

Министерство образования и науки Республики Казахстан  
ГККП Геологоразведочный колледж

## **Базовый (опорный) конспект**

по предмету:

**«ОСНОВЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РАЗВЕДКИ МПИ»**

для специальности:

специальности: **0702000 «Технология и техника разведки месторождений  
полезных ископаемых»**

---

Подготовлен преподавателем:  
Сайлаубаевой З.А.

Рассмотрен на заседании  
геофизической ПЦК  
Протокол № 8  
от « 13 » 05 2014 г.

*Сол*

г. Семей

Базовый (опорный) конспект составлен в соответствии с рабочим учебным планом, утвержденным в 2009 году и рабочими учебными программами, утвержденными в 2011 году.

Рекомендован учебной частью для использования.

Зам.директора по УР ЖМ/ Минаева Н.Т.

Общее количество часов на предмет: 56

В том числе:

I семестр \_\_\_\_\_

II семестр \_\_\_\_\_

III семестр \_\_\_\_\_

IV семестр \_\_\_\_\_

V семестр \_\_\_\_\_

VI семестр \_\_\_\_\_

VII семестр 56 - 4 = 52 ч (40 ч теория - 4 сокращено + 16 практика)

VIII семестр \_\_\_\_\_

Количество обязательных контрольных работ 1 в VII семестре (ах)

Итоговый контроль: ЗАЧЕТ  
(зачет, экзамен)

**Примерный тематический план**

№ п/п	Наименование разделов и тем	Количество часов	
		Всего	лабор. и практ. работы
1	2	3	4
	Введение	2	-
1	Раздел I. Электрические методы исследования скважин		
1.1	Характеристика объекта исследования	1	-
1.2	Метод естественного электрического поля (каротаж ПС)	2	-
1.3	Удельное электрическое сопротивление ( $\rho$ ) водных растворов, горных пород и полезных ископаемых	1	-
1.4	Каротаж сопротивления (КС) обычными зондами	4	4
1.5	Боковой каротаж (БКЗ, МКЗ)	2	-
1.6	Другие электрические методы исследования скважин	4	-
	<b>Итого по разделу:</b>	<b>16</b>	<b>4</b>
2	Раздел II. Радиоактивные методы исследования скважин		
2.1	Физические основы ядерно-физических методов каротажа	1	-
2.2	Гамма-каротаж (ГК)	6	4
2.3	Методы гамма-гамма каротажа (ГГК)	4	2
2.4	Нейтронные методы каротажа (НГК, ННК). Другие методы радиоактивного каротажа	2	-
	<b>Итого по разделу:</b>	<b>13</b>	<b>6</b>
3	Раздел III. Другие виды геофизических исследований скважин		
3.1	Акустический, магнитный, ядерно-магнитный каротаж и скважинная магниторазведка	2	-
3.2	Комплекс геохимических исследований, температурные измерения в скважинах, геолого-технологическое обслуживание скважин в процессе бурения	4	2
	<b>Итого по разделу:</b>	<b>6</b>	<b>2</b>
4	Раздел IV. Контроль технического состояния скважин		
4.1	Измерение искривления ствола, скважины и измерения диаметра ее	6	2
4.2	Контроль качества цементирования за трубного пространства скважины	2	-
4.3	Различные виды контроля технического состояния скважин	2	-
	<b>Итого по разделу:</b>	<b>10</b>	<b>2</b>
5	Раздел V. Исследования действующих скважин		
5.1	Задачи, решаемые геофизическими методами в действующих скважинах	2	-
5.2	Исследование характера насыщения пластов	2	-
5.3	Определение мест за трубной циркуляции жидкостей и газа в скважине	2	-
5.4	Изучение состава флюида в стволе скважины	1	-
	<b>Итого по разделу:</b>	<b>7</b>	<b>-</b>
6	Раздел VI. Организация промыслово-геофизических работ		
6.1	Требования к подготовке буровой и скважины для проведения геофизических исследований	3	2
6.2	Организация промыслово-геофизических работ	1	-
	<b>Итого по разделу:</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
	<b>Всего по предмету:</b>	<b>56</b>	<b>16</b>

## Содержание

<u>Урок 1 Введение</u> .....	1
<u>Урок 2 Характеристика объекта исследования. Метод естественного электрического поля (каротаж ПС)</u> .....	3
<u>Урок 3 Удельное электрическое сопротивление (<math>\rho</math>) водных растворов, горных пород и полезных ископаемых</u> .....	7
<u>Урок 4 Каротаж сопротивления (КС) обычными зондами</u> .....	8
<u>Урок 5 Боковой каротаж (БКЗ, МКЗ)</u> .....	11
<u>Урок 6 практика</u> .....	14
<u>Урок 7 Другие электрические методы исследования скважин</u> .....	15
<u>Урок 8 практика</u> .....	18
<u>Урок 9 Физические основы ядерно-физических методов каротажа. Гамма-каротаж (ГК) ...</u>	19
<u>Урок 10 практика</u> .....	22
<u>Урок 11 Методы гамма-гамма каротажа (ГГК)</u> .....	24
<u>Урок 12 практика</u> .....	26
<u>Урок 13 Нейтронные методы каротажа (НГК, ННК). Другие методы радиоактивного каротажа</u> .....	28
<u>Урок 14 Акустический, магнитный, ядерно-магнитный каротаж и скважинная магниторазведка</u> .....	31
<u>Урок 15 Комплекс геохимических исследований, температурные измерения в скважинах, геолого-технологическое обслуживание скважин в процессе бурения</u> .....	33
<u>Урок 16 практика</u> .....	35
<u>Урок 17 Кавернометрия, профилометрия</u> .....	37
<u>Урок 18 практика</u> .....	38
<u>Урок 19 Инклинометрия</u> .....	40
<u>Урок 20 Контроль качества цементирования за трубного пространства скважины</u> .....	42
<u>Урок 21 Различные виды контроля технического состояния скважин</u> .....	44
<u>Урок 22 Задачи, решаемые геофизическими методами в действующих скважинах</u> .....	45
<u>Урок 23 Исследование характера насыщения пластов</u> .....	48
<u>Урок 24 Определение мест за трубной циркуляции жидкостей и газа в скважине</u> .....	50
<u>Урок 25 практика Требования к подготовке буровой и скважины для проведения геофизических исследований</u> .....	50
<u>Урок 26 Организация промыслово-геофизических работ</u> .....	55

## Урок 1 Введение

### План

1. Геофизика как наука.
2. Геофизические исследования скважин (ГИС) общее понятие.
3. Основные задачи решаемые ГИС.
4. Скважина как объект разведки недр и геофизических исследований.
5. Принципы решения прямых и обратных задач ГИС.
6. Состав и назначение оборудования для комплексных геофизических исследований скважин.

1. Геофизика - наука о физических процессах и связанных с ними явлениях, происходящих в твердой и жидкой оболочках Земли. Геофизические данные используют в геологии для изучения строения Земного шара. Геофизические методы разведки основаны на изучении физических полей, как естественных, так и искусственно созданных
2. Геофизические исследования скважин (ГИС) - это методы геологической и технической документации проходки скважин, основанные на изучении в них различных геофизических полей. Такое традиционное понимание ГИС привело к созданию самостоятельной научно-прикладной отрасли геофизики, которую называют термином каротаж или промысловой, буровой геофизикой. В более широком смысле ГИС - не только документация результатов бурения, с радиусом обследования до 1 - 2 м, но и изучение околоскважинных пространств путем исследования полей в скважинах, а также между ними и земной поверхностью при дальности в десятки и сотни метров. Интенсивное применение ГИС объясняется тем, что эти методы позволяют более эффективно организовывать разведку и эксплуатацию месторождений. Они обеспечивают резкое сокращение отбора образцов при бурении (керн), давая даже больше информации о разрезе, чем при сплошном отборе керна, сокращая при этом стоимость и время бурения.
3. Геофизические методы исследования скважин предназначены для изучения геологического разреза и, в частности, выявления пластов разной литологии, определения углов и азимутов их падения, выделения полезных ископаемых в разрезах, а также оценки пористости, проницаемости, коллекторских свойств окружающих пород и их возможной нефтегазоносной продуктивности. Специальной аппаратурой производится контроль технического состояния скважин (определение их диаметров, искривления, наличия цемента в затрубном пространстве и др.), а также прострелочно-взрывные работы в скважинах (отбор образцов из стенок, перфорация обсадных колонн). Физические свойства горных пород, определяемые в результате исследования в скважинах, служат не только для непосредственного получения той или иной геологической информации, но и для интерпретации данных полевой геофизики.

