

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН (ГИС) (каротаж)

Это комплекс физических методов, используемых для изучения горных пород в:

1. околоскважинном пространстве (собственно ГИС);
2. межскважинном пространстве (скважинная геофизика)

- **Скважина** — горная выработка круглого сечения, пробуренная с поверхности земли или с подземной выработки без доступа человека к забою под любым углом к горизонту, диаметр которой много меньше ее глубины.
- Различают вертикальные, горизонтальные, наклонные скважины. Начало скважины называется её устьем, дно — забоем, внутренняя боковая поверхность — стенками. Диаметры скважин колеблются от 25 мм до 3 м. Скважины могут иметь боковые стволы (БС), в том числе горизонтальные (БГС).
- Скважины различают:
 1. нефтегазовые НГ (жидкие и газообразные полезные ископаемые) – диаметр скважины 200 мм, глубина – от 1 до нескольких километров;
 2. на твердые полезные ископаемые ТПИ – диаметр скважин от 36 до 93 мм, глубина от десятков до сотен метров;
 3. гидрогеологические – диаметр скважины от 300 мм и более, глубина – несколько десятков метров.



Шарошечное долото



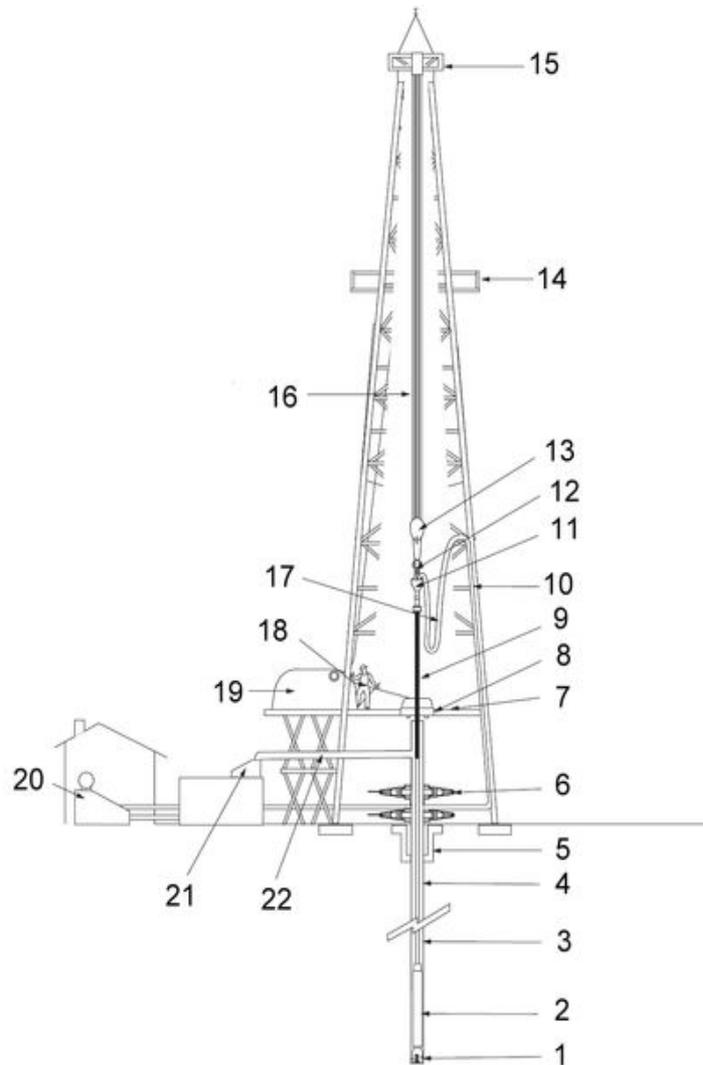
Коронка с твердосплавным металлом

- Бурение скважин происходит с отбором керна и без отбора керна. Керн – горная порода, извлеченная из скважины в процессе бурения
- Эксплуатационные и технологические НГ скважины проходят без отбора керна. Породы забоя истираются шарошечным долотом, остатки породы выносятся на поверхность промывочной жидкостью в виде шлама. Сведения о породах, пересеченных скважиной, о полезных ископаемых получают в результате проведения ГИС.
- Все остальные скважины бурятся с выходом керна. На колонковую трубу навинчивается коронка. В процессе бурения горная порода, обуренная коронкой, поступает в колонковую трубу. При заполнении колонковой трубы керном, колонковую поднимают на поверхность и извлекают керн. В этом случае материалы ГИС являются вторичными, основным материалом является керн



- Керна представляет собой цилиндрическую колонку (столбик) горной породы достаточно прочной, чтобы сохранять монолитность.
- Бурение с отбором керна часто называют колонковым.
- Выход керна определяют в процентах к пробуренному метражу. 100%-ный выход керна позволяет с полной достоверностью изучать горные породы, пересечённые буровой скважиной, и определять запасы полезного ископаемого.

