помощью палеток для пластов с проникновением фильтрата ПЖ.

Так как диаметр зоны проникновения неизвестен, то интерпретация идет последовательно по трехслойным палеткам с $\rho_{\text{зп}}/\rho_{\text{с}} = \text{const}$ и изменяющимся значением $D/d_{\text{с}}$ до тех пор, пока не будет достигнуто примерное равенство между $\rho_{\text{п.БК}}/\rho_{\text{с}}$; $\rho_{\text{п1}}/\rho_{\text{с}}$; $\rho_{\text{п2}}/\rho_{\text{с}}$.

Подобный метод определения $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{зп}}$, D довольно громоздкий, поэтому при наличии проникновения для определения $\rho_{\text{п}}$ по БК следует пользоваться комплектом палеток, рассчитанным для пластов с проникновением фильтрата промывочной жидкости.

4.5. Порядок выполнения работы

1. Изучить настоящее методическое руководство.
2. Расчленив разрез по диаграммам, записанным методом СЭЗ, определить кровлю, подошву пластов и их мощность.
3. Определить удельное сопротивление пород и параметры зоны проникновения в ряде выделяемых пластов.

Диаграммный материал и необходимые палетки выдаются преподавателем.

4.6. Оформление отчета

Результаты выполненной работы представляют в виде отчета, который должен содержать краткое изложение физических основ метода, результаты расчленения разреза и определения электрического удельного сопротивления пород и параметров зоны проникновения.

Список литературы

7. Альбом палеток и номограмм для интерпретации промыслово-геофизических данных. – М.: Недра, 1984. –200 с.
8. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Резванов Р.А., Африкан А.Н. Промысловая геофизика: /Учебник для вузов/ Под ред. В.М. Добрынина. – М.: Недра, 1986. –342 с.
9. Дьяконов Д.И., Леонтьев Е.И., Кузнецов Г.С. Общий курс геофизических исследований скважин: /Учебник для вузов. - 2-е изд., перераб. – М.: Недра, 1984. –432 с.
10. Интерпретация результатов геофизических исследований нефтяных и газовых скважин: /Справочник/ Под ред. Добрынина В.М. – М.: Недра, 1988. -476 с.
11. Итенберг С.С. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин: /Учебное пособие/. – 2-е изд., перераб. и допол. – М.: Недра, 1987. –374 с.
12. Латышова М.Г. Практическое руководство по интерпретации диаграмм геофизических методов исследования скважин: /Учебное пособие/. – 3-е изд., перераб. и допол. – М.: Недра, 1991. –218 с.
13. Петров Л.П., Широков В.Н., Африкан А.Н. Практикум по общему курсу геофизических скважин: /Учебное пособие для вузов/.- М.: Недра, 1987. – 220 с.

Лабораторная работа № 5 **ИНДУКЦИОННЫЙ МЕТОД**

5.1. Цель работы

Целью данной работы является изучение физических основ метода, устройства фокусированных индукционных зондов, принципа действия аппаратуры и приобретение навыков обработки и интерпретации диаграмм.

5.2. Физические основы метода

Индукционный метод основан на изучении зависимости распределения электромагнитного поля в пространстве, окружающем зонд, от электропроводности среды. Электромагнитное поле в породах возбуждается генераторной катушкой зонда, через которую пропускается переменный ток частотой 20–50 кГц. В результате этого в породах, окружающих зонд, индуцируются вихревые токи (токи Фуко). Эти токи создают вторичное магнитное поле, а, следовательно, и э.д.с. в измерительной катушке зонда.

Найденная в измерительной катушке э.д.с. может быть представлена суммой э.д.с. прямого (первичного) E_1 и вторичного электромагнитного поля, состоящего из активной E_a и реактивной E_r составляющих: $E = E_1 + E_a + E_r$.

Электродвижущая сила E_1 компенсируется системой компенсационных катушек индукционного зонда. Значение активной составляющей E_a находится в противофазе с током, протекающем в генераторной катушке, а реактивная составляющая E_r опережает его на величину $\pi/2$.