При геофизических исследованиях в скважинах используются все поля и методы, применяемые и в полевой геофизике. Однако между ними имеются существенные

различия, которые определяются специфическими условиями технологии работ в скважинах. Для изучения разрезов скважин применяются электрические, ядерные, термические, сейсмоакустические, магнитные, гравиметрические методы. Измеряемые в скважинах с помощью датчиков те или иные параметры физических полей преобразуются в электрические сигналы, которые по кабелю подаются в так называемые каротажные станции. В них они автоматически регистрируются при подъеме кабеля с глубинным прибором и датчиком поля, производимом со скоростью от 200 до 5000 м/ч.

Эффективность скважиной геофизики очень велика, особенно в нефтяной и структурной геологии, где бурение всех скважин сопровождается проведением геофизических исследований. Широко применяются они при поисках рудных и нерудных ископаемых. При инженерно-гидрогеологических исследованиях скважинные геофизические методы решают такие задачи, как изучение пористости, обводненности, фильтрационных свойств пород и, наряду с отбором керна, служат для геологической документации разрезов.

#### 4. Скважина как объект разведки недр и геофизических исследований.

Скважина долгие годы, да и сейчас является важнейшим источником информации о строении недр и местонахождении полезных ископаемых, а также единственным технологическим способом добычи нефти и газа. В зависимости от глубины и назначения скважин бурение проводится механическими, роторными, турбобуровыми и другими способами.

До создания ГИС для геологической документации велся отбор образцов пород (керн) либо непрерывно через каждые несколько метров бурения, либо поинтервально. Каждый отбор керн сопровождался подъемом всего бурового инструмента. Это резко увеличивало стоимость и время бурения. Косвенную информацию о пройденных породах дает буровая жидкость (глинистый раствор или вода), которая под давлением подается в скважину и непрерывно извлекается вместе с измельченной буровым инструментом породой. Применение ГИС после окончания бурения обеспечило возможность проходки скважин сплошным забоем, без подъема бурового инструмента или с подъемом для отбора керн лишь на опорных участках разреза. В результате резко уменьшается время бурения и его стоимость, несмотря на дополнительные каротажные работы, занимающие несколько дней, то есть время в сотни раз меньшее, чем бурение.

В ходе или после бурения скважин их обсаживают стальной 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 вносит искажения в результаты ГИС. Наличие обсадных колонн делает невозможным проведение электромагнитных исследований в скважинах, но выполнению ядерно-физических, сейсмоакустических и технологических работ не препятствует. Несмотря на широкое использование ГИС, особенно в нефтегазовой геофизике, некоторые литолого-петрографические исследования требуют отбора керн из основных перспективных на

нефть, газ комплексов пород. Это необходимо для установления конкретных корреляционных связей между геологическими и геофизическими параметрами.

Таким образом, ГИС с очень небольшим (несколько %) отбором керн дает наибольшую информацию от геологоразведочных скважин.

#### 5. Принципы решения прямых и обратных задач ГИС.

Поскольку при геофизических исследованиях скважин используются те же поля, что и в полевых геофизических методах (гравимагнитные, электромагнитные, сейсмоакустические, ядерно-физические, тепловые), то принципы теоретического решения задач - прямых (определение физических параметров поля по известному геофизическому разрезу) и обратных (определение физического разреза по наблюдаемым геофизическим параметрам) -. Однако строгое теоретическое решение прямых задач ГИС сложнее, так как приходится учитывать влияние заполнителя скважины (обсадные колонны, цемент, глинистый раствор, по-разному проникающие в поры в зависимости от их трещиноватости и пористости). Кроме того, прямые задачи по размерности являются двух-трехмерными и решаются для погруженных источников. Рассмотренные выше основы теории полевых методов геофизики иллюстрировались в основном одно- и двухмерными задачами с поверхностными источниками, решение которых проще. Вместе с тем решение обратных задач ГИС и интерпретация материалов оказались проще по следующим причинам. Во-первых, интерпретация бывает прежде всего полуколичественной, то есть выделяются глубины залегания, мощности пластов или рудных объектов вблизи от источников. Во-вторых, для геологического истолкования результатов ГИС используются теоретически установленные или эмпирически получаемые корреляционные связи между геофизическими и геолого-гидрогеологическими, механическими, коллекторскими свойствами с оценкой заполнителя пор (вода, нефть, газ). В-третьих, интерпретацию материалов легче формализовать и осуществлять с помощью ЭВМ.

#### 6. Состав и назначение оборудования для комплексных геофизических исследований скважин.

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.

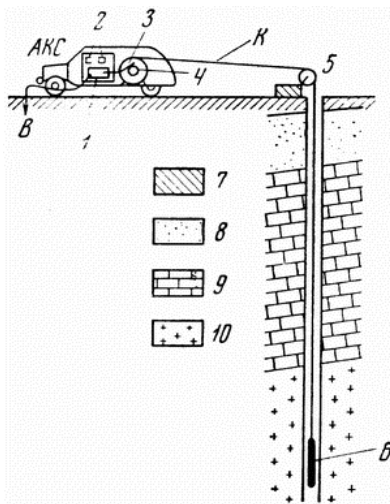


Рис. 1. Схема выполнения ГИС: АКС - автоматическая каротажная станция, К - каротажный кабель, 1 - источник питания, 2 - приборы для регистрации разности потенциалов и силы тока, 3 - лебедка, 4 - коллектор лебедки, 5 - блок-баланс, 6 - глубинный каротажный зонд, 7 - глины, 8 - пески, 9 - известняки, 10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

К общему оборудованию (рис. 1) каротажной станции относятся: источники питания (батарея аккумуляторов); приборы для регистрации разности потенциалов и силы тока; лебедка, работающая от двигателя автомобиля и предназначенная для спуска и подъема каротажного кабеля в скважину (при каротаже глубоких скважин - более 3 км - лебедка устанавливается на отдельном автомобиле-подъемнике); блок-баланс, располагающийся вблизи скважины и предназначенный для направления кабеля в скважину и синхронной передачи глубины расположения индикатора поля на лентопротяжный механизм регистратора; одножильный, трехжильный или многожильный кабель в хорошей изоляции.

Изолированные друг от друга жилы кабеля с одной стороны подключаются к кольцам коллектора лебедки, а с другой - к глубинному каротажному зонду, то есть к устройству для измерения тех или иных параметров поля в скважине и трансформации их в электрические импульсы. В методах электрического каротажа зонд состоит из одного, двух, трех и более свинцовых электродов, укрепленных на кабеле. Такие зонды используются в скважинах, заполненных буровой жидкостью или водой. При работах в сухих скважинах применяются скользящие электроды, каждый из которых состоит из металлической щетки, укрепленной в обойме из изолятора на плоской металлической пружине. Пружины такого "фонарного" зонда прижимают электроды к стенкам скважины. Аналогично устроены микрозонды, в которых точечные электроды располагаются на планке из изолятора на расстоянии нескольких сантиметров друг от друга. Планка укреплена на плоской пружине "фонаря", которая прижимает электроды к стенкам скважины.

Контрольные вопросы:



- 1) В каких основных направлениях проводят геофизические исследования в скважинах?
- 2) Что изучает геофизика?
- 3) Какие геофизические поля относятся к естественным?
- 4) Какие геофизические поля относятся к искусственным?
- 5) Как разделяются геофизические методы?
- 6) Какие физические свойства горных пород вы знаете?
- 7) Что такое каверна?
- 8) Что такое зона проникновения?
- 9) Что такое промытая зона?
- 10) Сущность электрического каротажа?

## Урок 2 Характеристика объекта исследования. Метод естественного электрического поля (каротаж ПС)

### План

1. Способы возникновения естественных потенциалов в скважине.
2. Зонды ПС.
3. Результаты диаграмм ПС.
4. Область применения ПС.