Общая схема буровой установки для бурения скважин на углеводородное сырье:

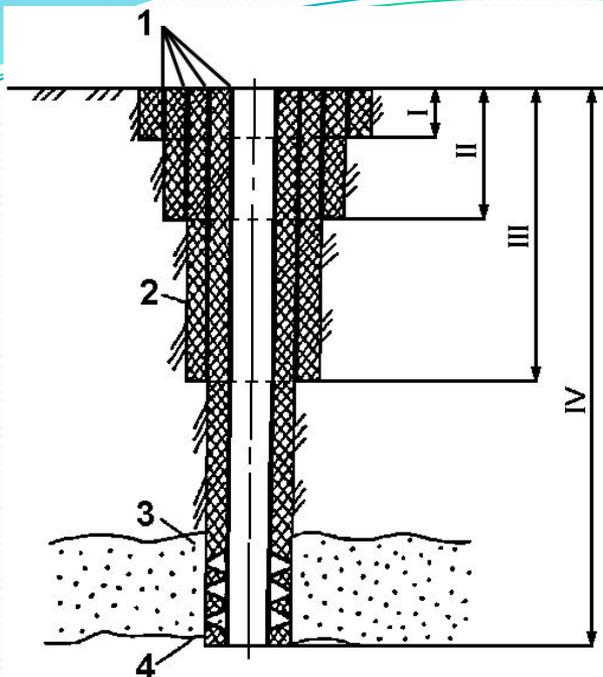


1 — буровое долото; 2 — УБТ;
3 — бурильные трубы; 4 — кондуктор;
5 — устьевая шахта; 6 — противовыбросовое устройства; 7 — пол буровой установки; 8 — буровой ротор;
9 — ведущая бурильная труба;
10 — буровой стояк; 11 — вертлюг;
12 — крюк; 13 — талевый блок;
14 — балкон верхового рабочего;
15 — кронблок; 16 — талевый канат;
17 — шланг ведущей бурильной трубы;
18 — индикатор нагрузки на долото;
19 — буровая лебёдка; 20 — буровой насос; 21 — вибрационное сито для бурового раствора; 22 — выкидная линия бурового раствора.

Устройство нефтегазовой скважины

В ходе или после бурения скважин их обсаживают стальной (в последнее время и пластиковой) колонной труб или только сверху (десяток метров), или на всю глубину (при бурении глубоких структурных и нефтегазоразведочных скважин).

Дополнительное укрепление стенок осуществляется их цементацией или глинизацией. Проникая в трещины и поры горных пород, цемент, глина или буровая жидкость меняют физические свойства пород, что необходимо учитывать при каротаже скважин.