Значения E_a и E_r определяются электропроводностью, магнитной восприимчивостью и диэлектрической проницаемостью среды. В индукционном методе благодаря применению фазочувствительных схем измеряется только активная составляющая E_a , которая зависит в основном от электропроводности. При исследовании угольных и рудных месторождений измеряются обе составляющие.

Бесконтактный способ измерения проводимости горных пород позволяет исследовать сухие скважины и скважины, заполненные жидкостью, приготовленной на нефтяной основе. Высокая разрешающая способность индукционного метода в породах низкого удельного сопротивления вследствие линейной связи выходного сигнала с проводимостью горных пород позволяет уверенно расчленять низкоомный разрез.

При изучении неоднородных сред определяется так называемая эффективная электропроводность $\sigma_{\text{э.}}$, т.е. электропроводность такой неоднородной фиктивной среды, в которой при определенных заданных параметрах зонда создается активная составляющая э.д.с. E_a , равная э.д.с., измеренной тем же зондом при исследовании в данной неоднородной среде. Иногда этот параметр именуют кажущейся электропроводностью и обозначают $\sigma_{\text{к.}}$.

Индукционный зонд представляет собой систему из трех – одиннадцати катушек: основных (или главных) генераторных G и измерительных I с наибольшим числом витков, компенсационных K и фокусирующих $ФГ$ и $ФИ$ для улучшения вертикальной и радиальной расчленяющей способности разреза скважины.

Расстояние между центрами главной генераторной и главной приёмной катушками называется длиной индукционного зонда L

Основные типы зондов обозначаются буквами И, Э или Ф с указанием числа катушек и длины зонда: например, 6Ф1 – индукционный зонд шестикатушечный, длина зонда – 1 м. Все катушки размещены соосно, намотаны однослойно в специальных проточках на стержне из стеклопластика. От электростатических полей катушки защищены экраном. Зонд помещен в охранный кожух, который заполняется непроводящей кремнийорганической жидкостью и имеет компенсатор перепада давления для выравнивания давления внутри кожуха и восприятия температурного расширения жидкости. Поверху зонд оканчивается муфтой, герметично сочленяющийся со скважинным прибором и обеспечивающей присоединение зонда к измерительной схеме скважинного прибора.

Для изучения связи э.д.с. и проводимости горных пород пространство, окружающее индукционный зонд, рассматривают как сумму элементарных витков (рис. 5.1) имеющих форму полей, центры которых расположены на оси скважины.

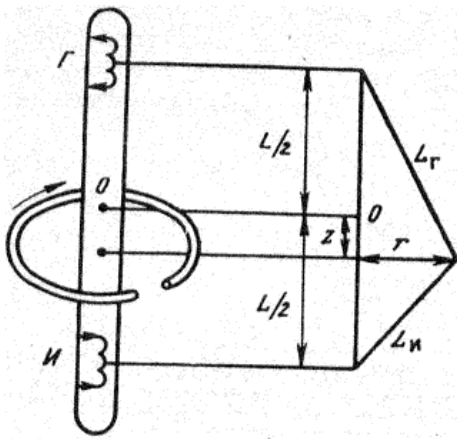


Рис. 5.1. Пример геометрического фактора элементарного кольцевого объема для двухкатушечного индукционного зонда

Вторичное магнитное поле элементарного витка индуцирует в приемной катушке э.д.с.

$$e = -\kappa \cdot g \cdot \sigma ,$$

где σ – электропроводность среды; g – пространственный (геометрический) фактор элементарного витка; κ – коэффициент зонда.

Полный сигнал E в измерительной катушке, создаваемый всем пространством, составляет сумму единичных сигналов:

$$E = \kappa \cdot \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \sigma \cdot g \cdot dr \cdot dz .$$

Если среда, окружающая зонд состоит из отдельных симметричных областей с удельными электрическими проводимостями σ_i , то

$$\sigma_3 = \sum G_i \sigma_i$$

где $G_i = \int \int g \cdot dz \cdot dr$ – геометрический фактор i -области.