**1. Метод потенциалов самопроизвольной поляризации (СП)** основан на изучении естественного электрического поля, образование которого связано с физико-химическими процессами, протекающими на поверхности раздела скв – породы и между пластами различной литологии. На поверхности раздела обр. двойные электр. слои, различные потенциалы которых создают определенные величины напряженности электрического поля м/у породами и скважинами.

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.

**2.** 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 (рис. 7.4, а). Иногда, особенно при наличии электрических помех, запись ПС ведется способом градиента потенциала. В этом случае оба приемных электрода M и N передвигаются по скважине, а расстояние между ними остается постоянным (1 - 2 м).

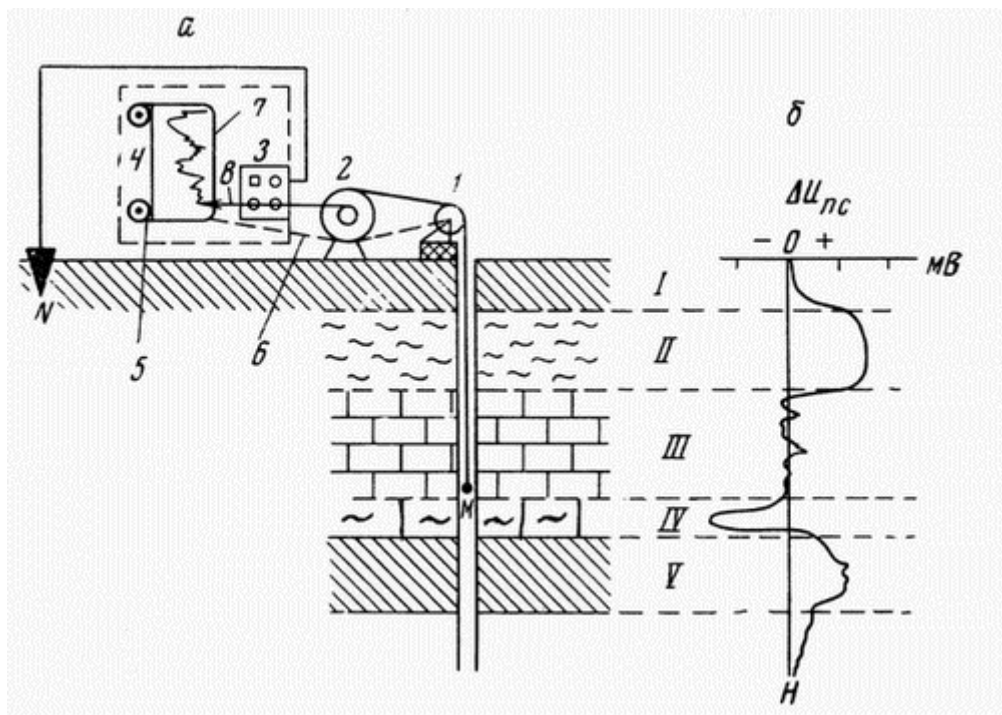


Рис. 7.4. Схема каротажа ПС способом потенциала с полуавтоматической регистрацией: а - схема установки: 1 - блок-баланс, 2 - лебедка с коллектором, 3 - милливольтметр, 4 - регистратор, 5 - лентопротяжный механизм, соединенный гибким валиком (6) с роликом блок-баланса, 7 - диаграммная бумага, 8 - карандаш; 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

**3.** В результате работ получают графики естественных потенциалов, измеряемые в милливольтгах (см. рис. 7.3, 7.4, б). По аномалиям на диаграммах ПС выделяются пласты с разной электрохимической активностью. Однозначная литологическая интерпретация диаграмм ПС затруднена, т.к. естественное электрическое поле зависит от многих факторов. Чаще всего против глинистых пород наблюдаются положительные аномалии потенциала ПС, а около пористых проницаемых пластов - отрицательные. Интенсивными аномалиями положительного и отрицательного знака выделяются сульфидные залежи, пласты антрацита, графита. Слабыми аномалиями (единицы милливольт) отличаются массивные, плотные, плохо проницаемые песчаники, известняки, изверженные породы.

**4.** Скважинные исследования методом ПС служат для расчленения геологических разрезов и корреляции по соседним скважинам отдельных пластов, выявления плохо проницаемых сланцев, глин и хорошо проницаемых песков, пористых известняков, выделения сульфидных, полиметаллических руд, угля, графита, оценки пористости и проницаемости пород.

Контрольные вопросы:

- 1) Что такое каверна?
- 2) Что такое зона проникновения?

- 3) Что такое промытая зона?
- 4) Сущность электрического каротажа?
- 5) Способы создания естественных электрических полей в земле?
- 6) Сколько электродов применяют в каротаже ПС?
- 7) Какими способами измеряют естественное электрическое поле в скважине?
- 8) Методика проведения ПС в скважине?
- 9) Область применения ПС?

### Урок 3 Удельное электрическое сопротивление ( $\rho$ ) водных растворов, горных пород и полезных ископаемых

#### План

1. Удельное электрическое сопротивление горных пород
2. Факторы влияющие на электрическое сопротивление пород.

##### а. Электромагнитные свойства горных пород

К электромагнитным свойствам горных пород относятся удельное электрическое сопротивление  $\rho$ , электрохимическая активность  $\alpha$ , поляризуемость  $\eta$ , диэлектрическая  $\epsilon$  и магнитная  $\mu$  проницаемости.

Удельное электрическое сопротивление горных пород. В электроразведке используют многие электрические свойства горных пород, но важнейшим из них, измеряемым почти во всех методах, является удельное электрическое сопротивление  $\rho$ . Его размерность определяют по формуле сопротивления проводника

$$R = \rho l / s, \quad \rho = R s / l,$$

где  $l$  – длина проводника, м;  $s$  – площадь поперечного сечения проводника, м<sup>2</sup>

Удельное электрическое сопротивление  $\rho$  – это сопротивление, которое оказывает кубический метр горной породы электрическому току, направленное перпендикулярно к одной из граней. Измеряется в ом-метрах (Ом·м), является наиболее известным электромагнитным свойством и изменяется для горных пород и руд в очень широких пределах: от 10-5 до 10<sup>15</sup> Ом·м. Для наиболее распространенных осадочных, изверженных и метаморфических горных пород оно зависит от минерального состава, физико-механических и водных свойств горных пород, а также от некоторых других факторов (температуры, глубины залегания, степени метаморфизма, техногенных воздействий и др.).

Факторы влияющие на сопротивление пород.

- б. Удельное электрическое сопротивление минералов зависит от их внутрикристаллических связей. Для минералов-диэлектриков (кварц, слюды, полевые шпаты и др.) с преимущественно характерны очень высокие сопротивления (10<sup>12</sup>—10<sup>15</sup> Ом·м). Минералы-полупроводники (карбонаты, сульфаты, галоиды и др.) имеют ионные связи и отличаются высокими сопротивлениями (10<sup>4</sup>—10<sup>8</sup> Ом·м).

Глинистые минералы (гидрослюды, монтмориллонит, каолинит и др.) обладают ионно-ковалентными связями и характеризуются достаточно низкими сопротивлениями ( $\rho < 10^4$  Ом·м). Рудные минералы (самородные, некоторые оксиды) с электронной проводимостью очень хорошо проводят ток ( $\rho < 1$  Ом·м). Первые две группы минералов составляют «жесткий» скелет большинства горных пород. Глинистые минералы создают «пластичный» скелет. Характерно, что «пластичные» минералы способны адсорбировать связанную воду, а породы с «жесткими» минералами могут насыщаться лишь свободной водой.

- а. Удельное электрическое сопротивление свободных подземных вод (гравитационных и капиллярных) изменяется от долей Ом·метра при высокой

общей минерализации ( $M > 10$  г/л) до 1000 Ом·м при низкой минерализации ( $M < 0,01$  г/л) и может быть оценено по формуле  $\rho_B \approx 8,4/M$ . Химический состав растворенных в воде солей не играет существенной роли, поэтому по данным электроразведки можно судить лишь об общей минерализации подземных вод. Удельное электрическое сопротивление связанных подземных вод низкое и изменяется от 1 до 10 Ом·м, что объясняют достаточно постоянной их минерализацией (3—1 г/л), близкой к средней минерализации вод Мирового океана.