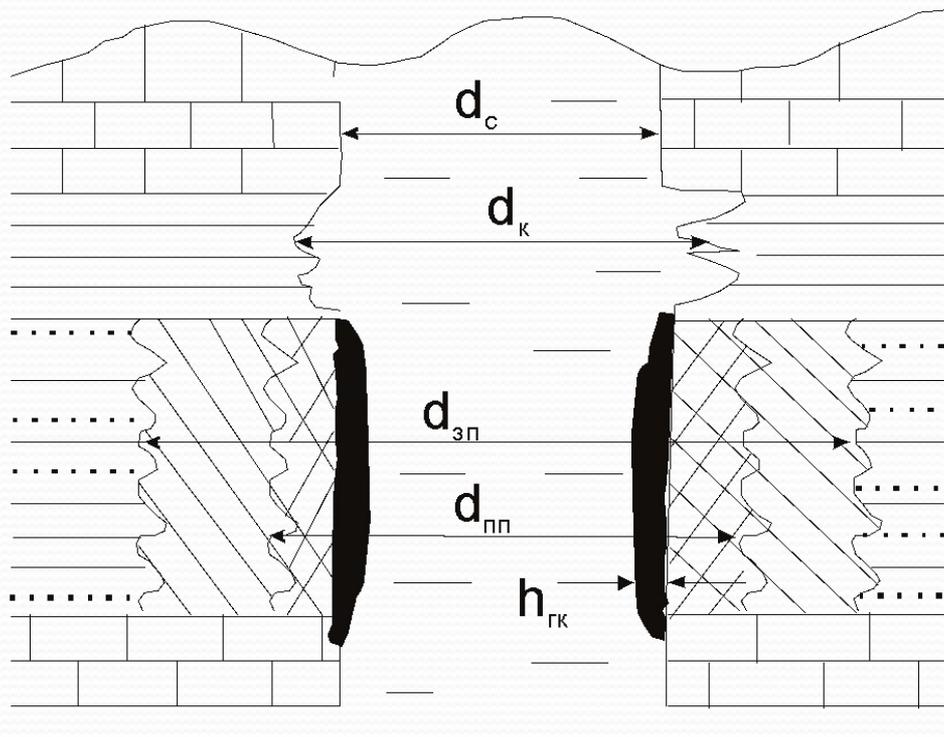


1 – обсадные трубы; 2 – цементный камень; 3 – пласт; 4 – перфорация в обсадной трубе и цементном камне; I – направление; II – кондуктор; III – промежуточная колонна; IV – эксплуатационная колонна.

Вскрывая толщи горных пород, скважина **нарушает** их естественное залегание. В результате частично изменяются физико-химические условия окружающей среды и петрофизическая характеристика пород, прилегающих к стенке скважины. Изменяются также первоначальное геостатическое давление и температура.

- Рыхлые, хрупкие, трещиноватые породы, наоборот, размываются промывочной жидкостью, вследствие чего образуются **каверны**, т.е. увеличивается диаметр ствола скважины.
- Существенные изменения происходят при разбуривании коллекторов, содержащих пластовые флюиды (нефть, газ, воду). Известно, что во избежание неконтролируемых выбросов при бурении осуществляют репрессию на пласт, т.е. гидростатическое давление промывочной жидкости поддерживают выше пластового давления. В результате возникает фильтрация скважинной жидкости в проницаемые пласты. Исходный флюид-нефть, газ, пластовая вода оттесняется, образуется **зона проникновения**, диаметр которой может превышать номинальный диаметр скважины на единицы сантиметров до десятков метров. Поры пород-коллекторов обычно имеют небольшие размеры (от единиц до сотен микрометров), и в такие породы поступает только фильтрат промывочной жидкости, а глинистые частицы оседают на стенке скважины, образуя **глинистую корку**, при этом уменьшается диаметр скважины.

Разрез необсаженной скважины.