Под геометрическим фактором понимается доля общего сигнала, соответствующая той или иной области окружающей среды. В зависимости от размеров исследуемой области, влияние которой необходимо оценить, различают дифференциальные и интегральные геометрические факторы, а в зависимости от направления расположения указанной области – осевые и радиальные.

Дифференциальный радиальный геометрический фактор – это доля общего сигнала, соответствующая бесконечно длинному цилиндру единичной толщины текущего радиуса r , ось которого совпадает с осью зонда (рис. 5.2)

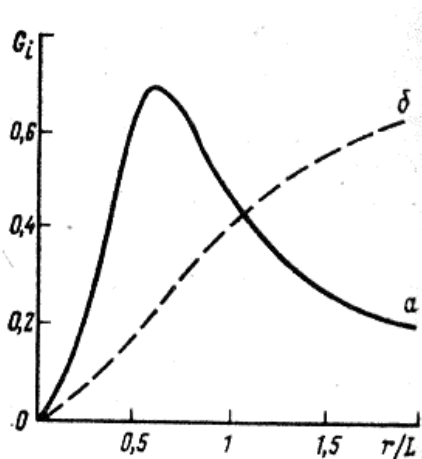


Рис.5.2. Графики радиальных дифференциальных (а) и интегральных (б) пространственных факторов индукционного зонда.

Интегральный радиальный геометрический фактор есть доля общего сигнала, воспринимаемого зондом в бесконечной среде, соответствующая вырезанному из последней бесконечно длинному цилиндру радиуса r , ось которого совпадает с осью зонда.

Дифференциальный осевой геометрический фактор показывает относительное влияние тонких слоев на величину сигнала в зависимости от расстояния от центра зонда. Если бесконечно тонкий слой находится между генераторной и приемной катушками, т. е. в пределах длины зонда, то величина этого слоя на величину сигнала будет постоянным. При расположении бесконечно тонкого слоя за пределами катушек его влияние убывает обратно пропорционально $(z/Lu)^2$

Интегральный осевой геометрический фактор показывает зависимость общего сигнала, воспринимаемого зондом, от мощности пласта h в случае, когда середина зонда расположена в средней точке слоя.

Геометрические факторы многокатушечного зонда получают, алгебраически суммируя геометрические факторы элементарных двухкатушечных зондов, входящих в состав многокатушечного.

5.3. Аппаратура индукционного метода

В настоящее время для измерения электропроводности в основном используется следующая аппаратура (таблица 2).

В данной работе приводится описание аппаратуры АИК – 4.

В скважинный прибор АИК – 4 входит измерительный зонд (рис. 5.3), защищаемый компенсированным кожухом, и герметичный электронный блок, заканчивающийся стандартной приборной головкой.

Таблица 2

Аппаратура индукционного метода исследования скважин

Тип аппаратуры	Тип индукционного зонда	Диаметр зонда, мм	Частота тока питания, кГц	Предел измерения, мСм/м	Метод
ПИК – 1М	ЧИ1	70	20	10-2500	И
АИК – М	6Ф1	73	50	10-1500	И
АИК – 3	6Ф1 или 5Ф1,2	102	50	10-1500	И, КС, ПС
АИК – 4	8И1,4	102	20	10-2000	И, БЭЗ, ПС, Р
АЗМ	6Э1	73	20	10-2000	И, КС, ПС
РИС - 42		42	100	0,1-30	ИР

Примечание: 1) И – индукционный метод, Р – резистивиметрия, ИР – индукционная резистивиметрия.

