

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КубГУ»)

Кафедра геофизических методов поисков и разведки

КУРСОВАЯ РАБОТА

**МЕТОДЫ КС: ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, ТЕХНИКА И МЕТОДИКА
РАБОТ, ПРИНЦИПЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ
ДИАГРАММНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Работу выполнил _____ Гавков В.С.
(подпись, дата)

Институт географии, геологии, туризма и сервиса _____ курс 3

Направление: 05.03.01 «Геология» направленность (профиль) «Геофизика» _____

Научный руководитель,
канд. техн. наук, доцент _____ Е.И. Захарченко
(подпись, дата)

Нормоконтролёр,
ст. преподаватель _____ Ю.И. Захарченко
(подпись, дата)

Краснодар 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Физические основы метода каротажа сопротивлений	5
2 Модификации метода КС	10
3 Аппаратура и оборудование, используемые при проведении КС	19
4 Принципы обработки и интерпретации метода КС.....	27
5 Практическое применение метода КС	32
Заключение	35
Список использованных источников	36

ВВЕДЕНИЕ

Метод КС является важным и обязательным исследованием при изучении любой скважины, позволяющий произвести литологическое расчленение и определить мощности и составы пластов.

Основным методом электрического каротажа скважин, в основе которого лежит различное удельное электрическое сопротивление (УЭС) горных пород и полезных ископаемых является метод каротажного сопротивления или метод КС.

Объект исследования курсовой работы – метод кажущего сопротивления.

Предмет исследования курсовой работы – особенности геофизического метода, его характеристики и механизмы работы.

Цель данной работы – изучить основные физические характеристики и принципы работы метода кажущего удельного электрического сопротивления.

Для достижения поставленной цели необходимо решить задачи:

- 1) изучить физические основы метода;
- 2) проанализировать методику и технику проведения метода КС;
- 3) рассмотреть основную аппаратуру, используемую при выполнении каротажа сопротивлений;
- 4) проанализировать интерпретацию данных каротажа и их практическое применение.

В ходе решения поставленных задач были использованы следующие методы:

- 1) анализ теоретических основ метода;
- 2) описание работы каротажа и его аппаратуры;
- 3) анализ интерпретации данных КС;
- 4) изучение его практического применения;
- 5) обобщения полученной информации.

Все вышеперечисленное послужило основой для написания глав курсовой работы. Были задействованы и проанализированы литературные источники, использовались интернет-ресурсы.

1 Физические основы метода каротажа сопротивлений

Различные свойства, благодаря которым горные породы и минералы способны проводить электрический ток называют электрическими свойствами горных пород. Среди минералов по электропроводности различают:

- электронные проводники, где ток создается направленным движением электронов, сопротивление вызвано столкновениями электронов с атомами, а вероятность столкновения растет с температурой. К этому классу относятся минералы самородных металлов, многие сульфиды металлов, графит;

- ионные проводники, где ток создают переносимые ионами заряды. В твердом состоянии возможность перемещения ионов ограничена, поэтому проводимость зависит от растворимости и температуры. С ростом температуры и наличием соли сопротивление уменьшается. К этому классу можно отнести многие минералы: галоиды – галит, сильвин, карналлит, нитраты, некоторые окислы и гидроокислы, карбонаты, сульфаты и алюмосиликаты;

- полупроводники, где в зависимости от примесей они показывают проводимость электронную или дырочную. Сопротивление зависит от температуры и концентрации примесей. К этому классу относится большое число минералов – окислов, силикатов и нерастворимых солей;

- диэлектрики, у которых по определению удельное сопротивление велико, но у реальных минералов оно не превышает 10^{15} - 10^{16} Ом*м. Ими являются нерастворимые окислы, силикаты, слюды, нефть. При высоких температурах в них возможна примесная, а также ионная проводимость, связанная с перемещением вакансий в кристаллической решетке. Ряд минералов и пород приведены в таблице 1.

Таблица 1 – УЭС основных минералов и горных пород.

Минералы и горные породы	Значения УЭС, Ом*м
Пирит	10^{-4} - 10^{-1}
Графит	10^{-6} - 10^{-4}

Продолжение таблицы 1

Магнетит	$10^{-4}-10^{-2}$
Антрацит	$10^{-3}-1$
Каменный уголь	$10-10^{16}$
Ангидрит	10^7-10^{10}
Кальцит	10^7-10^{12}
Кварц	$10^{12}-10^{14}$
Полевой шпат	$10^{11}-10^{12}$
Слюда	$10^{14}-10^{15}$
Нефть	10^9-10^{15}
Глина	$10^{0,5}-10^{15}$
Известняк	$40-10^5$
Песок (насыщ. минер. водой)	0,5-5
Песок (насыщ. нефтью, газом)	$10-10^4$

Электрическое сопротивление – это основное свойство материала, не имеющего ничего общего с сопротивляемостью, которая в свою очередь ассоциируется с геометрической формой материала. Связь сопротивления с основными свойствами электрического тока и напряжения описывается уравнением Ома:

$$R = \frac{U}{I}, \quad (1)$$

где R – сопротивление, Ом;

U – напряжение, В;

I – сила тока, А.

Сопротивление R зависит от свойства материала и от его геометрии.

Удельное сопротивление вещества – физическая величина, характеризующая способность вещества препятствовать прохождению электрического тока. Удельное сопротивление обозначается греческой буквой ρ .

Величина, обратная удельному сопротивлению, называется удельной проводимостью (удельной электропроводностью). В отличие от электрического сопротивления, являющегося свойством проводника и зависящего от его материала, геометрии, удельное электрическое сопротивление является свойством только горной породы.

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l}, \quad (2)$$

где R – полное сопротивление образца породы, Ом;

S – площадь сечения породы, м²;

l – длина образца, м.

Из формулы (2) следует, что удельное электрическое сопротивление (УЭС) измеряется в Ом*м.

Получаем, что УЭС в 1 Ом*м равно полному сопротивлению в Ом 1 м³ породы с основанием 1 м² и высотой 1 м, которое измеряют перпендикулярно к плоскости куба. УЭС определяется большим количеством факторов, таких как:

- удельное сопротивление твердой фазы, жидкости и газов, которые насыщают поровое пространство горной породы;
- объёмное соотношение этих характеристик;
- их характером распределения в горных породах;
- температурой.

Как было сказано выше, проводимость, величина обратная сопротивлению. Она может быть электрическая и металлическая. Электрическая зависит от наличия в воде растворённых солей. Металлическая проводимость связана с наличием металлов (рудные залежи, глинистые побочные минералы).

Таким образом, электропроводность часто встречаемых горных пород по большому счёту мало зависит от минерального состава, поскольку основные породообразующие минералы (кроме сульфидов и углей) это отличные изоляторы. Но достаточно сильно зависит от химического состава растворённых

солей и их концентрации. С увеличением общей концентрации удельное сопротивление растворов уменьшается.

Метод кажущихся сопротивлений – один из основных методов скважинных геофизических исследований. Он основан на изучении искусственно стационарного и квазистационарного (относительно медленно меняющихся) электрических полей в горных породах. Как правило, кажущееся удельное сопротивление среды определяется по наблюдаемым значениям разности потенциалов ΔU , созданным источником силы тока I .

В скважинах используют четырёхэлектродную установку $AMNB$, на поверхности которых заземляют B или N у их устья. Остальные перемещаются по скважине с одинаковым расстоянием между собой. Эту установку называют зондом КС.

Соответственно, чтобы вычислить сопротивление среды пользуются формулой:

$$\rho = 4\pi \frac{AM \cdot AN}{MN} \frac{\Delta U}{I} = K \frac{\Delta U}{I}, \quad (3)$$

где K – коэффициент установки зонда КС.

Так как расстояние между электродами постоянно коэффициент K при данной установке зонда неизменен.