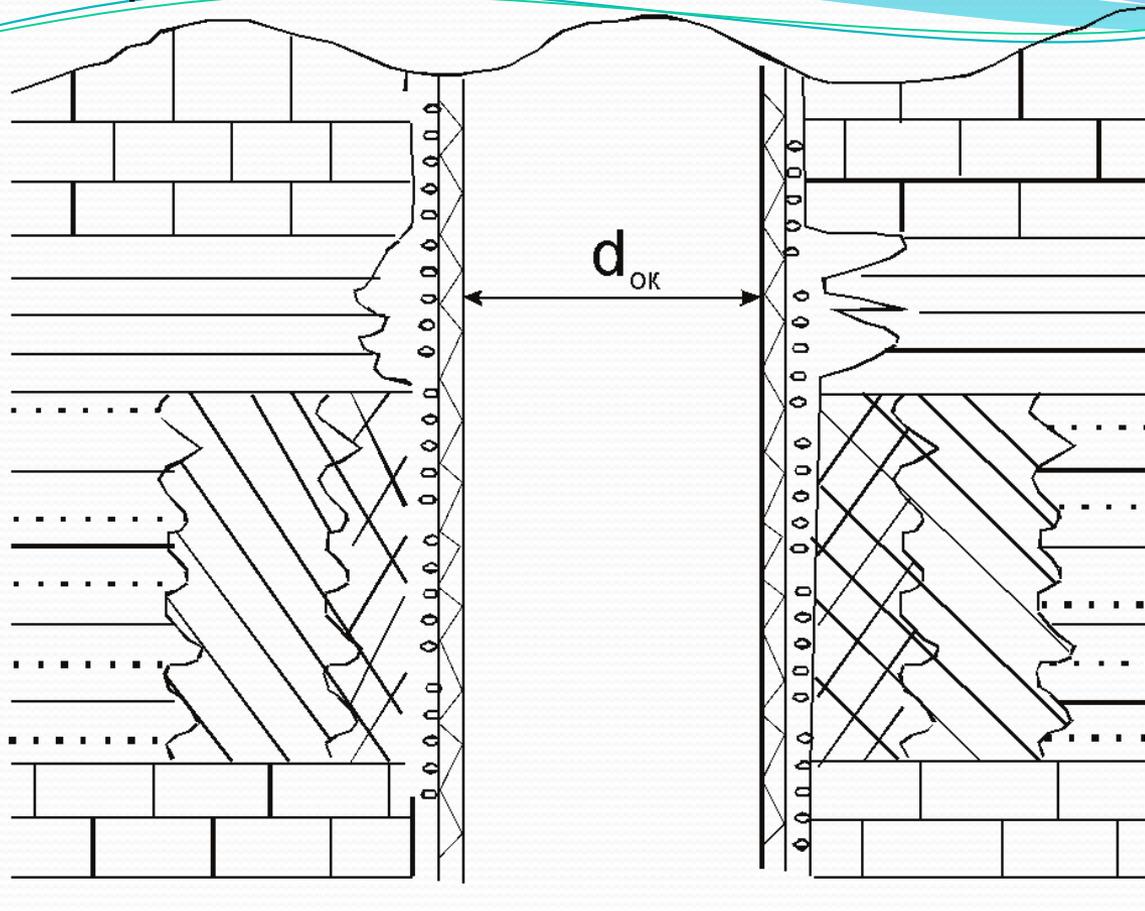


d_c - диаметр скважины ;
 d_k - диаметр каверны ;
 $d_{зп}$ - диаметр зоны проникновения ;
 $d_{пп}$ - диаметр промытой зоны ;
 $h_{гк}$ - толщина глинистой корки.

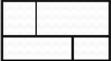
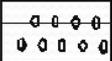
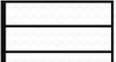
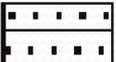
- | | | | |
|--|--|---|------------------------|
|  | - известняк |  | - глинистая корка |
|  | - глина |  | - промытая зона |
|  | - песчаник проницаемый |  | - промывочная жидкость |
|  | - зона проникновения фильтрационной жидкости | | |

- Изменение диаметра скважин, обусловленное физическими свойствами пород, дают возможность выделять основные типы пород и границы между ними. Этот метод носит название **кавернометрии**.
- Наиболее измененная часть пласта вблизи стенки скважины называется **промытой зоной**.
- После окончания бурения и проведения геофизических исследований в открытом стволе скважину укрепляют обсадными металлическими колоннами. Пространство между опущенной колонной и стенкой скважины укрепляют с помощью цементного раствора для разобщения отдельных пластов и отдельного их опробования при поисках, разведке и разработке месторождений.

Разрез скважины с обсадной колонной.



$d_{ок}$ - диаметр
обсаженной
колонны

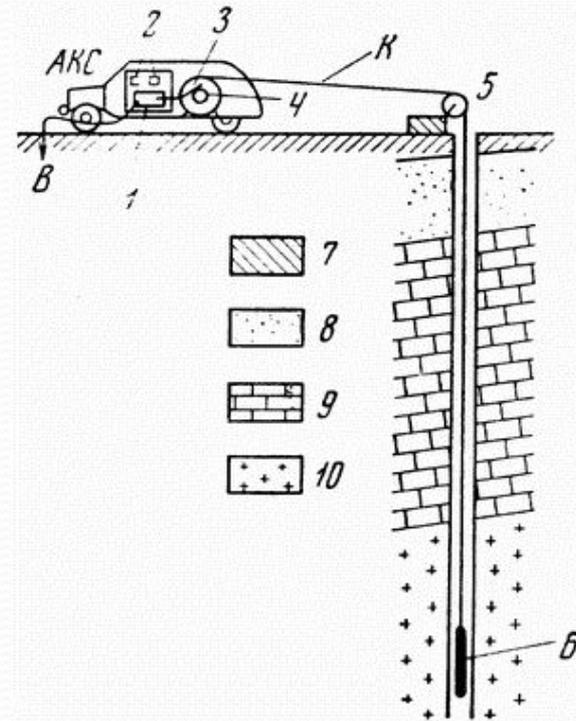
- | | | | |
|---|--|--|-----------------|
|  | - известняк |  | - цемент |
|  | - глина |  | - промытая зона |
|  | - песчаник проницаемый |  | - колонна |
|  | - зона проникновения фильтрационной жидкости | | |

Роль и значение ГИС

- Роль и значение ГИС с течением времени постоянно возрастает, т. к. в перспективе ГИС открывают путь к бескверновому познанию скважин. В настоящее время в скважинах регистрируется свыше 35 различных параметров: разнообразные физические свойства горных пород, напряженность многообразных физических полей, технические характеристики состояния самой буровой скважины.
- При этом стоимость ГИС составляет лишь незначительную часть от стоимости сооружения и оборудования скважины. Так, например, на нефтяных скважинах, где применяется весьма обширный комплекс ГИС, его стоимость не превышает 4% от стоимости буровых работ, обеспечивая при этом экономию до 20% средств, необходимых для оборудования скважины.
- В настоящее время буквально все методы полевой геофизики имеют свои аналоги в скважинном варианте и, более того, существуют методы ГИС, не имеющие аналогов среди полевых.
- Анализ распределения средств на выполнение геофизических работ показывает, что ГИС (свыше 20% средств) уступает в этом отношении только сейсморазведке (около 50% средств) и значительно превосходит все остальные отрасли разведочной геофизики.