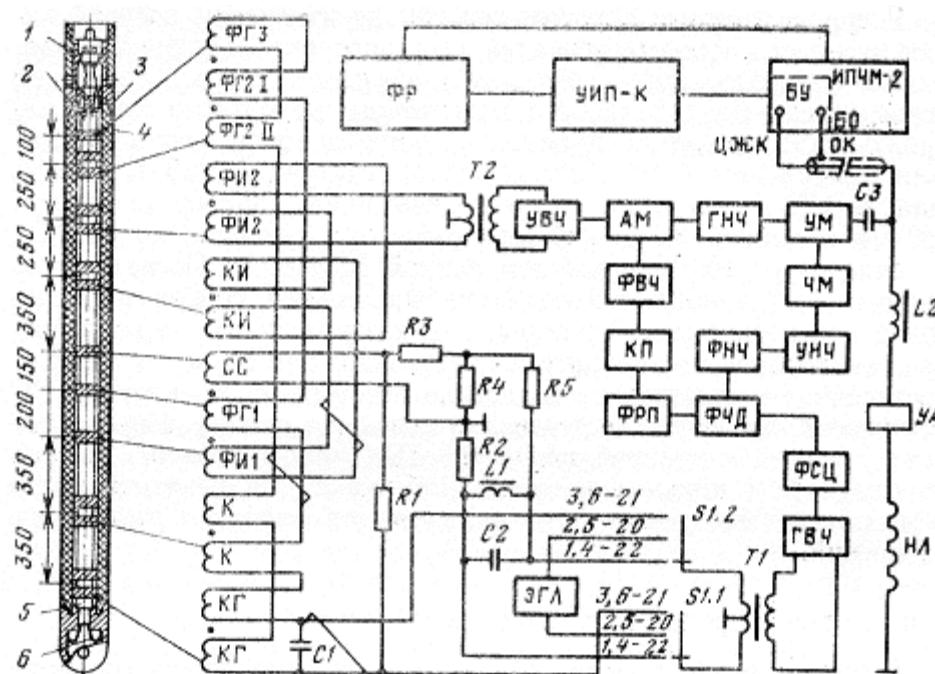


Рис.5.3. Функциональная схема скважинного прибора АИК-4.

Измерительный восьмикатушечный зонд 8И1,4 имеет смешанную фокусировку, при которой фокусирующие катушки расположены частично между главными генераторной КГ и измерительной КИ катушками, а частично над ними.

Катушки внешней фокусировки ФГЗ, ФГ2 и ФИ2 определяют осевой геометрический фактор зонда; с их помощью уменьшается влияние вмещающих пород на результаты измерений.

Катушки ФГ1, ФИ1 и К обеспечивают внутреннюю фокусировку зонда и предназначены для уменьшения влияния скважин и зоны проникновения.

Главная генераторная КГ и фокусирующие ФГ1 – ФГЗ и К катушки включены последовательно и образуют линию питания; измерительная линия зонда составлена главной измерительной КИ и фокусирующими ФИ1, ФИ2 катушками. Рядом с главной измерительной намотана катушка СС стандарт сигнала.

Все катушки электростатически экранированы и размещены на стеклопластиковом стержне 2, который вверху соединен со свечным мостом 1.

Внизу зонда в герметичном металлическом контейнере 5 размещен подстроечный конденсатор С1 генераторной линии. Для предотвращения шунтирования электромагнитного поля кожух зонда выполнен из стеклопластиковой трубы 3, защищенной снаружи от повреждений и насыщения ПЖ слоем резины 4. Внутри кожух заполнен кремнистоорганической жидкостью ПЭС – 4, давление которой уравнивается с гидростатическим компенсатором 6.

Питание скважинного прибора СП осуществляется постоянным током. Конденсатор С3 и дроссель L_2 служат для разделения питающей цепи постоянного тока и информационной цепи переменного тока.

В цепь постоянного тока последовательно включены электромагнит УА, вызывающий перевод переключателя S1 в новое положение при кратковременном отключении тока питания, и накалы ламп НЛ. Генераторная линия питается током частотой 20 кГц через трансформатор Т1, обеспечивающий симметричное питание линии и переключатель S1. Подстройка линии на частоту 20 кГц осуществляется конденсатором С1.