Однако, когда заземляют электрод N на поверхности коэффициент $K = 4\pi \frac{AM \cdot BM}{AB}$. Мы видим, что коэффициент K не меняется при смене значений приёмных и питающих электродов зонда. И это означает, что к измерениям удельного электрического сопротивления применим принцип суперпозиции.

В случае однородной изотропной (одинаковость свойств пространства по всем направлениям) среды УЭС, рассчитанное по формуле (3), соответствует истинному значению. Но фактически среда в скважине не является однородной и изотропной. Таким образом, имеет смысл ввести кажущееся сопротивление. Оно равно сопротивлению такой фиктивной однородной среды, в которой при

заданных параметрах зонда и силе питающего тока в цепи, создаётся такая же разность потенциалов, как и в неоднородной среде.

Мы получаем, что окончательная формула для кажущегося удельного сопротивления будет равна:

$$\rho_k = K \frac{\Delta U}{I}, \quad (4)$$

Таким образом, кажущееся удельное сопротивление это наблюдаемое электрическое поле, нормированное по параметрам установки, чтобы в однородном полупространстве кажущееся сопротивление совпадало с удельным сопротивлением полупространства.

2 Модификации метода КС

В группу методов КС входят метод обычных зондов КС, боковое электрическое зондирование (БЭЗ), метод специальных зондов КС, микрозондирование (МКЗ) и резистивиметрия (Р).

Кажущее сопротивление горных пород измеряется чаще всего с помощью обычных зондовых установок, у которых три электрода находятся в скважине. Питающие парные – А и В. Измерительные парные – М и N. Также существуют непарные электроды разных цепей. Питающие служат для создания электрического поля в скважине, их называют токовыми. Измерительные используются для замеров электрического поля в скважине.

По измеряемой величине электрического поля и расположению электродов зондовые установки делятся на потенциал-зонды и градиент-зонды (рисунок 1).

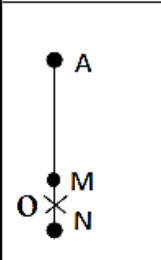
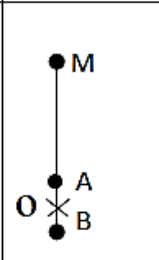
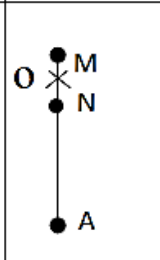
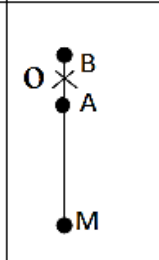
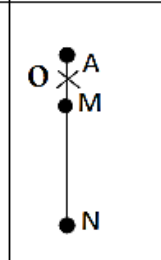
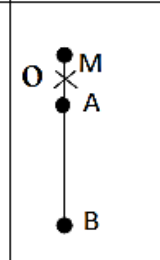
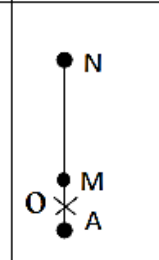
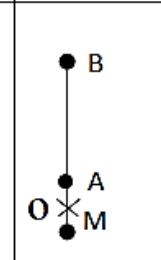
Градиент-зонды				Потенциал-зонды			
Последовательный		Обращенный		Последовательный		Обращенный	
Одно-полюсный	Двух-полюсный	Одно-полюсный	Двух-полюсный	Одно-полюсный	Двух-полюсный	Одно-полюсный	Двух-полюсный
							

Рисунок 1 – Классификация групп установок потенциал- и градиент-зондов, где А и В – токовые электроды; М и N – измерительные электроды; О – точка записи зонда

В потенциал-зонде расстояние между приемными MN или питающими АВ электродами превышает расстояние от непарного электрода А или М до ближайшего парного. Точка записи, к которой относится измеренное кажущееся сопротивление, располагается посередине АМ. Если один из парных электродов N или В потенциал-зонда удалён в бесконечность, то такой зонда называется идеальным потенциал-зондом. В этом случае величина КС, замеренная идеальным потенциал-зондом, пропорциональна потенциалу электрического

поля в точке М и тем самым $\rho_k = 4\pi \frac{AMU}{I}$. Но на практике обычно применяют трёхэлектродные неидеальные потенциал-зонды, где ρ_k определяется формулой (3).

Данная установка была названа таким способом, потому что в точке М измеряется потенциал электрического поля. Расстояние между сближенными непарными электродами $L_{пз} = AM$ является размером или длиной потенциал-зонда. Точка, к которой относится кажущегося сопротивления называется точкой записи и обозначается буквой О.

Точка записи у потенциал-зонда условно расположена посередине между электродами А и М. Но фактически потенциал фиксируется в точке М. Тем самым облегчается отбивка границ пласта. Размер зонда определяет его глубинность исследования и общий вид кривой кажущегося УЭС.

В градиент-зонде расстояние между парными электродами в пять-десять раз меньше расстояния до непарного. Точка записи находится посередине MN. Если парные электроды располагаются выше непарного, то зонд называется обращенным (или кровельным), а если под питающим, то последовательным (или подошвенным). Когда расстояние между сближенными электродами MN и АВ стремится к нулю, то такой зонд является идеальным градиент-зондом. Тогда величина КС пропорциональна градиенту потенциала Е электрического поля в точке О, находящейся посередине между бесконечно сближенными электродами М и N и тем самым $\rho_k = 4\pi(AO)^2E/I$. Но на практике применяют трёхэлектродные неидеальные градиент-зонды, где ρ_k определяется формулой (3). Использовать идеальные градиент-зонды невозможно т.к. нельзя изготовить зонды с бесконечно близко расположенными электродами и их потенциал будет настолько мал, что его нельзя будет практически замерить.

Установка названа градиент-зондом, потому что между точками М и N измеряется градиент потенциала электрического поля. Расстояние $L_{гз} = AO$ между непарным электродом и серединой сближенных электродов – размер градиент-зонда. Им определяется радиус исследования и общий вид кривой КС.

Точка записи O кривой KC расположена посередине между парными электродами.

По назначению электродов, находящихся в скважине, зонды могут быть однополюсные (прямого питания), где в скважине расположен один токовый электрод A и два измерительных M и N , а также двухполюсные (взаимного питания), где в скважине два токовых электрода A и B и один измерительный M .

В неоднородных средах значение KC зависит не только от типа применяемого зонда, но и от взаимного расположения его электродов. Поэтому есть трёхэлектродные последовательные и обращённые потенциал- и градиент-зонды.

В последовательных зондах парные электроды A и B или M и N находятся внизу, а в обращённых парные электроды расположены выше непарного.

Тип зонда KC принято обозначать буквами A , B , M и N сверху вниз в порядке расположения электродов. Между букв указывается их расстояние в метрах (пример записи $A1,75M0,5N$).

Определение $\rho_{п}$ по кривым KC стандартного зонда возможно только в отдельных благоприятных случаях. В общем случае $\rho_{к}$ зависит от целого ряда величин, характеризующих среду, окружающую зонд: размеров и сопротивлений зоны проникновения, УЭС вмещающих пород, мощности пласта, сопротивления бурового раствора. Чтобы исключить влияние этих факторов, проводят измерения KC пластов набором однотипных зондов разной величины. При малых размерах зонда измеряемое кажущееся сопротивление определяется главным образом сопротивлением бурового раствора. При увеличении размера зонда над диаметром скважины и глубиной проникновения фильтрата бурового раствора величина $\rho_{к}$ приближается к истинному значению.

Боковой каротаж.

Боковой каротаж предназначен для электрических исследований трехэлектродными и многоэлектродными зондами с фокусировкой тока в радиальном направлении с помощью экранных электродов. Он может быть осуществлён потенциал- и градиент-зондами. На практике применяют градиент-

зондирование, так как потенциал-зондами выделить тонкие пласты высокого сопротивления практически невозможно.

Боковое каротажное зондирование.

Боковое каротажное зондирование является электрическим каротажом с использованием нескольких однотипных не фокусированных зондов различной длины, обеспечивающих радиальное электрическое зондирование пород.