Оборудование для комплексных геофизических исследований скважины

- Для проведения геофизических исследований скважин используется как общая аппаратура и оборудование, применяемые в большинстве методов ГИС (автоматические каротажные станции (АКС) или аппаратура геофизических исследований скважин (АГИС), спускоподъемное оборудование), так и специальные скважинные приборы, разные в разных методах (глубинные или каротажные зонды). АКС (АГИС) смонтированы на автомашинах хорошей проходимости.



АКС - автоматическая каротажная станция, К - каротажный кабель, 1 - источник питания, 2 - приборы для регистрации разности потенциалов и силы тока, 3 - лебедка, 4 - коллектор лебедки, 5 - блок-баланс, 6 - глубинный каротажный зонд, 7 - глины, 8 - пески, 9 - известняки, 10 - изверженные породы

- **ЗОНД КАРОТАЖНЫЙ**— измерительное устройство, используемое при геофизических исследованиях в скважине. Содержит приёмники, если ведётся регистрация естественно, (магнитного и самопроизвольно возникающего электрического поля, естественного g-излучения и т.п.), либо приёмники и источники поля при изучении искусственно создаваемых полей (акустического, электрического и др.).



Название групп методов	Название методов
Электрические	метод естественной поляризации (ПС)
	методы токового каротажа, скользящих контактов (МСК)
	метод кажущихся сопротивлений (КС), боковое каротажное зондирование (БКЗ) и др.
	резистивиметрия
	метод вызванных потенциалов (ВП)
	индуктивный каротаж (ИК)
	диэлектрический метод (ДМ)
Ядерные	гамма-метод (ГМ) или гамма-каротаж (ГК)
	гамма-гамма-метод (ГГМ) или гамма-гамма-каротаж (ГГК)
	нейтронный гамма-метод (НГМ) или каротаж (НГК)
	нейтрон-нейтронный метод (ННМ) или каротаж (ННК)
Термические	метод естественного теплового поля (МЕТ)
	метод искусственного теплового поля (МИТ)
Сейсмоакустические	метод акустического каротажа
	сейсмический каротаж
Магнитные	метод естественного магнитного поля
	метод искусственного магнитного поля

Электрические методы исследования скважин

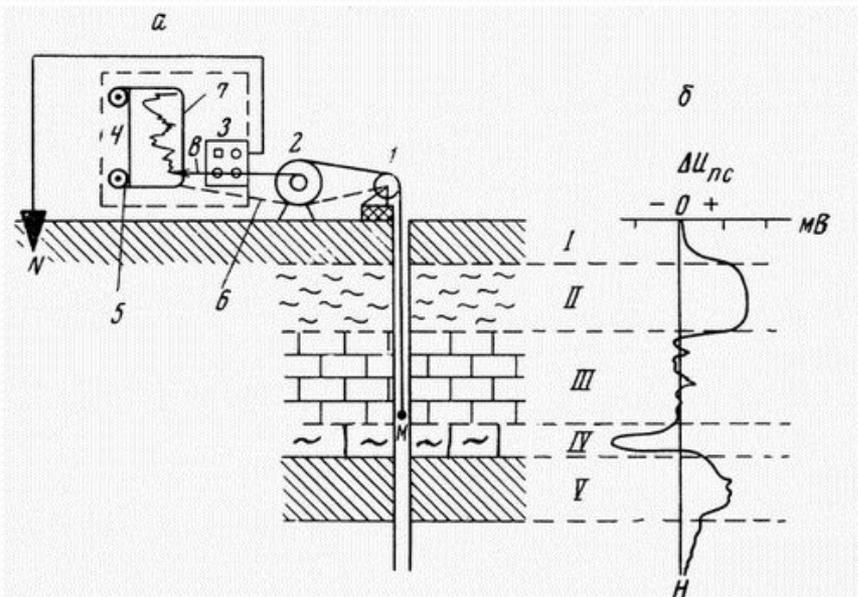
Метод естественного поля

Скважинные исследования методом естественного поля (ЕП) или поля самопроизвольного (каротаж ПС) сводятся к измерению постоянных естественных потенциалов, возникающих у пластов с разной электрохимической активностью.

Естественные потенциалы (потенциалы собственной поляризации) возникают при окислительно-восстановительных, диффузионно-адсорбционных и фильтрационных процессах, протекающих в различных горных породах.