Входной сигнал с измерительной линии поступает на симметричную обмотку трансформатора Т2, а с его выхода – на усилитель высокой частоты УВЧ. Усиленный сигнал подается на амплитудный модулятор АМ, управляемый от генератора низкой частоты ГНЧ 300 Гц. В один из полупериодов управляющего напряжения сигнал УВЧ замыкается на корпус, а во второй полупериод полностью проходит на катодный повторитель КП. Перед КП стоит РС – фильтр верхних частот ФЧВ, не пропускающее на его вход напряжение 300 Гц, просачивающееся через АМ.

С катодного повторителя через LC – фильтр ФРП внешних радиопомех сигнал поступает на вход фазочувствительного детектора ФЧД. Опорное напряжение частотой 20 кГц подводится к ФЧД через фазосдвигающую цепочку ФСЦ, с помощью которой по стандарт-сигналам подстраивается фаза опорного напряжения.

На выходе ФЧД стоит фильтр низкой частоты ФНЧ, представляющий собой интегрирующую RC – ячейку, емкость которой заряжается за время прохождения высокочастотного сигнала и разряжается, когда на выходе АМ сигнал равен нулю. Так как это происходит с периодичностью 300 Гц, на выходе ФНЧ появляется низкочастотная составляющая с частотой 300 Гц и амплитудой, пропорциональной амплитуде информационного сигнала.

Сигналы с выхода ФИЧ усиливаются усилителем низкой частоты УНЧ, преобразуются в ЧМ – сигналы блоком частотной модуляции ЧМ с несущей частотой 14 кГц и после усиления по мощности усилителем УМ поступают через разделительный конденсатор СЗ на ЦЖК. Через ЧМ от генератора ГНЧ на кабель поступает также опорное напряжение частотой 300 Гц.

Наземная аппаратура включает пульт ИПЧМ – 2А со штатным БУ, УИП-К и фоторегистратор ФР лаборатории, информационные сигналы поступают по кабелю БУ, где высокочастотный ЧМ – сигнал и опорное напряжение выделяются соответствующими фильтрами и преобразуется в постоянное напряжение, пропорциональное наведенной в измерительной катушке э.д.с. . Постоянное напряжение подается на ФР для записи σ_z .

Скважинный прибор работает на трёх режимах: измерение, нуль-сигнал, стандарт-сигнал. В режиме нуль – сигнала (позиция 2; 5-20 переключателя S1) ГВЧ включен на эквивалент генераторной линии ЭГЛ, на входной обмотке Т2 отсутствует сигнал от окружающей среды, а на выходе ИПЧМ-2А регистрируются нулевые значения ИК. В режиме стандарт – сигнала (позиция 1; 4-22 переключателя S1) ГВЧ подключен к эквиваленту, составленному цепочкой L1C2 и делителем R2, R5, R5. С резистора R4 часть напряжения генератора через R3 подается на катушку стандарт-сигнала СС. Катушка СС и главная измерительная катушка КИ образуют двухкатушечный зонд. В режиме измерения (позиция 3; 6-21) ГВЧ подключается к генераторной линии и через резистор R1 к катушке стандарт-сигнала СС, чтобы скомпенсировать начальный сигнал, наводимый в измерительных катушках зонда генераторными катушками. При таком подключении входной сигнал на трансформаторе Т2 соответствует эффективной проводимости пород.

5.4. Интерпретация диаграмм индукционного метода

Интерпретация диаграмм включает в себя следующие основные этапы: выделение объектов (пластов) интерпретации и снятие значений эффективной электропроводности, учет влияния скважины, скин-эффекта, ограниченной толщины пластов и зонды проникновения.

Выделение объектов интерпретации (определение границ пластов) и снятие значений эффективной электропроводности

Для пластов ограниченной мощности, залегающих в породах, имеющих одинаковое сопротивление сверху и снизу пласта, кривые имеют симметричную форму относительно середины пласта. Максимальные (при высокой проводимости пласта) и минимальные (при низкой) показания приурочены к середине пласта. При h пласта более 2 м его границы проводят по точкам, соответствующим середине аномалий σ_z . При уменьшении толщины пласта границы его смещаются к вершине аномалии и при $h = 1-1,5$ м соответствуют точкам, расположенным примерно на высоте $2/3$ амплитуды σ_z .