Так как поровая влага (свободная и связанная) отличается значительно более низким удельным электрическим сопротивлением, чем минеральный скелет, то сопротивление большинства горных пород практически не зависит от его минерального состава, а определяется такими факторами, как пористость, трещиноватость, водонасыщенность, с увеличением которых сопротивление пород уменьшается.

- При возрастании температуры на  $40^\circ\text{C}$  сопротивление уменьшается примерно в 2 раза. Это объясняют увеличением подвижности ионов.
- Глубина залегания, степень метаморфизма, структура и текстура породы также влияют на ее сопротивление, изменяя коэффициент микроанизотропии  $n$  и  $l$  где  $\rho_n$ ,  $\rho_l$  — сопротивления породы вкрест и вдоль слоистости. Чаще всего  $\lambda$  изменяется от 1 до 1,5, достигая 2—3 у сильно рассланцованных пород.

Несмотря на широкий диапазон изменения удельных электрических сопротивлений у разных пород, основные закономерности установлены достаточно четко. Изверженные и метаморфические породы характеризуются высокими сопротивлениями (от 500 до 10000 Ом·м). Среди осадочных пород высокие сопротивления (100 — 1000 Ом·м) у каменной соли, гипсов, известняков, песчаников и некоторых других пород.

Обломочные осадочные породы, как правило, имеют тем большее сопротивление, чем больше размер зерен, слагающих породу. При переходе от глин к суглинкам, супесям и пескам удельное сопротивление изменяется от долей и первых единиц до первых десятков и сотен Ом метров.

#### ***Контрольные вопросы***

- 1) Определение удельного электрического сопротивления.
- 2) Факторы влияющие на сопротивление пород.
- 3) Как влияют температурные изменения пород на сопротивление.

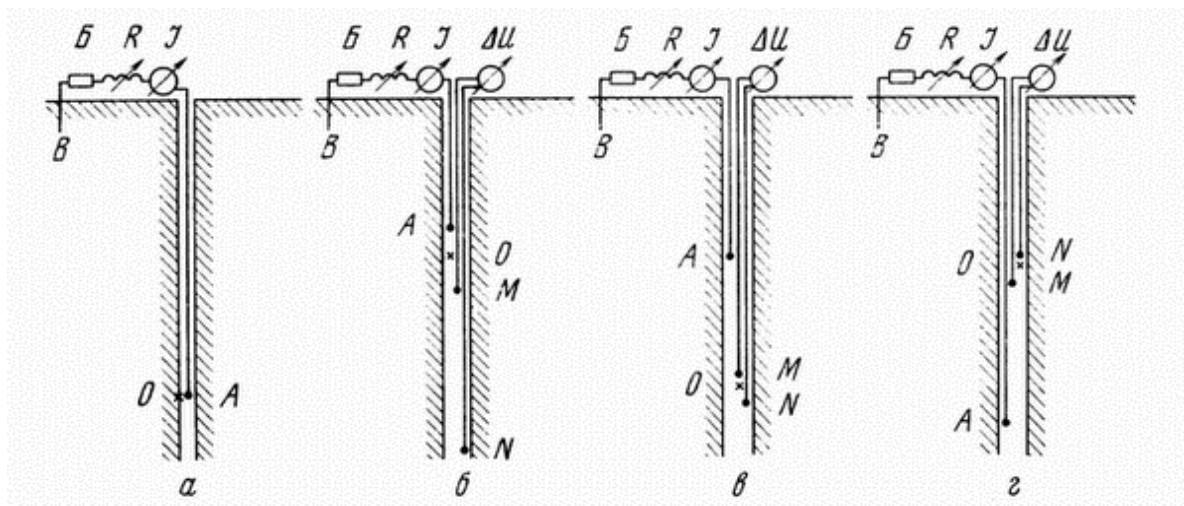
#### **Урок 4 Каротаж сопротивления (КС) обычными зондами**

План

1. Зонды для работ методом КС.
2. Вычисления кажущегося сопротивления.
3. Методика и техника метода КС.

Скважинные исследования методом кажущихся сопротивлений (каротаж КС) основаны на расчленении пород, окружающих скважину, по их удельному электрическому сопротивлению (УЭС).

1. *Зонды для работ методом КС.* Простейшим зондом для измерения силы тока, проходящего в буровом растворе и окружающих скважину породах, служит одноэлектродный зонд. В этом виде исследований, называемом токовым каротажом, один электрод заземлен неподвижно, вблизи устья скважины, а второй - закреплен на кабеле (рис. 1, а). В результате перемещения зонда по скважине регистрируется кривая изменения силы тока.



**Рис. 1.** Различные зонды для электрического каротажа скважин: *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,  $\Delta U$  - 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

Чаще всего при работах методом КС используются трехэлектродные зонды, в которых три электрода располагаются в скважине (четвертый электрод заземляется на поверхности, вблизи от скважины). Трехэлектродный зонд, состоящий из одного питающего *A* и двух приемных *M* и *N* электродов, называется однополюсным. Трехэлектродный зонд, состоящий из одного приемного *M* и двух питающих *A* и *B* электродов, называется двухполюсным.

2. В обоих случаях расчет КС ( $\rho_k$ ) ведется по формуле метода сопротивления:

$\rho_k = k \cdot \Delta U / I$ , где *k* - коэффициент, зависящий от расстояния между электродами в зонде; ( $\Delta U$  - разность потенциалов между приемными электродами *M* и *N*; *I* - сила тока в питающей цепи *AB*).

В трехэлектродном зонде  $k = 4\pi \cdot AM \cdot AN / MN$  или  $k = 4\pi \cdot MB \cdot NB / MN$ , где *AM*, *AN*, *MN*, *MB*, *NB* - расстояния в метрах между соответствующими электродами.

Название зонда складывается из обозначения электродов, расположенных в скважине сверху вниз и расстояний между ними. Например, в зонде *A2M0,05N* сверху расположен питающий электрод *A*, далее в двух метрах - приемный электрод *M*, а в пяти сантиметрах от последнего - электрод *N*. Различают потенциал- и градиент-зонды (рис. 7.5). В потенциал-зонде расстояние между приемными *MN* или питающими *AB* (их называют парными) электродами превышает расстояние от непарного электрода *A* или *M* до ближайшего парного. Точка записи, к которой относится измеренное кажущееся сопротивление, располагается посередине *AM* (точка *O*). 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 кровельным (или обращенным), а если под питающим, то подошвенным (или последовательным). Расстояние *AM* у потенциал-зонда и *AO* (или *MO*)

у градиент-зонда называется размером зонда. Обычно размер зонда меняется от 0,5 до 3 м. Радиус обследования пород вокруг скважины примерно равен размеру зонда.

Иногда используются более сложные 5 - 7-электродные зонды. Благодаря различной комбинации питающих и приемных электродов с помощью этих зондов создаются направленные фокусированные электрические поля, что позволяет точнее отбить границы пластов и определить их сопротивление. Такие зонды используются при боковом каротаже. Для выявления тонких пластов применяются микрозонды.

*Методика и техника метода КС.* Как отмечалось выше, при исследованиях методом КС может регистрироваться либо сила тока (токовый каротаж), либо разность потенциалов. В результате токового каротажа (в сухих скважинах он называется методом скользящих контактов, или МСК) получают токовые диаграммы, характеризующие изменение силы тока по стволу скважины.

Основным видом скважинных электрических наблюдений является измерение КС ( $r_k$ ) по стволу скважины с помощью стандартного зонда с постоянным в данных геологических условиях размером. Это аналог электропрофилирования (ЭП). Стандартный, или оптимальный для изучаемого района зонд обеспечивает наилучшее выделение по кривым КС слоев с разным удельным электрическим сопротивлением. Его вид и размеры зависят от поставленных задач и выбираются опытным путем. Чтобы получить кривую изменения КС по скважине, сила тока  $I$  на питающих электродах обычно поддерживается постоянной, а измеренная непрерывная кривая разностей потенциалов  $\Delta U$  на приемных электродах при постоянной длине зонда является фактически графиком изменения  $r_k$ . Для перевода кривой  $\Delta U$  (в милливольтгах) в кривую  $r_k$  (в ом метрах) изменяется лишь масштаб записи с учетом величины коэффициента установки и силы тока.