Зондом для измерения собственных потенциалов служат свинцовые приемные электроды.

Работы в методе ПС чаще выполняются способом потенциала, то есть установкой, состоящей из одного неподвижного приемного электрода N , заземленного вблизи устья скважины, и второго электрода M , перемещаемого по скважине.

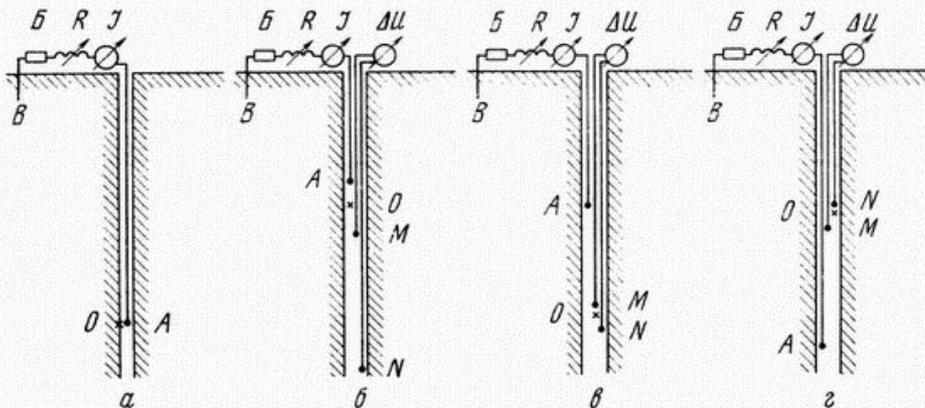


а - схема установки: 1 - блок-баланс, 2 - лебедка с коллектором, 3 - милливольтметр, 4 - регистратор, 5 - лентопротяжный механизм, соединенный гибким валиком (6) с роликом блок-баланса, 7 - диаграммная бумага, 8 - карандаш; б - диаграмма естественных потенциалов по стволу скважины: I (почва) и III (известняки) - пласты со слабой электрохимической активностью, II (суглинки) и V (глины) - пласты с положительными аномалиями ПС, IV - пласт с отрицательной аномалией ПС, характерной для проницаемых слоев

Электрические методы исследования скважин

Метод кажущихся сопротивлений

- Скважинные исследования методом кажущихся сопротивлений (каротаж КС) основаны на расчленении пород, окружающих скважину, по их удельному электрическому сопротивлению (УЭС).
- Чаще всего при работах методом КС используются трехэлектродные зонды, в которых три электрода располагаются в скважине (четвертый электрод заземляется на поверхности, вблизи от скважины). Расчет КС (ρ) ведется по формуле метода сопротивления $\rho = K \times \Delta U / I$, где K - коэффициент, зависящий от расстояния между электродами в зонде; (ΔU - разность потенциалов между приемными электродами M и N ; I - сила тока в питающей цепи AB).
- Существуют две микромодификации метода КС — микрозондирование и резистивиметрия. Микрозондирование (МКЗ) состоит в детальном исследовании ближней зоны. Данные микрозондирования служат для детального расчленения разрезов скважин, уточнения границ и выделения тонких прослоев. Резистивиметрия служит для определения удельного сопротивления промывочной жидкости.

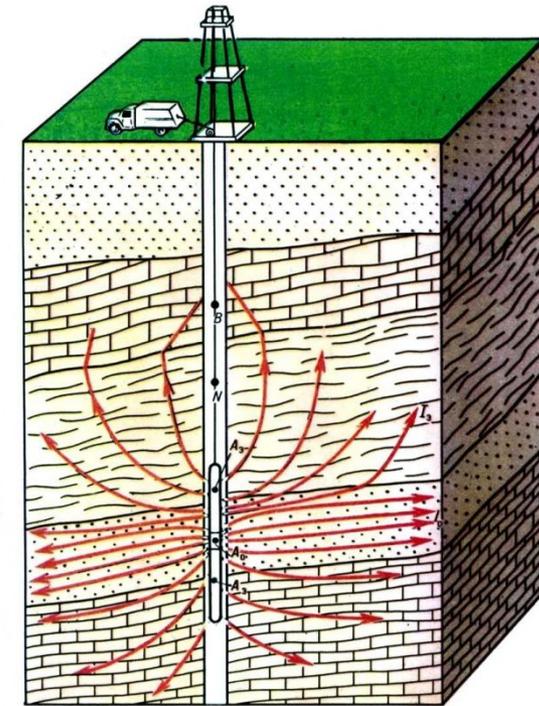


A, B - питающие электроды, B - батарея или другой источник питания, R - реостат для регулировки силы тока, I - прибор, измеряющий силу тока, MN - приемные измерительные электроды, ΔU - прибор для измерения (регистрации) разности потенциалов, O - точка записи, к которой относят результаты замеров; a - одноэлектродный зонд токового каротажа, $б$ - трехэлектродный потенциал-зонд, $в$ - трехэлектродный подошвенный (последовательный) градиент-зонд, $г$ - трехэлектродный кровельный (обращенный) градиент-зонд