При существенно различной проводимости покрывающих и подстилающих вмещающих пород кривая σ_z имеет асимметричную форму: максимум (минимум) кривой смещается в сторону вмещающих пород с более высокой (низкой) проводимостью. Особенно ярко это проявляется для пластов малой толщины ($h < 1,5$ м).

Если пласт имеет проводимость, промежуточную между проводимостью покрывающих и подстилающих пород, кривая σ_z плавно переходит от одного к другому значению проводимости вмещающих пород. При толщине пласта более 2 м против его середины имеется горизонтальная площадка или перегиб на кривой σ_z . При меньшей толщине пласта кривая ИМ имеет такую же форму, как и кривая при одной границе раздела.

Для пласта со ступенчатым уменьшением проводимости к подошве (кровле) характерна кривая σ_z асимметричной формы: более крутой подъем отмечается против кровли (подошвы) пласта, а ступенчатому изменению проводимости соответствует пологий спад σ_z .

Аналогичная картина наблюдается для пласта со ступенчатым увеличением проводимости к подошве (или кровле) пласта.

Неоднородный пласт, состоящий из чередования тонких пластов с высокой и низкой удельной проводимостью, отмечается общей аномалией σ_z ; отдельным крыльям соответствуют весьма незначительные отклонения показаний ИМ. В случае, если толщина отдельных прослоев менее 0,4 м, пласт отмечается как однородный, кажущаяся проводимость которого близка к продольной проводимости пачки в целом.

В зависимости от толщины пласта и его строения отсчитывают соответствующие значения кажущейся электропроводности на кривых ИМ.

А) для мощного пласта ($h > 2-3$ м) – средневзвешенное по толщине;

Б) для тонкого пласта ($h < 1-2$ м) - экстремальное;

В) для пласта, имеющего проводимость, промежуточную между проводимостью подстилающих и покрывающих пород - значения на перегибе кривой (мощный пласт) или против середины пласта (тонкий пласт);

Г) против пачки тонких пластов – среднее значение.

Учет влияния диаметра скважины для зондов 6Ф1, 4И1, 8И1,4 и аппаратуры ВИК производится при помощи зависимостей геометрического фактора G_c от ее диаметра d_c (см. рис.5.4.).

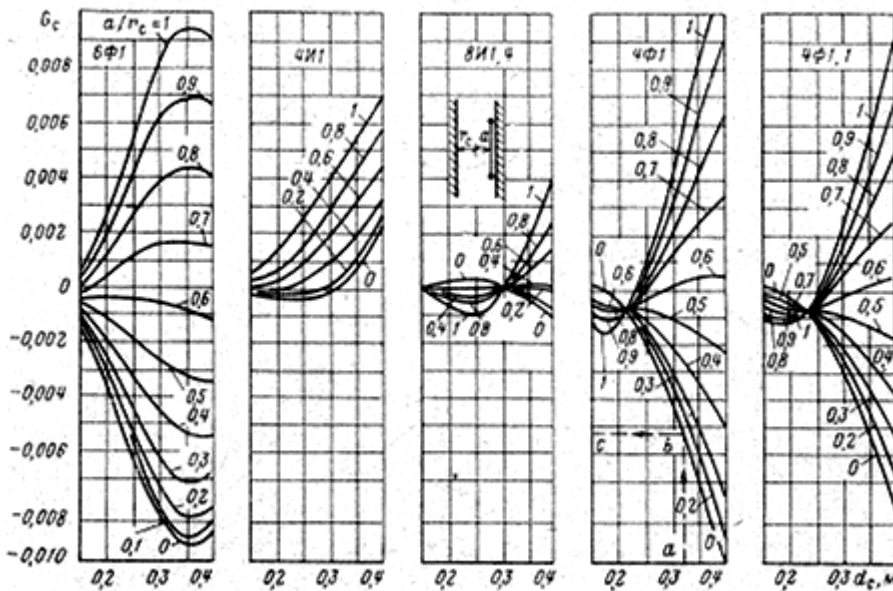


Рис. 5.4. Учет влияния скважины ИК

Шифр кривых палеток - значение эксцентриситета зонда ИМ в скважине $\varepsilon d = a/r_c$, где a - расстояние между осями зонда и скважины, r_c - радиус скважины.