Применение комплекта зондов различной длины позволяет исключить влияние бурового раствора на величину кажущегося сопротивления, изучить характер изменения сопротивления от стенок скважины в глубь пласта, определить глубину проникновения фильтрата бурового раствора в пласт. Он эффективен для литологического расчленения разрезов, выявления нефтегазовых или водонасыщенных коллекторов, отложений угля, руд и других полезных ископаемых, отличающихся по своему удельному сопротивлению от вмещающих пород. Одновременно с БКЗ обычно определяют диаметр скважины и удельное сопротивление бурового раствора.

Метод эффективен для изучения разрезов с частым чередованием пластов. Максимальная вертикальная разрешающая способность метода – 50 см. Глубинность исследования составляет 1,5 м.

Основная цель зондирования – получение фактической кривой изменения кажущегося сопротивления как функции от размера зонда. Эта кривая сравнивается с расчётными кривыми, собранными в палетки. В итоге такого сравнения устанавливается совпадения фактической и одной из палеточных кривых, при этом параметры модели, для которой рассчитана палеточная кривая, принимаются в качестве результата интерпретации. Для интерпретации в основном используются два вида палеток: двухслойные и трёхслойные. Двухслойные рассчитаны для одной цилиндрической границы раздела, моделирующей скважину и пласт бесконечной мощности. Трёхслойные рассчитаны для двух цилиндрических границ раздела, моделирующих скважину, зону проникновения и пласт бесконечно большой мощности (рисунок 2).



Рисунок 2 – Модель различных сред

Двухслойные кривые БКЗ рассчитаны для условий, когда проникновение промывочной жидкости в пласт отсутствует. Двухслойные кривые БКЗ обозначают одним относительным параметром ρ_n/ρ_c , который называется модулем кривой БКЗ.

Трёхслойные кривые БКЗ рассчитаны для случая проникновения промывочной жидкости в пласт. При этом в примыкающей к скважине части пласта образуется зона проникновения, условно принимаемая за цилиндрическую, диаметром D и удельным сопротивлением ρ_{zp} с промежуточным значением между ρ_c и неизменной части пласта ρ_n . Трёхслойные кривые БКЗ определяются пятью параметрами ρ_n , ρ_{zp} , ρ_c , D и d_c . Но в связи с тем, что кривые БКЗ строятся в двойном логарифмическом масштабе, их форма и положение на палетках зависят от трех относительных параметров D/d_c , ρ_{zp}/ρ_c и ρ_n/ρ_c .

При проникновении фильтра промывочной жидкости в пласт могут быть два случая: снижение удельного сопротивления (понижающее проникновение) и увеличение его сопротивления (повышающее проникновение).

Чтобы выбрать палетку, требуется установить тип кривой зондирования – двухслойная или трёхслойная. Это делается путём сопоставления фактической кривой с двухслойной палеткой БКЗ-1а (рисунок 3).

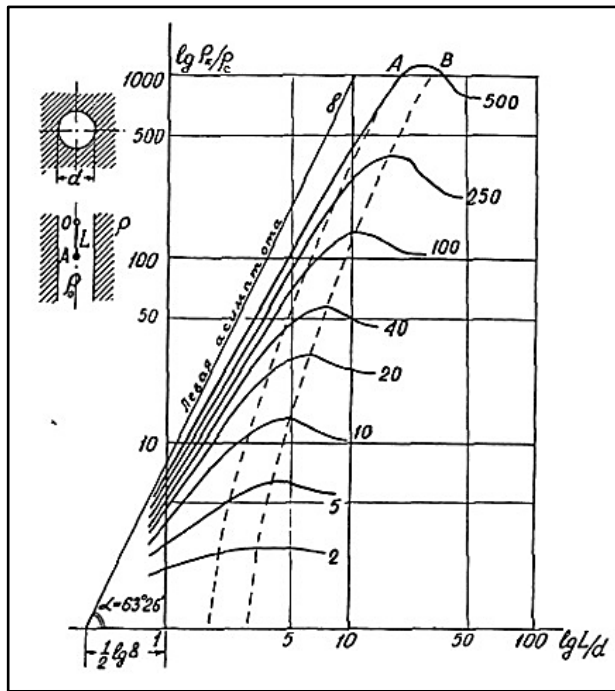


Рисунок 3 – Пример палетки БКЗ-1а для градиент-зондов

К специальным зондам метода КС относятся: четырёх-электродный градиент-зонд, симметричный градиент-зонд, дифференциальные зонда, дипольный зонд, потенциальный микрозонд Дахнова (рисунок 4).

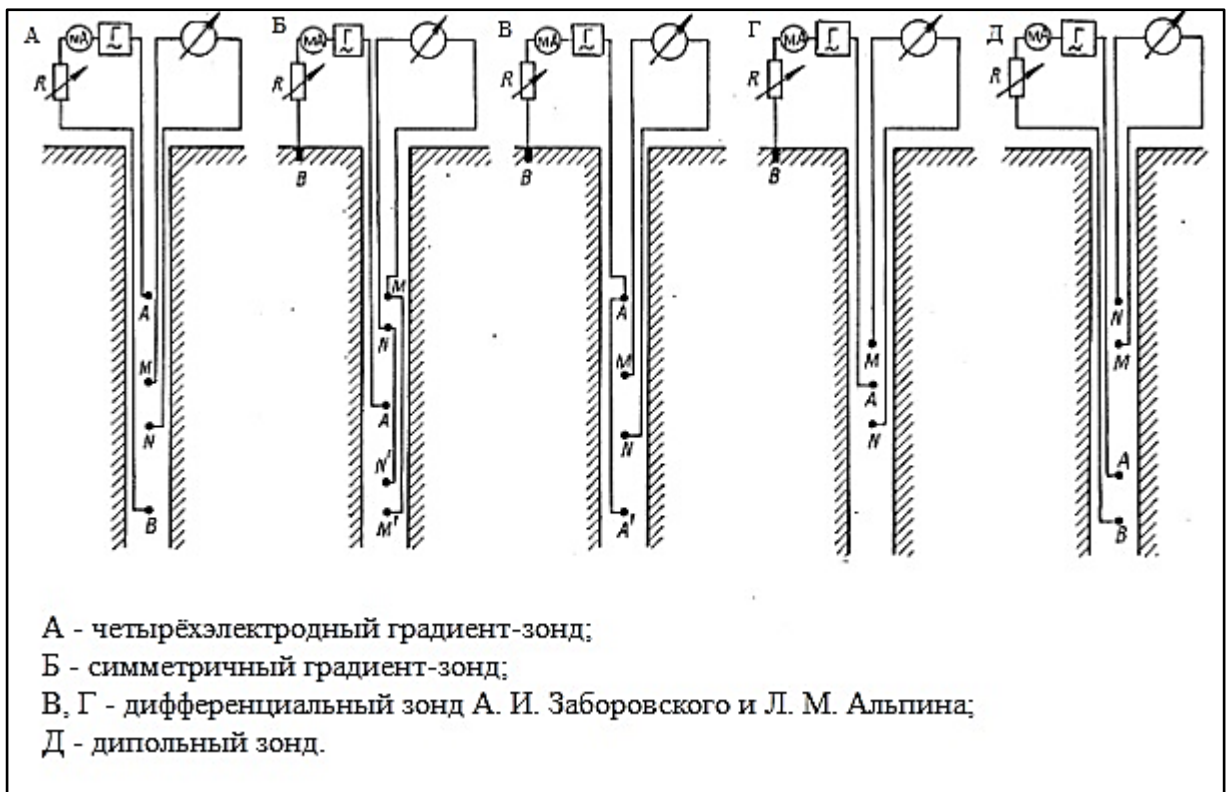


Рисунок 4 – Различные схемы специальных зондов

Метод микрозондирования.