Электрические методы исследования скважин

Боковой каротаж

- Влияние скважины и вмещающих пород может быть в значительной степени преодолено за счёт применения фокусированных зондов. Метод, основанный на применении зондов с фокусированной системой питающих электродов, называют боковым каротажем (БК). Существуют его 7-ми, 9-ти и 3-х электродные модификации.
- Боковой микрокаротаж (БМК) основан на применении микрозондов с фокусировкой тока. Показания зондов БМК менее искажены влиянием глинистой корки и промывочной жидкости (ПЖ).
- Задачи, решаемые методом БК, связаны с его высокой разрешающей способностью по вертикали. В благоприятных условиях метод БК позволяет осуществить детальное расчленение разреза, оценить его литологию, выделить пласты-коллекторы, определить их коллекторские свойства. При отсутствии зоны проникновения или понижающей зоне эффективность БК значительно выше, чем у метода КС.

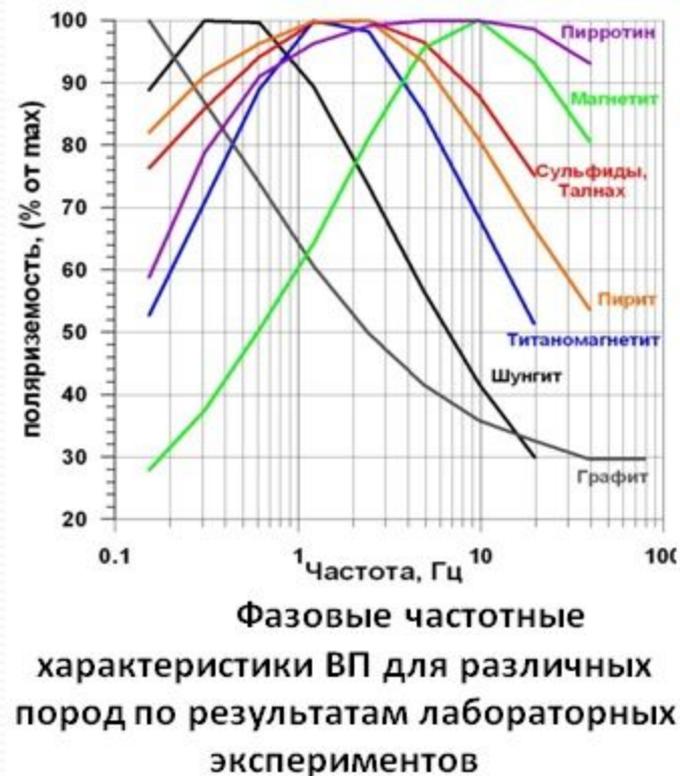


А₀ - основной токовый электрод; А_э - экранный электрод; В - обратный токовый электрод; N - обратный измерительный электрод; I₀ - токовые линии основного токового электрода; I_э - токовые линии экранного электрода.

Электрические методы исследования скважин

Метод вызванной поляризации

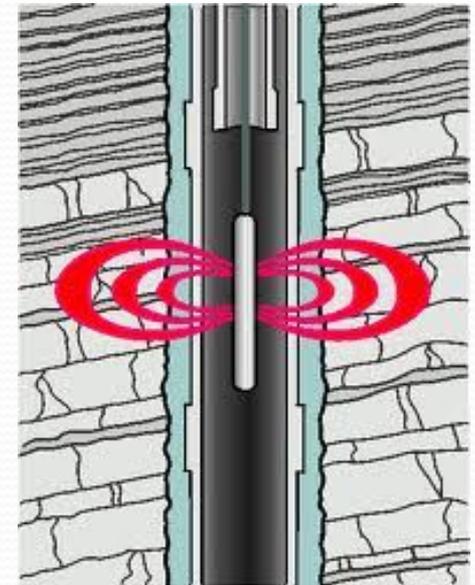
- Как и в полевой электроразведке, при исследовании скважин можно изучать вызванные потенциалы, т.е. потенциалы, наблюдаемые после прохождения тока в горной породе и обусловленные их различной поляризуемостью.
- В скважинном методе вызванной поляризации (каротаж ВП) регистрируются потенциалы на приемных электродах при пропускании тока через питающие электроды (так же, как и при каротаже КС). Кроме того, проводится регистрация разности потенциалов на тех же электродах через некоторое время после выключения тока. В результате определяют потенциалы вызванной поляризации.
- Метод ВП применяется для выявления зон сульфидного оруденения (в том числе вкрапленных руд), разведки угля и других руд с электронной проводимостью и решения некоторых других задач.