Кривые с шифром 0 соответствуют теоретическому зонду с центраторами (зонд по оси скважины), а кривые с шифром 1 - теоретическому зонду ИМ, расположенному на стенке скважины. Для реального нецентрированного зонда с известным радиусом r_z эксцентриситет εd рассчитывается по формуле $\varepsilon d = (r_c - r_z)/r_c$.

Правка $\Delta\sigma_c$ за влияние скважины вычисляется, определив по известным d_c и εd значение G_c с использованием соотношения $\Delta\sigma_c = G_c \sigma_p$, где σ_p - удельная электропроводность бурового раствора. Для учета влияния скважины поправку $\Delta\sigma_c$ вычитают из измеренной величины σ_z .

Для зондов ИМ аппаратуры БИК-2 учет влияния скважины производится по аналогичным палеткам.

Для зондов 6Э1 и 8Э0,9 аппаратуры типа Э палетки для учета влияния скважины построены для случая, когда прибор лежит на стенке скважины и когда он отклоняется от стенки скважины отклонителем.

Учет влияния скин-эффекта позволяет перейти от снятого с диаграммы значения σ_z к значению ρ_k для того же пласта. Поправку за скин-эффект находят после введения поправки за влияния скважины по палетки (рис.5.5.)

Учет влияния ограниченной мощности пласта необходим для приведения показаний ИМ к условиям пласта неограниченной мощности. Для введения соответствующей поправки служат специальные палетки.

Учет влияния ограниченной толщины пласта по этим палеткам производят следующим образом:

А) по диаграмме ИМ отсчитывают существенные значения кажущейся проводимости против пласта σ_3 , против вмещающих пород σ_{3BM} и определяют толщину пласта h ;

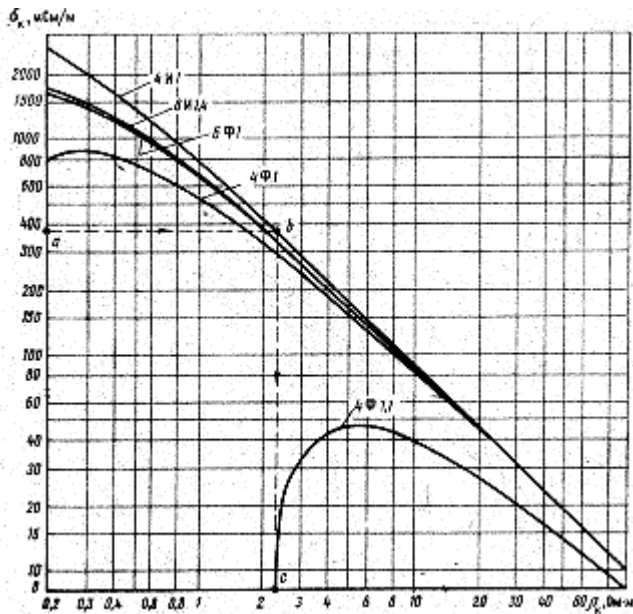


Рис. 5.5. Поправка за скин-эффект

Б) исправляют показания против пласта и вмещающих пород за влияние скважины и скин-эффекта и переходят к значениям ρ_k , ρ_{BM} ;

В) выбирают палетку, шифр который наиболее близок к фактическому значению ρ_{BM} , и по значению h и ρ_k определяют ρ_k ; если фактическое сопротивление вмещающих пород ρ_{BM} не соответствует ни одному из шифров палеток, определения ρ_k проводят по двум палеткам с ближайшими значениями ρ_{BM} и с помощью линейной интерполяции находят результат, соответствующий фактическому значению ρ_{BM} .