По диаграммам КС (по вертикали откладываются точки записи, по горизонтали -  $r_k$ ) можно получить лишь общее представление о сопротивлениях пород и об их изменении по стволу скважины. Однако для расшифровки диаграмм и интерпретации результатов электроразведки большое значение имеет определение истинного значения сопротивления пород. Его получают с помощью боковых каротажных зондирований (БКЗ) или бокового каротажа (БК). Методика БКЗ сводится к последовательному выполнению работ КС несколькими (5 - 7) однотипными зондами разной длины (например,  $AO = 0,2; 0,5; 1; 2; 4; 7$  м). Проведя измерения зондами разной длины, получаем кажущиеся сопротивления, соответствующие разным радиусам обследования пород вокруг скважины. Для каждого пласта, сопротивление которого необходимо определить, на логарифмических бланках строят кривую БКЗ, т.е. кривую зависимости КС от длины зонда. Кривые БКЗ интерпретируются с помощью специальных теоретических кривых (палеток БКЗ) так же, как это делается при интерпретации ВЭЗ. В результате получают истинное сопротивление пород и оценивают глубину проникновения бурового раствора в среду.

#### Контрольные вопросы

1. Формула для нахождения кажущегося электрического сопротивления?
2. Типы зондов КС?

3. Какой зонд называют градиент - зонд?
4. Методика проведения КС?

## Урок 5 Боковой каротаж (БКЗ, МКЗ)

### *Боковой каротаж*

#### *План*

1. Боковое каротажное зондирование (БКЗ)
2. Основы метода БК
3. Микробоковой каротаж

### **1. Боковое каротажное зондирование (БКЗ)**

Определение  $\rho_p$  по кривым КС стандартного зонда возможно только в отдельных благоприятных случаях. В общем случае  $\rho_k$  зависит от целого ряда величин, характеризующих среду, окружающую зонд: от размеров и сопротивлений зоны проникновения, УЭС вмещающих пород, мощности пласта, сопротивления бурового раствора и т. д. Чтобы исключить влияние этих факторов, проводят измерения КС пластов набором однотипных зондов разных длин. Принципиальная возможность определения  $\rho_p$  и  $\rho_{zp}$  по данным измерений зондами различной длины основана на том, что эти зонды имеют различную глубину исследования.

При малых размерах зонда ( $L \ll d_c$ ) измеряемое кажущееся сопротивление определяется главным образом сопротивлением бурового раствора  $\rho_b$ ; при увеличении размера зонда на величину  $\rho_k$  все больше влияют сопротивления  $\rho_p$  и  $\rho_{zp}$  а при значительном превышении размера зонда над диаметром скважины ( $L \gg d$ ) и глубиной проникновения фильтрата бурового раствора ( $L > D, \mu$ ) величина  $\rho_k$  приближается к истинному значению.

Боковое электрическое зондирование может быть осуществлено как потенциал-, так и градиент зондами. В промыслово-геофизической практике применяют главным образом градиент-зондирование, поскольку потенциал-зондами выделить тонкие пласты высокого сопротивления невозможно. Для исследования разрезов нефтяных и газовых скважин наиболее часто применяется следующий набор последовательных градиент-зондов: АО.4МО.1 N, А 1 МО.1 N, А2МО.5N, А4МО.5N, А8М 1 N. Для уточнения отбивки границ отдельных пластов и учета явлений экранирования комплект подошвенных градиент-зондов дополняют одним кровельным зондом, обычно NO.5M4A или NO.5M2A. Совместно

с БКЗ обязательно проводят измерения величин  $d_c$  и  $\rho_b$  в пределах исследуемого интервала скважины.

Основная цель такого зондирования - получение кривой изменения кажущегося сопротивления как функции от размера зонда:  $\rho_k = f(AO)$ . Эта кривая, называемая фактической кривой зондирования,

сравнивается с расчетными кривыми, собранными в палетки. В итоге такого сравнения устанавливается совпадение фактической и одной из палеточных кривых, при этом параметры модели, для которой рассчитана палеточная кривая, принимаются в качестве результата интерпретации.

При сопоставлении интерпретационного бланка с палеткой используют две характерные точки: крест скважины с координатами  $\rho_k = \rho_c$  и  $AO = d_c$  и для пластов ограниченной мощности крест пласта

(или точку учета мощности) с координатами  $\rho_k = \rho_{vm}$ ,  $AO = h$  (рис. 2.15).

### **2. Основы метода БК**

Методом бокового каротажа исследуется кажущееся удельное сопротивление пластов. Этот метод входит в группу модификаций электрического каротажа, в которых



используются зонды с управляемым электрическим полем. Боковой каротаж так же называют каротажем с зондами с фокусировкой тока.

Боковой каротаж проводят многоэлектродными (семь, девять электродов) и трёх электродными зондами. Применяют многоэлектродные зонды с электродами небольшого размера (точечными) и с кольцевыми электродами, установленными на изолированной трубе.

### Трёхэлектродный зонд

Представляет собой длинный цилиндрический электрод, разделённый изоляционными прослойками на три части. Имеется основной (центральный электрод)  $A_0$ ; симметрично по отношению к нему расположены соединённые между собой удлинённые экранирующие электроды  $A_1$  и  $A_2$ .

Отличается от каротажа обычными трёхэлектродными зондами тем, что кроме основного (центрального) питающего электрода  $A_0$ , здесь используют дополнительные (экранирующие) электроды, через которые пропускают ток той же полярности, что и через питающий электрод  $A_0$ . Сила тока через электроды автоматически регулируется так, чтобы ток, выходящий из электрода  $A_0$ , в некоторых пределах распространялся в направлении, перпендикулярном оси скважины (при вертикальных скважинах-горизонтально), захватывая слой определённой толщины.

Благодаря применению экранирующих электродов с регулируемой силой тока через них уменьшается влияние на результаты измерений бурового раствора, заполняющего скважину, и вмещающих пород и кажущееся сопротивление получается близким к удельному.

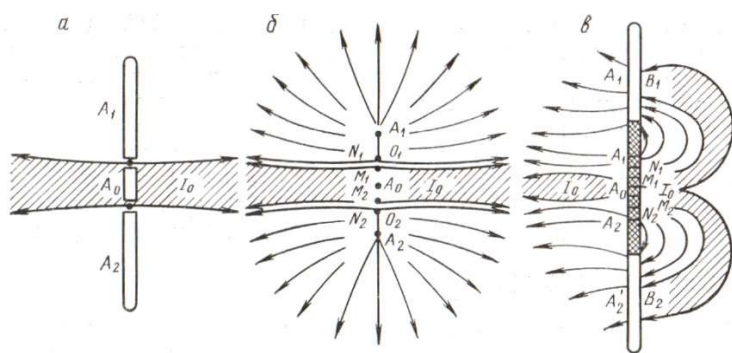


Рис. 1 Зонды бокового каротажа.

В результате измерений получают кажущееся удельное сопротивление  $\rho_k$ , оно определяется по формуле:

$$\rho_k = K \Delta U_{\text{кк}} / I_0,$$

где  $I_0$  сила тока через основной электрод  $A_0$ ;  $K$ -коэффициент зонда; он берётся таким, чтобы в однородной среде кажущееся удельное сопротивление получалось равным удельному.



Результат измерений зондом бокового каротажа относят к точке  $A_0$ ; за длину  $L$  зонда принимают расстояние между точками  $O_1$  и  $O_2$  (середины интервалов  $M_1N_1$  и  $M_2N_2$ ). Характеристиками для зонда являются также расстояние  $L_{об} = A_1A_2$ , называемое общим размером зонда, и параметр фокусировки зонда  $q=(L_{об}-L)/L$ .

Боковой каротаж целесообразно применять при бурении на сильноминерализованных растворах, так как хорошо проводящий раствор оказывает значительно меньшее влияние на показания бокового каротажа, чем на результаты измерения установками других типов. При проникновении в пласт раствора большой минерализации велика вероятность понижающего проникновения, которое мало сказывается на кривых бокового каротажа. Также хорошие результаты получаются при применении бокового каротажа в разрезах, представленных малопористыми породами, для которых наблюдается большее отношение удельного сопротивления пород к удельному сопротивлению бурового раствора. В этом случае боковой каротаж обеспечивает хорошее расчленение разреза. Метод мало эффективен при изучении пластов с повышающим проникновением.