Метод микрозондирования (МКЗ) заключается в детальном исследовании кажущегося сопротивления пород в промытой зоне, а также промывочной жидкости. Эти зонды имеют очень малую длину (расстояние между центрами электродов около 2,5 см).

Электроды зонда расположены на внешней стороне башмака (он предназначен для оборудования низа обсадных труб для направления их по стволу скважины, придания жёсткости и защиты от повреждений) из изоляционного материала. Внешней стороной башмак прижимается к стенке скважины с помощью специального устройства и тем самым экранирует электроды от влияния бурового раствора. Этим снижается влияние скважины на результаты измерений.

В обычных микрозондах на башмаке установлены три точечных электрода на расстоянии 2,5 см друг от друга. Они между собой образуют два градиент-зонда и потенциал-зонд (рисунок 5).

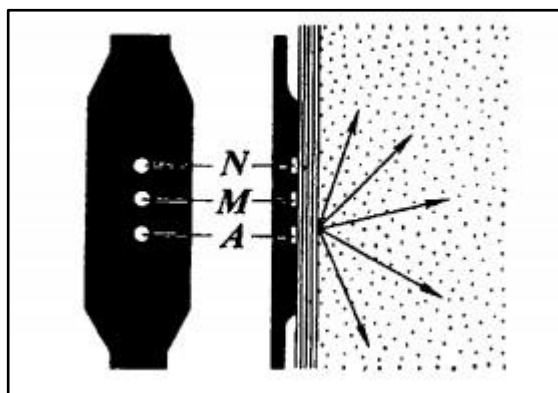


Рисунок 5 – Схема расположения электродов обычного микрозонда

Кажущее сопротивление для микрозондов определяется по обычной формуле (4). Но коэффициенты не могут быть посчитаны, как для обычных зондов, ведь размеры электродов сравнимы с расстоянием между ними. Эти коэффициенты определяются по результатам тесовых замеров.

Малые размеры зондов позволяют определить границы пластов разного сопротивления с точностью до 5-10 см по резким изменениям кривых КС. Более

качественную информацию получаю при совместной интерпретации кривых градиент- и потенциал-зонда.

Резистивиметрия.

Резистивиметрия – это измерения сопротивления жидкости, заполняющей скважину, чаще всего бурового раствора. Резистивиметр такой зонд, где расстояние между электродами которого настолько малы, что ток замыкается внутри бурового раствора и стенки скважины не влияют на результаты измерений. Используются скважинные и поверхностные резистивиметры.

Скважинные представляют собой систему электродов, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга и помещённых в специальный корпус, который позволяет исключить влияние горных пород на величину измеряемого сопротивления жидкости.

Измерение удельного сопротивления жидкости резистивиметром выполняют по такой же схеме, как и при использовании обычных зондов, чаще всего по схеме однополюсного зонда. Через токовые электроды А и В пропускают ток, а между электродами М и N измеряют разность потенциалов (рисунок 6).

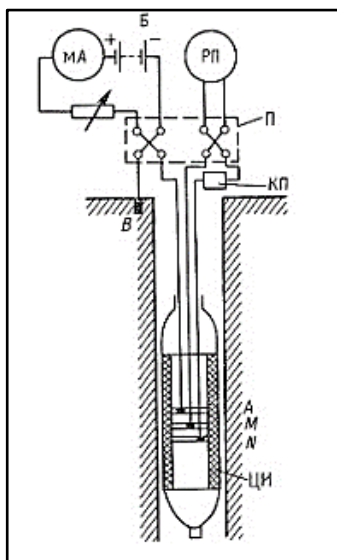


Рисунок 6 – Схема измерения скважинным резистивиметром

Отдельные пробы промывочной жидкости и водных растворов электролитов исследуют поверхностным лабораторным резистивиметром,

который представляет собой сосуд из изоляционного материала (эбонита или плексигласа) с четырьмя вмонтированными электродами. Электроды могут быть из латуни, свинца, серебра и платины (рисунок 7).

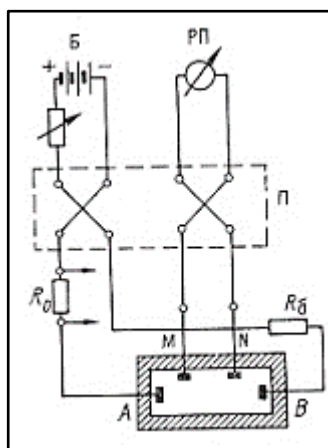


Рисунок 7 – Схема поверхностного резистивметра

Резистивиметрия применяется для установления мест притоков скорости фильтрации подземных вод, выделения интервалов поглощения промывочной жидкости в скважине, определения мест нарушения обсадных колонн и типа флюида в эксплуатационных нефтяных скважинах.

3 Аппаратура и оборудование, используемые при проведении КС

Каротажная станция – передвижная автоматическая установка для производства геофизических исследований в скважинах. Каротажная станция обычно монтируется на шасси одного или двух автомобилей. Она состоит из: скважинных приборов и зондов, наземной аппаратуры, специального каротажного кабеля, лебёдки для выполнения спуска-подъёмных операций кабеля, блок-баланса для направления кабеля (рисунки 8, 9).

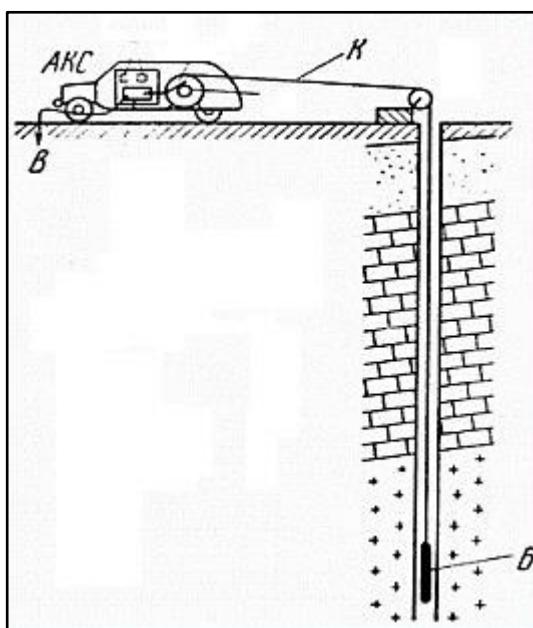


Рисунок 8 – Схема выполнения ГИС



Рисунок 9 – Каротажная станция

Скважинная аппаратура используется для проведения геофизических работ на каротажном кабеле. В скважину спускается аппарат, который взаимодействуя с исследуемой окружающей его средой (промывочная жидкость и горная порода), выдает на поверхность необходимую информацию или осуществляет какую либо работу (прострел отверстий, установку разделительных мостов, отбор керна или пластовых флюидов и др.). Скважинная аппаратура должна быть работоспособна в условиях высоких внешних давлений до 150 МПа, температур до 250 °С и химически активной среды (высокие концентрации растворов солей, наличие нефти и газа).

Прибор электрического каротажа ЭК-1 предназначен для исследования нефтяных и газовых скважин методами бокового каротажного зондирования, трёхэлектродного бокового каротажа, резистиметрии скважин, а также для измерения диаметра скважин. Он рассчитан на работу в скважине диаметром не менее 160 мм в водной промывочной жидкости. Наибольшее значение температуры окружающей среды (около 120 °С), а гидростатическое давление 100 МПа. Аппаратура работает в комплексе с трёхжильным грузонесущим геофизическим кабелем типа КГ 3-60-180-1 длиной 6000 м (рисунок 10).