Возможен и другой способ учета ограниченной мощности пласта, основанный на использовании приближенного соотношения между эффективной проводимостью σ_3 в этом пласте и проводимостью в таком же пласте неограниченной толщины $\sigma_3: \sigma_3^\infty = (\sigma_3 - \Delta\sigma_{BM})K = \Delta\sigma_{пK}$, где $\Delta\sigma_{BM}$ - поправка за влияние вмещающих пород;

K - поправочный коэффициент за ограниченную толщину пласта, залегающего в непроводящих вмещающих породах.

Значение $\Delta\sigma_{BM}$ определяют с использованием номограмм по известным значениям ρ_{BM} и h , а коэффициент K - по $\Delta\sigma_{п}$, h и $\rho_{п}$.

При наличии зоны проникновения изложенные выше способы введения поправок за ограниченную толщину пласта не во всех случаях дают точные результаты. Ими можно пользоваться для пластов, толщина которых превышает 3м. Для пластов меньшей толщины погрешность определения может достигать десятков процентов, особенно с возрастанием диаметра зоны проникновения.

После введения всех указанных поправок получаемое значение удельного сопротивления в пласте без проникновения и при неглубоком повышающем проникновении соответствует истинному удельному сопротивлению, а в других случаях - эффективному удельному сопротивлению при неограниченной толщине пласта.

Для учета влияния зоны проникновения необходимо использовать специальные палетки, представляющие собой семейства кривых зависимостей ρ_k от ρ_p или ρ_k от σ_p . Кривые разбиты на группы для определенных значений диаметра зоны проникновения и ее сопротивления ρ_{zp} . Палетками можно пользоваться, если известны удельное сопротивление и диаметр зоны проникновения (по их значениям выбирают соответствующую палетку). Перед использованием палеток в показания ИМ вводят поправки за влияния диаметра скважины, скин-эффекта и ограниченной толщины пласта. Диаметр зоны проникновения может быть найден по диаграммам БК или комплексным исследованиям с применением комплексных палеток (например, БК-ИК).

Порядок выполнения работы

1. Выделить более или менее однородные пласты с не очень большим сопротивлением (менее 50 Ом), найти их мощность. Отсчитать σ_z .
2. Ввести поправку за влияние скважины, применив соответствующие палетки. Учесть скин-эффект.
3. Ввести поправку за ограниченную мощность пласта, выбрав нужную палетку.
4. Определить, есть или нет проникновение фильтрата бурового раствора в пласт и характер проникновения, если оно имеется.
5. При наличии проникновения по трехслойным или комплексным палеткам определить удельное сопротивление пласта и диаметр зоны проникновения.

Список литературы

1. Альбом палеток и номограмм для интерпретации промыслово-геофизических данных.- М.: Недра, 1984.-201с.
2. Добрынин В.М., Вендельштейн Ю.Ю., Резванов Б.А., Африкян А.И. Промысловая геофизика.- М.: Недра, - 1986.-423 с.

3. Дьяконов А.И., Леонтьев Г.И., Кузнецова Г.С. Общий курс геофизических исследований скважин.- М.: Недра, 1984.-432 с.
4. Загоротко Ю.М. Геофизические методы исследования скважины: (Учебник для техникумов).- М.: Недра, 1983.-211 с.
5. Интерпретация результатов геофизических исследований нефтяных и газовых скважин: Справочник / Под ред. В.М.Добрынина.- М.: Недра, 1988.-476 с.
6. Итенберг С.С. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. (Учебное пособие, 2-е изд. перераб. и доп.).- М.: Недра, 1987.-347 с.
7. Латышова М.Г. Практическое руководство по интерпретации диаграмм геофизических методов исследования скважин.- М.: Недра, 1981, 1991.-218 с.