Большое применение получило комплексирование метода бокового каротажа, как с другими модификациями этого метода так и с другими методами геофизического исследования скважин, такими как индукционный каротаж.

### 3. Микробоковой каротаж

С помощью зондов этого типа измеряется удельное сопротивление прилегающей к стенке скважины части пласта.

На башмаке из изоляционного материала на стороне, обращённой к стенке скважины, монтируют небольшой зонд, состоящий из центрального основного  $A_0$  и трёх кольцевых электродов - двух ( $M$  и  $N$ ) измерительных и внешнего  $A_1$  экранирующего.

Расстояние между кольцевыми электродами 1,25- 2,5 см, электрод  $A_1$  обычно образован совокупностью небольших электродов, центры которых расположены по окружности.

Принцип действия установки такой же, как и установки семиэлектродного бокового каротажа, вариантом которой он является.

Из этих данных можно заключить, что этот метод имеет широкое применение для решения задач исследования разреза скважины. Хотя существуют различные модификации метода, для решения конкретных задач, но общей особенностью всех модификаций является применение фокусирующих электродов, что позволяет значительно сузить толщину токовых линий и направить их непосредственно в изучаемый пласт. Так же с помощью некоторых модификаций можно наоборот уменьшить зону исследования зонда или придать токовым линиям определённую форму.

#### Контрольные вопросы

1. Сущность бокового каротажного зондирования.
2. Сущность микрокаротажа?

3. Область применения БК?
4. Область применения микрокаротажа?
5. Устройство трехэлектродного зонда БК?

### Урок 6 практика

#### Практическая работа 1 Зонды для электрических исследований.

Электроды А, М и N или А, В и М (рис.1) составляют обычный каротажный зонд и опускаются на каротажном кабеле в скважину. Четвертый электрод установки находится вдали от зонда, обычно на поверхности земли около устья скважины.

1. Потенциал – зонд, в котором расстояние между парными электродами больше, чем между непарными.

Длина зонда равна расстоянию АМ между сближенными электродами, а точка записи располагается посередине между ними. Коэффициент зонда  $K = 4\pi AM$  и, следовательно  $R_k = 4\pi AM (\Delta U / I)$ .

2. Градиент – зонд, в котором расстояние между парными электродами меньше, чем между непарными. Точкой записи является середина между сближенными (парными) электродами, а длина зонда равна расстоянию от точки записи до непарного электрода. Коэффициент зонда  $K = 4\pi AM * AN / MN$  и, следовательно  $R_k = (4\pi AM * AN / MN) * (\Delta U / I)$ .

Кривую изменений кажущегося сопротивления при передвижении зонда вдоль исследуемого пласта называют кривой кажущегося сопротивления. Форма кривой зависит от У.С. пласта, типа и размеров зонда.

Форма кривой кажущегося сопротивления, полученный потенциал – зонд, имеет вид ассиметричного максимума (при  $R_n < R_{vm}$ ).

Границы пласта приуроченных к крутому подъему кривой.

При измерении градиент-зондами получает кривую несимметричной формы. Градиент – зонд с парными электродами, расположенными выше непарного, отмечает пиком кривой пласта высокого сопротивления, амплитудой - кровлю пласта низкого сопротивления. Такой градиент – зонд МNА называют кровельным.

Обычные трехэлектродные зонды применяют для проведения стандартного каротажа, которое заключается в измерении кривых КС одним-двумя стандартными зондами, кривых ПС и гамма-каротажа в масштабе глубин 1: 500 по всему стволу скважины.

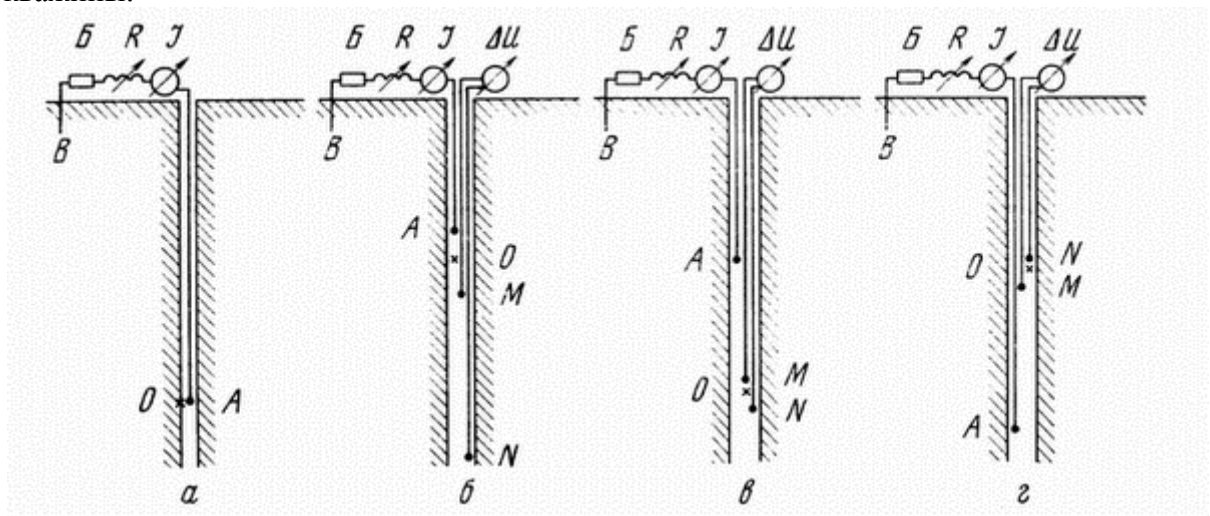


Рис. 1. Различные зонды для электрического каротажа скважин: А, В - питающие электроды, Б - батарея или другой источник питания, R - реостат для регулировки силы тока, I - прибор, измеряющий силу тока, MN - приемные измерительные электроды, -

прибор для измерения (регистрации) разности потенциалов, О - точка записи, к которой относят результаты замеров; а - одноэлектродный зонд токового каротажа, б - трехэлектродный потенциал-зонд, в - трехэлектродный подошвенный (последовательный) градиент-зонд, г - трехэлектродный кровельный (обращенный) градиент-зонд

Название зонда складывается из обозначения электродов, расположенных в скважине сверху вниз и расстояний между ними. Например, в зонде А2М0,05N сверху расположен питающий электрод А, далее в двух метрах - приемный электрод М, а в пяти сантиметрах от последнего - электрод N. Различают потенциал- и градиент-зонды (рис. 1). В потенциал-зонде расстояние между приемными MN или питающими АВ (их называют парными) электродами превышает расстояние от непарного электрода А или М до ближайшего парного. Точка записи, к которой относится измеренное кажущееся сопротивление, располагается посередине АМ (точка О). 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 кровельным (или обращенным), а если под питающим, то подошвенным (или последовательным). Расстояние АМ у потенциал-зонда и АО (или МО) у градиент-зонда называется размером зонда. Обычно размер зонда меняется от 0,5 до 3 м. Радиус обследования пород вокруг скважины примерно равен размеру зонда.

Иногда используются более сложные 5 - 7-электродные зонды. Благодаря различной комбинации питающих и приемных электродов с помощью этих зондов создаются направленные фокусированные электрические поля, что позволяет точнее отбить границы пластов и определить их сопротивление. Такие зонды используются при боковом каротаже. Для выявления тонких пластов применяются микрозонды.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какой зонд называют градиент зондом?
2. Кровельным зондом?

#### **Урок 7 Другие электрические методы исследования скважин**

1. Индукционный каротаж (ИК)
2. Высокочастотное индукционное каротажное зондирование(ВИКИЗ) изопараметрическое

1. Индукционный каротаж (ИК) первоначально был предназначен для электрических исследований в сухих скважинах или скважинах, бурящихся на непроводящих (нефтяных) растворах. Может применяться в случае обсадки скважин асбоцементными или пластмассовыми трубами. Особенно хорошие результаты дает при изучении пластов низкого сопротивления (от 0 до 50 Ом/м).