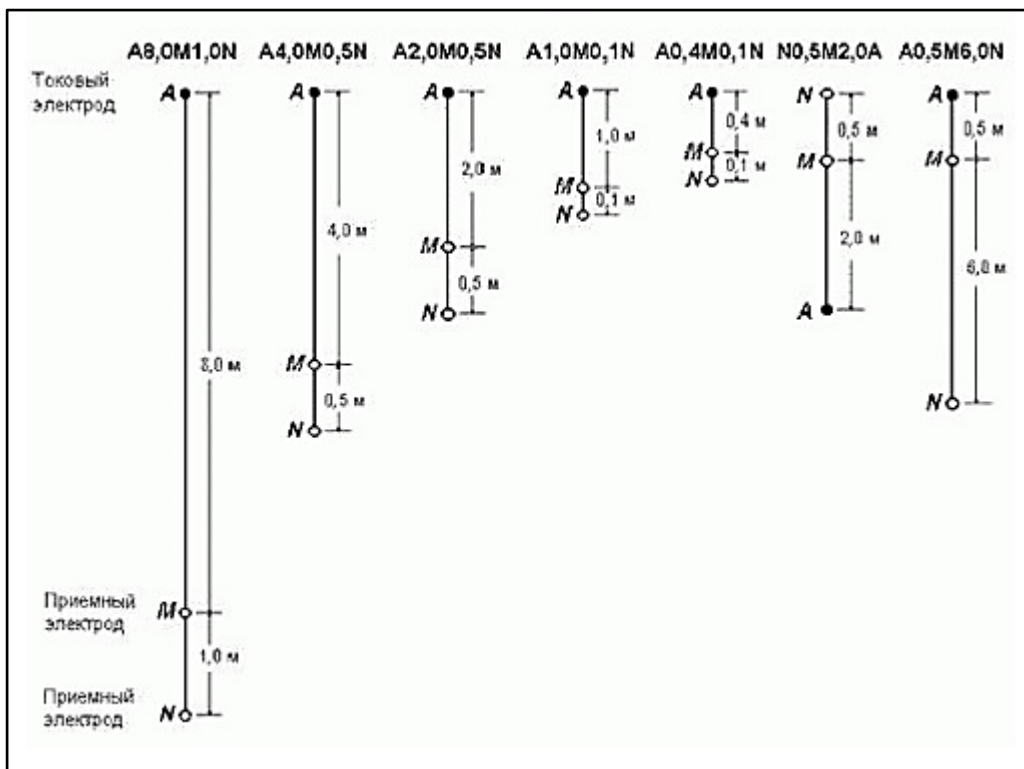


Рисунок 10 – Схемы зондов, применяемые данной аппаратурой

Питание скважинного прибора и токовых электродов осуществляется от каротажного источника питания с силой тока 500 мА частоты 400 Гц. Питание подаётся при полном погружении его в раствор. Запрещён спуск прибора в скважину с открытыми рычагами каверномера.

Прибор электрического каротажа ЭК-М обеспечивает одновременное измерение КС семью зондами БКЗ, удельного электрического сопротивления промывочной жидкости и потенциалов самопроизвольной поляризации. Дополнительным рейсом в интервале исследований обеспечивает измерение удельного электрического сопротивления пород методом трёхэлектродного бокового каротажа (рисунок 11).



Рисунок 11 – Прибор электрического каротажа ЭК-М

Прибор электрического каротажа ЭК-2М предназначен для проведения геофизических исследований методами бокового каротажа зондирования (БКЗ), самопроизвольной поляризации (ПС) и двухзондового бокового каротажа (БК 7/9) в открытом стволе нефтяных и газовых скважин, заполненных буровым раствором с удельным электрическим сопротивлением от 0,03 до 5 Ом*м.

Прибор ЭК-2М допускает комплексирование с другими приборами, обеспечивает питание этих приборов.

Прибор электрического каротажа ЭК-76 предназначен для измерения кажущегося удельного электрического сопротивления горных пород, пересеченных скважиной, методами стандартного каротажа (КС), бокового каротажного зондирования (БКЗ), резистивиметрии. Общая длина прибора около 20 м. Диаметр прибора 76 мм. Общая масса прибора 140 кг.

Прибор электрического каротажа ЭК-Т-60 предназначен для того же, что и ЭК-76. Общая длина прибора около 22 м. Диаметр прибора 60 мм. Общая масса прибора 100 кг.

Прибор бокового каротажа многозондовый ЭКВР предназначен для измерения кажущегося удельного электрического сопротивления горных пород, пересеченных скважиной, пятью разноглубинными зондами псевдобокового каротажа (БК-5) и одним зондом бокового каротажа (БК-3) в сложных геолого-технических условиях. Общая длина прибора около 15 м. Диаметр прибора 76 мм. Общая масса прибора 350 кг. Диапазон температуры рабочих условий применения от минус 10 до плюс 120 °С.

Прибор стандартного электрического каротажа ЭСК предназначен для измерения кажущегося удельного сопротивления горных пород, пересеченных скважиной, методами стандартного каротажа (КС), резистивиметрии, потенциала самопроизвольной поляризации (ПС). Общая длина прибора около 7 м. Диаметр прибора 76 мм. Общая масса прибора 80 кг.

Прибор стандартного электрического каротажа малогабаритный ЭСК-48 Предназначен для измерения кажущегося удельного сопротивления горных пород, пересеченных скважиной, методами стандартного каротажа (КС), резистивиметрии, потенциала самопроизвольной поляризации (ПС). Общая длина прибора около 7 м. Диаметр прибора 48 мм. Общая масса прибора 35 кг. Диапазон температуры рабочих условий применения до 120 °С.

Все приборы применяются в открытом стволе нефтегазовых скважин, заполненных водной промывочной жидкостью. Они решают задачи по

выделению коллекторов в разрезе нефтегазовых скважин, оценке удельного сопротивления пластов, оценке насыщенности коллекторов.

Наземная аппаратура позволяет регистрировать показания скважинных приборов и зондов в аналоговой или цифровой форме (рисунок 12).



Рисунок 12 – Наземная система контроля глубины

Каротажный кабель применяется для соединения скважинных приборов с наземной аппаратурой. Он состоит из: 1 – токопроводящей жилы; 2 – изоляции; 3 – оболочки; 4 – наружного защитного покрова; 5 – брони или экрана (рисунок 13).

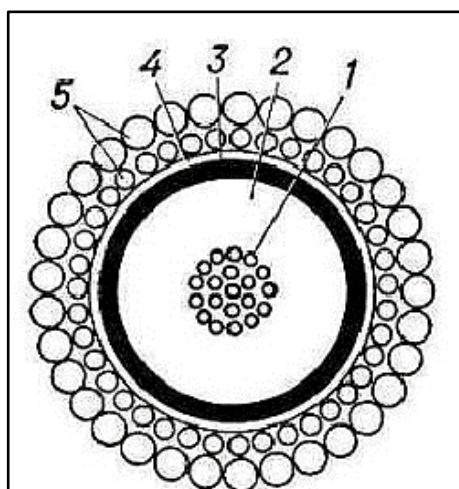


Рисунок 13 – Одножильный каротажный кабель

Каротажные кабели осуществляют электрическую связь скважинных приборов с наземной измерительной аппаратурой и, кроме того, несут механическую нагрузку. Соответственно, кабели должны иметь высокую прочность на разрыв, низкое электрическое сопротивление и хорошую изоляцию. Кроме того, кабели не должны растягиваться и раскручиваться при их натяжении.

Лебедка предназначена для спуска и подъема исследовательских приборов в стволы скважин. Она устанавливается в кузов автомобиля. Скорость подъема прибора регулируется наличием тиристорного, либо реостатного управления электроприводом лебедки. Для механического привода регулирование количества ступеней скорости осуществляется путем изменения числа оборотов двигателя коробкой скоростей автомобиля и двухступенчатым редуктором (рисунок 14).

Лебедка снабжена винтовым кабелеукладчиком с ручной корректировкой укладки кабеля или проволоки, с устройством измерения их длины, скорости и натяжения. Предохранительные муфты ограничивают разрывное усилие. Она оснащена ленточными тормозами, и имеет муфту переключения, тем самым обеспечивает производимые работы только с кабелем или проволокой. Изделие сконструировано таким образом, чтобы иметь свободный доступ к узлам при производстве ремонтных работ.