Электрические методы исследования скважин

Индукционный и диэлектрический методы

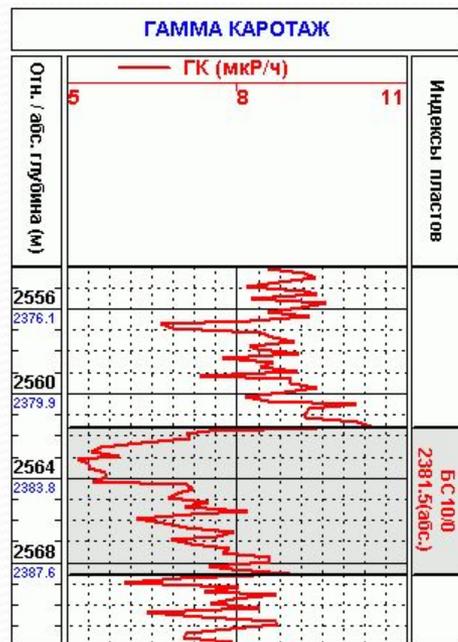
- В индукционном и диэлектрическом методах исследования скважин используются высокие частоты, и эти методы имеют сходство с высокочастотной электроразведкой. Отличие индукционного и диэлектрического методов от других электрических исследований в скважинах заключается и в том, что измерения могут проводиться в сухих скважинах или в скважинах, заполненных нефтью, где гальванический контакт с окружающей средой осуществить очень трудно.
- Сущность индукционного каротажа (ИК) состоит в измерении вторичного индукционного магнитного поля, созданного в горной породе под действием первичного переменного поля частотой 20 кГц. Чем больше проводимость окружающих пород, тем большим будет вторичное поле. Графики напряжений на измерительной рамке, или кривые индукционного каротажа, позволяют выделять в разрезе хорошо проводящие породы и рудные включения. Метод предназначен для решения примерно тех же задач, что и каротаж КС, но применяется для изучения низкоомных разрезов.
- Сущность диэлектрического каротажа (ДК) сводится к оценке диэлектрических свойств пород (диэлектрической проницаемости и так называемых диэлектрических потерь) в электрическом поле высокой частоты (10 МГц). Изменение диэлектрической проницаемости окружающих пород меняет емкость конденсатора, а значит, частоту сигналов генератора. Изменение диэлектрических потерь, пропорциональных электропроводности пород, меняет амплитуду колебаний генератора. Метод ДК служит для разделения пород на водо- и нефтегазонасыщенные, оценки их влажности и пористости.



Радиоактивный каротаж (РК)

- Радиоактивный каротаж (РК) – совокупность методов, основанных на изучении распространения естественного или наведенного (искусственного) радиоактивного поля в разрезах скважин и околоскважинном пространстве.
- На основе поля естественной радиоактивности создан метод гамма-каротажа (ГК), а на основе наведенной радиоактивности методы гамма-гамма-каротажа (ГГК) и методы нейтронного каротажа (НК).

метод гамма-каротажа (ГК)



- При каротаже ГК измеряют естественную радиоактивность (J_γ) в скважине с помощью специального скважинного прибора, содержащего электронную схему и индикатор гамма-излучения. В современных комплексных приборах РК, ГК являются отдельным модулем. Кроме того, канал ГК может быть частью любого комплексного прибора ГИС. В качестве индикаторов гамма излучения используются газоразрядные и сцинтилляционные счетчики.
- ГК являются основным методом в стандартном комплексе ГИС и эффективно используется совместно с методами КС и ПС для литологического расчленения разрезов. ГК имеет преимущество перед ПС в случае соленых буровых растворах, а также при равенстве УЭС бурового раствора (ρ_c) и фильтрата глинистого раствора (ρ_ϕ).



Спектрометрический гамма-каротаж (СГК).

- Аппаратура СГК, как правило, имеет четыре канала: три дифференциальные для регистрации отдельного содержания урана, тория и калия и один интегральный для регистрации суммарного излучения J (канал ГК). Приборы СГК, как и приборы ГК эталонируют в специальных устройствах, заполненных эталонными средами с известковой концентрацией U, Th, K. По полученным эталонным значениям формируют шкалу записи каротажных диаграмм.