Прибор индукционного каротажа (рис. 9.1) содержит генераторную КГ и приемную КП катушки, размещенные в корпусе из прочного диэлектрика. Расстояние  $L$  между ними называется *длиной зонда*. Через генераторную катушку пропускается переменный ток генератора с частотой 10-200 кГц. Переменное магнитное поле этого тока индуцирует вихревые токи в породах, окружающих скважинный снаряд. Магнитное поле вихревых токов, в свою очередь, индуцирует в приемной катушке ЭДС, которая поступает на усилитель. Если ток генератора имеет постоянную частоту и силу и  $L - const$ , то ЭДС в

приемной катушке прямо пропорциональна взаимной индукции катушек, т.е. в итоге электропроводности среды  $\sigma$ :

$$e = c \cdot \sigma \quad (9.1)$$

и, следовательно, обратно пропорциональна электрическому сопротивлению  $\rho$ ,

измеряется  $\sigma$  в  $\frac{\text{Сим}}{\text{м}} = \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$ ;  $c$  — постоянная, зависящая от конструкции зонда.

Перед спуском в скважину снаряд настраивается с помощью дополнительных компенсационных катушек так, чтобы отсчет в воздухе был равен 0. Поскольку регистрируемый сигнал в индукционном каротаже пропорционален кажущейся проводимости, то масштаб проводимостей на диаграммах получается линейным, а масштаб сопротивлений — гиперболическим, растянутым в области низких сопротивлений и сжатым в области высоких. Эта особенность диаграмм обеспечивает хорошую дифференциацию разреза с удельными электрическими сопротивлениями только до 50 Ом-м.

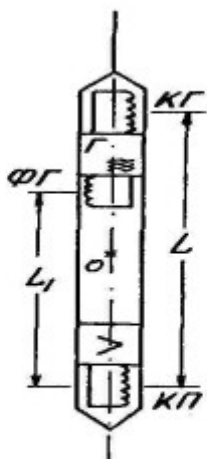


Рис. 9.1. Конструкция скважинного снаряда индукционного каротажа

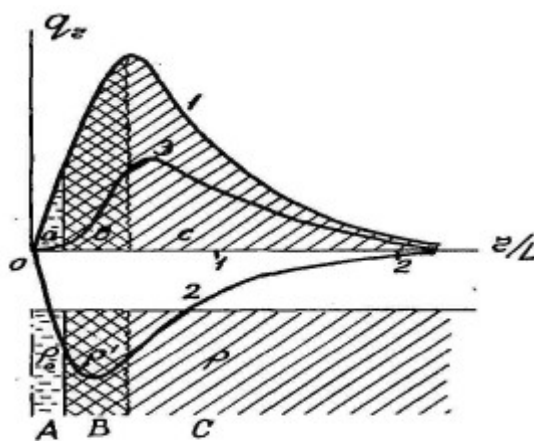


Рис. 9.2. Радиальный геометрический фактор зондов индукционного каротажа: двухкатушечного (1) и трехкатушечного (3)

ИК наиболее чувствителен к пропласткам повышенной электропроводности и почти не фиксирует прослой высокого сопротивления, т.к. при замерах отсутствует экранирование, присущее обычным зондам КС. Таким образом, кривые ИК получаются недостаточно детальными.

Недостаток ИК, связанный с ограниченной областью применения ( $\rho = 0 - 50 \text{ Ом}$ ), вызывает необходимость комплексирования ИК с другими методами, например, БК.

Существует комплексная аппаратура для одновременной регистрации диаграмм ИК и БК.

В настоящее время ИК широко применяется и в обычных скважинах, пробуренных на простом глинистом растворе, благодаря тому, что позволяет определять истинное сопротивление пластов быстрее и дешевле, чем метод БКЗ.

## 2. Метод ВИКИЗ

ВИКИЗ расшифровывается как "высокочастотное индукционное каротажное изопараметрическое зондирование". Метод разработан в Институте геологии и геофизики Сибирского отделения РАН.

По своей сути ВИКИЗ является вариантом боковых каротажных зондирований (БКЗ) в индукционном исполнении.

В методе используется принцип частотно-геометрического зондирования, в котором увеличение глубины исследований достигается, во-первых, за счет уменьшения частоты электромагнитного поля и, во-вторых, за счет увеличения длины зонда.

Применяемые частоты - от 800 кГц до 20 МГц. Длины зондов: 0,5; 0,7; 1,0; 1,4; 2,0 м.

*Изопараметричность* толкуется авторами метода как постоянство отношения длины зонда к толщине скин-слоя в однородной и изотропной среде. Напомним, что на глубине скин-слоя происходит уменьшение интенсивности электромагнитного поля в  $e$  раз.

Вертикальные и радиальные характеристики зондов ВИКИЗ оптимизированы для геолого-технических условий нефтяных и газовых скважин Западной Сибири.

5 зондов различной длины, работающих каждый на своей частоте, поочередно подключаются к измерительной линии. Измеряемая величина в виде цифрового кода передается на поверхность.

Малые зонды дают  $p_k$ , близкое к  $p'$ , большие - к  $p$  пласта.

Снаряд имеет специальный электрод для записи диаграммы ПС.

Разработаны программы для компьютерной обработки данных ВИКИЗ.

Сопоставление результатов ВИКИЗ и БКЗ показывает, что по величине сопротивления пласта оба метода дают очень близкие показания, а вот по величине  $p'$  и  $D$  имеются большие расхождения. При этом ВИКИЗ позволяет более детально изучить строение зоны проникновения и определить сопротивление ее различных частей, включая полностью промытые породы  $p_m$  и зону "водяной оторочки" в нефтенасыщенных коллекторах.

### Контрольные вопросы

1. Почему в скважинах, заполненных раствором на нефтяной основе, не возможен каротаж обычными зондами КС?

2. Какова область применения индукционного каротажа ИК?

### 3. Каковы недостатки ИК?

#### 3. Метод ВИКИЗ

### Урок 8 практика

Изучение устройства каротажной станции, скважинных приборов, каротажного оборудования.

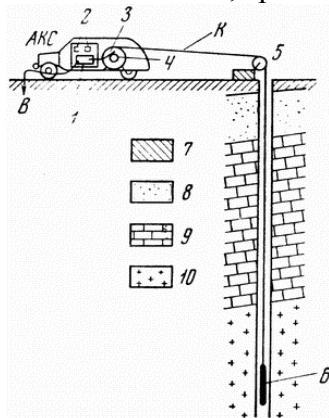
#### План:

#### **1. Состав и назначение оборудования для комплексных геофизических исследований скважин.**

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.

К общему оборудованию (рис. 1) каротажной станции относятся:

- 1 источники питания (батарея аккумуляторов);
- 2 приборы для регистрации разности потенциалов и силы тока;
- 3 лебедка, работающая от двигателя автомобиля и предназначенная для спуска и подъема каротажного кабеля в скважину (при каротаже глубоких скважин - более 3 км - лебедка устанавливается на отдельном автомобиле-подъемнике);
- 4 блок-баланс, располагающийся вблизи скважины и предназначенный для направления кабеля в скважину и синхронной передачи глубины расположения индикатора поля на лентопротяжный механизм регистратора;
- 5 одножильный, трехжильный или многожильный кабель в хорошей изоляции.



**Рис. 1.** Схема выполнения ГИС: 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

Изолированные друг от друга жилы кабеля с одной стороны подключаются к кольцам коллектора лебедки, а с другой - к глубинному каротажному зонду, то есть к устройству

для измерения тех или иных параметров поля в скважине и трансформации их в электрические импульсы. В методах электрического каротажа зонд состоит из одного, двух, трех и более свинцовых электродов, укрепленных на кабеле. Такие зонды используются в скважинах, заполненных буровой жидкостью или водой. При работах в сухих скважинах применяются скользящие электроды, каждый из которых состоит из металлической щетки, укрепленной в обойме из изолятора на плоской металлической пружине. Пружины такого "фонарного" зонда прижимают электроды к стенкам скважины. Аналогично устроены микрозонды, в которых точечные электроды располагаются на планке из изолятора на расстоянии нескольких сантиметров друг от друга. Планка укреплена на плоской пружине "фонаря", которая прижимает электроды к стенкам скважины.