Рисунок 14 – Кабельная лебедка универсальная

Блок-баланс, располагающийся вблизи скважины, предназначен для направления кабеля в скважину и синхронной передачи глубины расположения индикатора поля на лентопротяжный механизм регистратора (рисунки 15, 16).

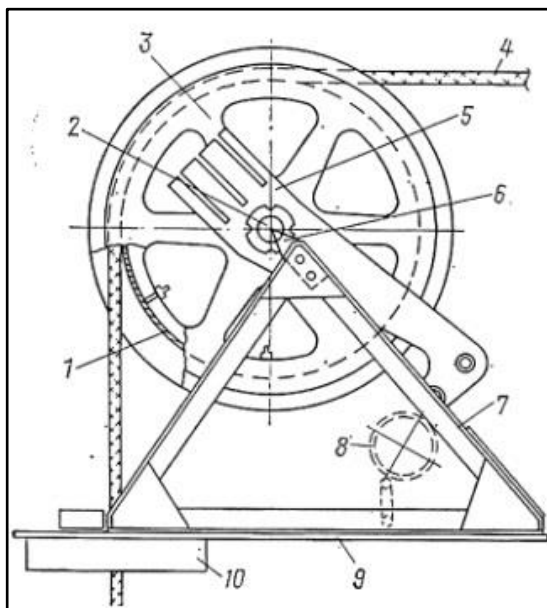


Рисунок 15 – Схема блок-баланса,

где 1 – корректор; 2 – ось ролика; 3 – ролик; 4 – кабель; 5 – щека ролика; 6 – опорная призма;
7 – подставка; 8 – динамометр; 9 – салазки; 10 – поперечная планка

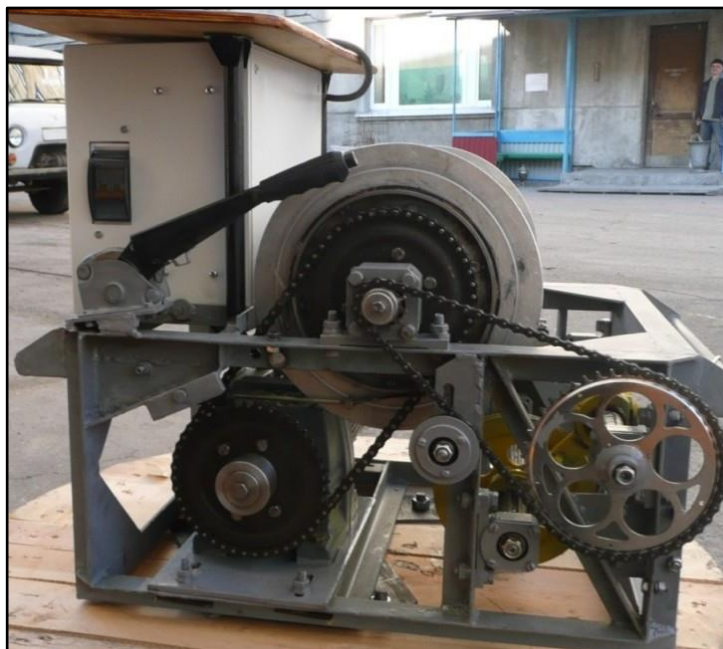


Рисунок 16 – Блок-баланс

На блок-баланс устанавливаются датчики. Датчик натяжения предназначен для измерения величины натяжения каротажного кабеля, преобразования регистрируемого выходного сигнала в электрический сигнал постоянного тока. Датчик магнитных меток предназначен для считывания магнитных меток, нанесенных на геофизическом каротажном кабеле, и преобразования принятого сигнала в напряжение, пропорциональное напряжённости поля магнитной метки.

4 Принципы обработки и интерпретации метода КС

При проходке скважины диаметром d_c различные горные породы изменяются на контакте с промывочной жидкостью неодинаково. При разбурировании плотных и монолитных пород, не претерпевавших изменения, промывочная жидкость контактирует со средой, физические свойства которой не изменены. Если породы хрупкие, на контакте со скважиной может образоваться слой с частично нарушенной структурой пласта и образованной вблизи скважины зоной искусственной трещиноватости. Наибольшее изменение обычно наблюдается в пластах коллекторах, способных отфильтровать либо поглощать буровой раствор. Поэтому объект исследования при поисках нефти и газа оказывается весьма сложным и требует знания его особенностей.

Как уже было сказано выше для изучения разрезов скважин методами КС требуется применение разноглубинных измерительных установок, поскольку в объеме исследования коллектора в большинстве случаев имеет место существенное изменение удельного сопротивления по радиусу. Метод можно сравнить с электропрофилированием в электроразведке.

Интерпретация данных КС начинается с визуального выделения на диаграммах КС аномалий ρ_k , по которым определяют глубину залегания слоев с разными удельными электрическими сопротивлениями. Форма и характерные особенности кривых КС определяются не только сопротивлением и мощностью слоев, но и диаметром скважины, минерализацией бурового раствора, радиусом его проникновения в породу (последний зависит от пористости пород и разности давлений жидкости в пласте и стволе скважины).

Для построения колонки пройденных скважиной пластов по диаграммам различных зондов требуется определение границ пластов и их физических свойств. Способы решения этих задач зависят от типа применяемых зондов и вида используемой аппаратуры, в настоящее время их сейчас очень много. Кажущее сопротивление зависит от удельных сопротивлений и геометрии отдельных сред, заполняющих изучаемое зондом пространство.

Формы кривых для нефокусированных потенциал- и градиент-зондов сложны и в существенной степени отличаются по виду от распределения истинных удельных сопротивлений в разрезе за счёт экранных эффектов. Характер кривых в этом случае изучался на модели пласта с плоскими границами без влияния скважины с помощью теоретических расчётов. На основании этих расчётов выведены основные правила определения границ, которыми пользуются на практике. Более точные решения для моделей, содержащих как плоские, так и цилиндрические границы, были получены с помощью сеточного моделирования. Модель среды с плоскими границами позволяет довольно наглядно и в большинстве случаев просто по физическому смыслу объяснить ход кривых кажущегося сопротивления.

На кривых кажущегося сопротивления, записанных потенциал-зондами, пласт ограниченной мощности при малом различии сопротивлений вмещающих пород выделяется аномалией, симметричной относительно середины пласта. В связи с этим правила определения положения кровли и подошвы пласта по кривой ρ_k потенциал-зонда одинаковы. Определение границ мощных пластов высокого сопротивления производится по правилу, согласно которому точки кривой ρ_k потенциал-зонда, соответствующие границам пласта, смещены на расстояние $AM/2$ от начала крутого подъёма кривой относительно оси глубин против пласта в сторону вмещающих пород низкого сопротивления. При определении границ пластов малой и средней толщины диаграммы потенциал-зондов используются редко (рисунок 17).

На диаграммах кажущего сопротивления, записанных градиент-зондами, в большинстве случаев границы пластов совпадают с экстремальными значениями ρ_k . На диаграммах ρ_k последовательных градиент-зондов подошва и кровля пласта большой и средней толщины высокого сопротивления находится по точкам, расположенным на расстояниях $MN/2$ (или $AB/2$) ниже точек $\rho_{k \max}$ и $\rho_{k \min}$.

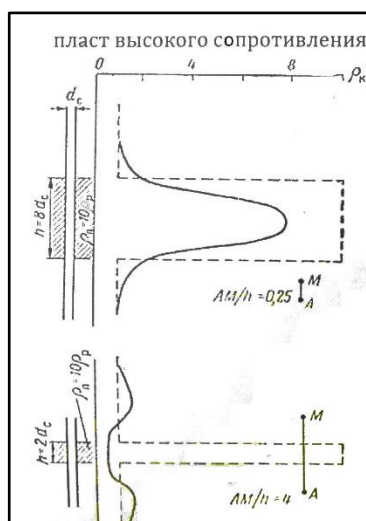


Рисунок 17 – Схема кривых сопротивления, записанных потенциал-зондом, для однородных пластов высокого и низкого сопротивления большой и малой мощности

Если расстояние не велико и в данном масштабе глубин диаграммы это смещение не имеет значения, то подошва и кровля пласта определяются по точкам $\rho_{к \max}$ и $\rho_{к \min}$. Если размер зонда велик и во много раз превышает диаметр скважины, то на кривой $\rho_{к}$ вблизи кровли пласта высокого сопротивления наблюдается участок с пониженным кажущим сопротивлением, а точка $\rho_{к \min}$ в кровле пласта практически не отмечается (рисунок 18).

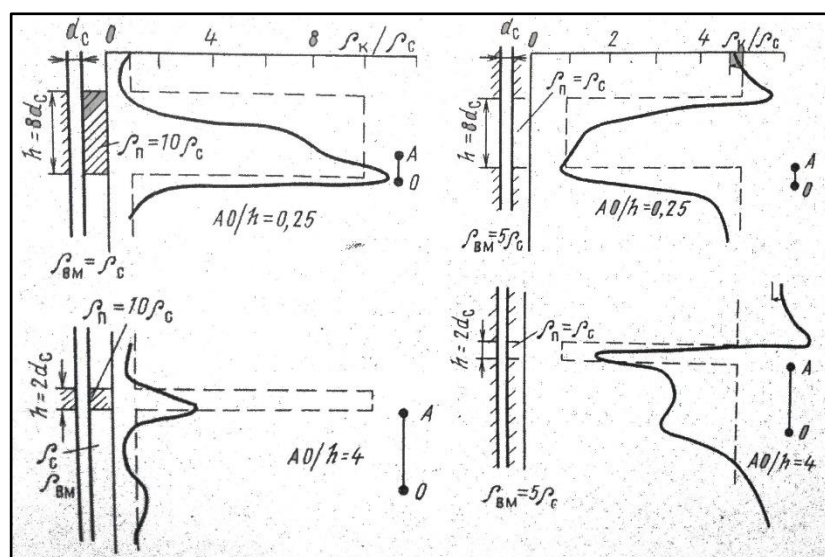


Рисунок 18 – Схема кривых сопротивления, записанных градиент-зондом, для однородных пластов высокого и низкого сопротивления большой и малой мощности

Боковое электрическое зондирование.

Первичная обработка данных бокового электрического зондирования заключается в выделении наиболее однородных пластов, для которых возможна количественная интерпретация. Границы пластов определяются обычным способом по диаграммам ρ_k стандартных и малых зондов БЭЗ. В сложных случаях границы уточняются по сочетанию диаграмм последовательного и обращённого зондов, микрозондов, каверномера и других.

При интерпретации данных БЭЗ для каждого исследуемого пласта строится фактическая кривая зависимости кажущегося сопротивления от размера зонда. Значения ρ_k снимаются с диаграмм, записанных разными зондами БЭЗ. При этом следует придерживаться правил, учитывающих влияние на величину ρ_k . В добавок, мы используем приём совмещения фактической кривой зондирования с расчётными кривыми, подходящими для интерпретируемого случая. Чтобы выбрать соответствующую палетку, необходимо установить тип фактической кривой зондирования. В некоторых случаях тип кривой и нужную палетку устанавливают по ряду явных признаков, а если их бывает недостаточно, то тип кривой определяют только после сопоставления фактической кривой зондирования с двухслойной палеткой (рисунок 19).

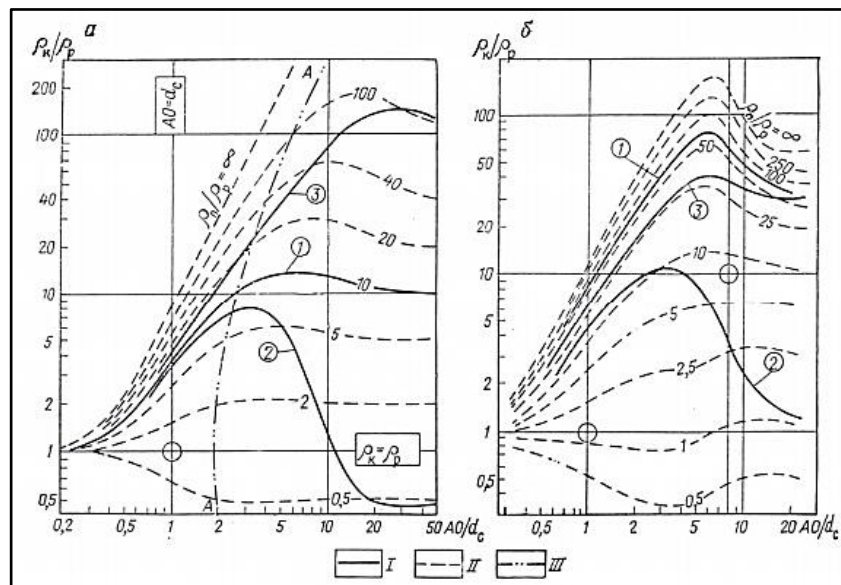


Рисунок 19 – Типы кривых бокового электрического зондирования, где, I – типичные кривые зондирования (цифры в кружках); II – двухслойные палеточные кривые; III – геометрическое место точек на палетке

Таким образом, с помощью градиент-зонда легко выявить кровлю или подошву пласта, но трудно определить его мощность и местоположение середины. Пласты малой по сравнению с длиной зонда мощностью как высокого, так и низкого сопротивления отмечаются трудно расшифровываемыми аномалиями. По значениям КС стандартного зонда, а также в результате интерпретации кривых БКЗ можно получить истинные значения сопротивлений окружающих пород и оценить радиус проникновения бурового раствора. Чем больше радиус проникновения бурового раствора, тем больше пористость пород и лучше их коллекторские свойства.

После интерпретации одной скважины ищут корреляцию похожих аномалий, выявленных методами КС, соседних скважин. Сперва выделяют четкие, повсеместно наблюдаемые в изучаемом районе аномалии, приуроченные к какому-нибудь стратиграфическому горизонту большой мощности и выдержанного простирания. Эти аномалии ещё называют реперами. Затем выделяют промежуточные горизонты.

5 Практическое применение метода КС

Метод кажущихся сопротивлений, один из основных методов скважинных геофизических исследований. Значение ρ_k , как уже говорилось, зависит не только от ρ_p , но и от длины зонда L , его расстояния до границы пласта, мощности пласта, диаметра скважины, диаметра зоны проникновения, сопротивления скважинной жидкости ρ_c и некоторых других параметров. Изменяя длину зонда, можно изменять степень влияния того или иного фактора на значение ρ_k . Например, для зонда очень малых размеров, в силу его малости и удаленности от стенок скважины, влияние ρ_p будет несущественным и $\rho_k \approx \rho_c$. Для большого зонда влияние ρ_p будет значительно сильнее. Чем больше длина зонда L (или отношение L/d_c), тем сильнее влияние ρ_p и меньше влияние ρ_c .

Метод применяется для:

- сопоставления разрезов скважин;
- геологической характеристики скважин, выделения пластов разного литологического состава;
- определения их глубины залегания и мощности;
- оценки пористости и других коллекторских свойств пород;
- выявления полезных ископаемых, нефтегазоносных и водоносных пластов (рисунок 20).

В общем случае $\rho_p = \rho_k$ из-за влияния скважины, вмещающих пород, зоны проникновения и т.д. Суть метода КС заключается в том, чтобы зарегистрировать одну или несколько диаграмм ρ_k и, воспользовавшись методами интерпретации, определить истинное значение удельного электрического сопротивления ρ_p .

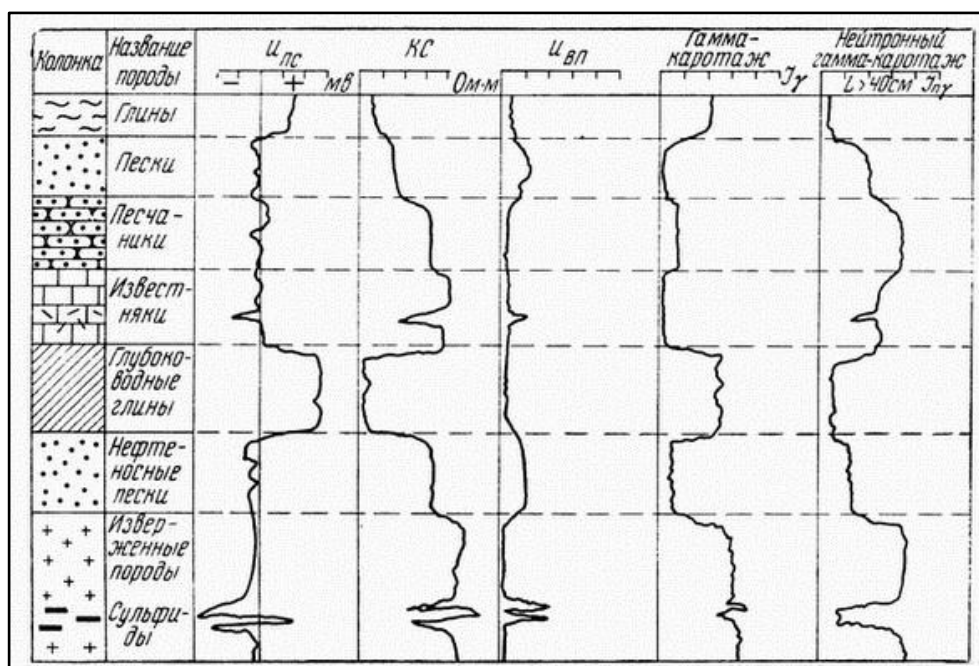


Рисунок 20 – Типичные диаграммы каротажей

Боковое каротажное зондирование.

Боковое каротажное зондирование (БКЗ) используется для определения трех важных параметров:

- 1) удельного сопротивления пласта – ρ_p ;
- 2) удельного сопротивления зоны проникновения фильтрата промывочной жидкости (ПЖ) – $\rho_{пж}$;
- 3) диаметра зоны проникновения промывочной жидкости в пласт – D .

А также применяется для:

- выделение пластов-коллекторов;
- надежное определение удельного электрического сопротивления и параметров зоны проникновения в достаточно мощных пластах;
- опоры других геофизических методов, используемых с целью определения сопротивления пласта.

Сущность метода БКЗ заключается в измерении удельного электрического сопротивления (ρ_k) на исследуемом интервале скважины, как градиент-, так и потенциал-зондами различной длины, а следовательно, с различной глубиной

исследования относительно ствола скважины. Обычно БКЗ проводят только в продуктивном участке разреза. Применяется в не обсаженных скважинах.

Неблагоприятными условиями для использования БКЗ являются:

- неоднородность разреза (тонкое чередование прослоев различного сопротивления);
- очень высокое или очень низкое удельное сопротивление пород, малое сопротивление промывочной жидкости (солёные растворы).

В этих случаях для определения удельного сопротивления пород и выявления зоны проникновения применяются другие комплексы методов (рисунок 21).

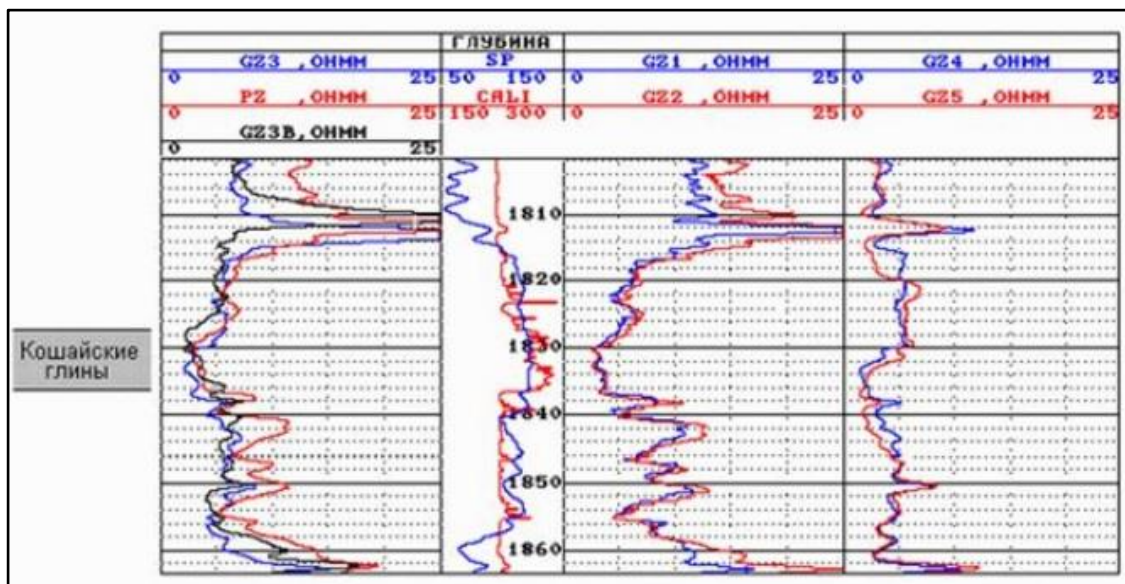


Рисунок 21 – Пример записи диаграммы БКЗ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной курсовой работы была обобщена и проанализирована информация по методу каротажа кажущих сопротивлений.

Были рассмотрены основные электрические свойства горных пород и минералов, а также физические основы каротажа методами КС. Приведена таблица со значениями УЭС некоторых горных пород и минералов. Описаны модификации метода, такие как боковое каротажное зондирование, специальные зонды КС, микрозондирование, резистивиметрия. Представлена скважинная аппаратура, используемая в методах КС: приборы электрического каротажа, наземная регистрирующая техника, каротажные кабели, лебёдка, блок-баланс. Изучены принципы обработки и интерпретации метода, а также его практическое применение.

Таким образом, были решены поставлены задачи необходимыми методами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Валиуллин, Р.А. Геофизические исследования и работы в скважинах: в 7 т. Т. 1. Промысловая геофизика / Р.А. Валиуллин, Л.Е. Кнеллер. – Уфа: Информреклама, 2010. – 172 с.
2. Горбачёв, Ю.И. Геофизические исследования скважин: Учеб. для вузов / Ю.И. Горбачёв. – М.: Недра, 1990. – 398 с.
3. Дьяконов, Д.И. Общий курс геофизических исследований скважин / Д.И. Дьяконов, Е.И. Леонтьев, Г.С. Кузнецов. – М.: Недра, 1984. – 428 с.
4. Пархоменко, Э.И. Электрические свойства горных пород / Э.И. Пархоменко. – М.: Наука, 1965. – 154 с.
5. Сковородников, И.Г. Геофизические исследования скважин: Курс лекций / И.Г. Сковородников. – Екатеринбург: УГГГА, 2003. – 294 с.
6. Латышова, М.Г. Практическое руководство по интерпретации данных ГИС: Учеб. пособие для вузов / М.Г. Латышова, В.Г. Мартынов, Т.Ф. Соколова. – М: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. – 327 с.
7. Хмелевской, В.К. Геофизические методы исследования земной коры / В.К. Хмелевский. – М.: Международный университет природы, общества и человека «Дубна», 1997. – 197с.
8. Горная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/e1/elektricheskie-svojtva/>
9. Нефтегеофизика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.karotazh.ru/ru/instruments/all>
10. Справочник по геологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geolib.net/gis/ks-karotazh.html>