В наземной автоматической каротажной станции смонтированы электронные усилители и регистраторы. Аналоговую регистрацию проводят на рулонной (редко фото-) бумаге или магнитной ленте. Современные АГИС являются цифровыми. В них сигналы кодируются в двоичном коде и записываются на магнитную ленту. Это обеспечивает возможность машинной обработки информации как с помощью больших ЭВМ, так и компьютеров, входящих в комплект станции. Имеются устройства для представления материалов в аналоговой форме.

Раньше существовали одноканальные станции. Сейчас изготавливаются многоканальные компьютеризированные телеизмерительные системы, позволяющие регистрировать информацию от нескольких датчиков. Станции АГИС изготавливаются для разных целей: изучения нефтегазовых, рудных и инженерно-геологических и гидрогеологических скважин.

ГИС неглубоких скважин (до 200 м) можно проводить с помощью полуавтоматических регистраторов. В них измеряемый милливольтметром сигнал компенсируется эталонной разностью потенциалов, пропорциональной отклонению карандаша от нулевой линии. Запись сигнала ведется на диаграммной бумаге.

#### Контрольные вопросы

1. Общее оборудование каротажной станции?
2. Типы каротажных кабелей?
3. Основные блоки каротажной станции?

### Урок 9 Физические основы ядерно-физических методов каротажа. Гамма-каротаж (ГК)

#### План

1. Сущность методов: гамма каротажа (ГК)
2. Понятия естественная радиоактивность, радиоактивный распад элементов, Альфа-бета-частицы и гамма излучения.
3. Взаимодействие гамма квантов с веществом. Фотоэффект, Комптоновский эффект. Классификация радиоактивных методов.

4. Аппаратура радиоактивного каротажа. Область применения, решаемы геологические задачи.

1. Гамма-каротаж

**Физические основы метода**

Гамма-каротаж (ГК) заключается в измерении  $\gamma$ -излучения естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ), содержащихся в горных породах, пересеченных скважиной. Интенсивность и энергетический спектр регистрируемого излучения зависит от состава, концентрации и пространственного распределения ЕРЭ, а также от плотности и эффективного атомного номера горных пород.

2. Наиболее распространенными ЕРЭ являются:  $U$  (и образующийся из него  $Ra$ ),  $Th$  и  $K$ . Каждая из разновидностей горных пород характеризуется своим диапазоном изменения содержания ЕРЭ и, соответственно, своим диапазоном естественной радиоактивности.

У магматических пород максимальной активностью отличаются кислые породы (в основном, из-за повышенного содержания калия, в котором содержится около 0,7% радиоактивного изотопа  $K^{40}$ ), минимальной - ультраосновные породы. Среди осадочных пород наиболее активны глины, обладающие высокой адсорбционной способностью, менее активны песчаники и, наконец, наименьшей активностью обладают известняки и доломиты, а также гидрокхимические осадки (гипс, ангидрит, каменная соль). Исключение представляют только калийные соли, отличающиеся повышенной активностью, благодаря содержащемуся в *та*  $K$ .

3. Процессы взаимодействия  $\gamma$ -излучения с веществом

Существуют 3 основных процесса, которые носят названия фотопоглощения, комптоновского рассеяния и образования пар.

*Фотопоглощение* (фотоэффект) заключается в поглощении  $\gamma$ -кванта атомом вещества, его энергия уходит на отрыв от атома электрона и сообщение последнему импульса энергии (рис. 12.5, а). Атом остается возбужденным и переходит в нормальное состояние, испуская фотон рентгеновского излучения.

Фотоэффект наблюдается при самых малых энергиях  $\gamma$ -квантов. Условно можно считать  $E_{\gamma} < 0,5$  МэВ. Вероятность поглощения  $\tau_{\phi}$  при фотоэффекте сложным образом зависит от энергии  $\gamma$ -кванта  $E_{\gamma}$  и химического состава вещества.

Таким образом, на фотопоглощение очень сильно влияет даже небольшая примесь в среде элементов с большим атомным номером.

*Комптоновское рассеяние* (комpton-эффект) - это неупругое рассеяние  $\gamma$ -квантов на электронах вещества, в результате которого  $\gamma$ -квант теряет часть своей энергии и меняет направление движения (рис. 12.5, б). Наблюдается комpton-эффект при более высоких энергиях, условно можно считать  $E_{\gamma} > 0,5$  МэВ.

Таким образом, комpton-эффект зависит от плотности вещества.

*Образование пар* (рождение пар) - происходит при взаимодействии  $\gamma$ -кванта с полем ядра атома,  $\gamma$ -квант прекращает свое существование, вместо него образуется пара: электрон и позитрон (рис. 12.5, в). Вероятность этого процесса невелика, во-первых, потому, что ядро занимает лишь небольшую часть объема всего атома и, во-вторых, потому, что энергия  $\gamma$ -кванта должна быть достаточной для этой реакции ( $E_{\gamma} > 1,02$  МэВ).



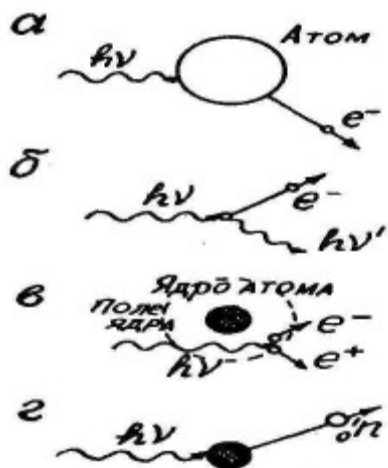


Рис. 12.5. Виды взаимодействия гамма-квантов с веществом: фотоэффект (а), комптоновское рассеяние (б), образование пар (в), ядерный фотоэффект (г)

Процесс образования пар в ядерно-геофизических методах пока не используют.

Кроме 3 основных видов взаимодействия с веществом,  $\gamma$ -кванты вызывают еще несколько

реакций, не играющих заметной роли в ослаблении излучения, но интересных с точки зрения вызываемых ими вторичных излучений. Наиболее интересной из этих реакций является ядерный фотоэффект.

Все рассмотренные процессы в горных породах при облучении их  $\gamma$ -квантами искусственного источника происходят не по отдельности, а совместно. Быстрые  $\gamma$ -кванты исчезают в результате образования пар и замедляются в результате комптоновского рассеяния, рассеянные поглощаются в результате фотоэффекта. Преобладание того или иного процесса зависит от энергии  $\gamma$ -квантов и свойств горной породы - ее плотности и эффективного номера, как это показано на рис. 12.6.



Рис. 12.6. Вероятность различных видов взаимодействия  $\gamma$ -излучения с веществом в зависимости от его энергии и эффективного атомного номера вещества

В зависимости от того, какой из процессов подвергается исследованию, в ГГК выделяют 2 основные разновидности метода: плотностной и селективный  $\gamma$ - $\gamma$ -каротаж.

#### 4. Аппаратура и методика каротажа

Аппаратура ГК имеет, в принципе, такое же устройство, как и полевые радиометры. Отличия заключаются в том, что, во-первых, в каротажных радиометрах детектор  $\gamma$ -квантов с источником его питания и блоками первичной обработки сигнала подсоединяется к измерительному пульту через каротажный кабель, имеющий длину до нескольких

километров и, во-вторых, в том, что в измерительном пульте предусмотрен вывод сигнала на регистратор для непрерывной записи его в функции глубины скважины.

Запись показаний производится в единицах мощности экспозиционной дозы излучения (МЭД), выраженных в А/кг (единица СИ) или в мкР/час (внесистемная единица);  $1 \text{ пА/кг} = 13 \text{ мкР/час}$ .

В качестве детекторов  $\gamma$ -квантов используются, главным образом, сцинтилляционные счетчики, причем для повышения их термостойкости кристалл-сцинтиллятор вместе с фотоэлектронным умножителем (ФЭУ) помещают в сосуд Дьюара (пример тому - двухканальный радиометр сцинтилляционный термостойкий ДРСТ-2). Как правило, каротажные радиометры являются двухканальными и, кроме канала ГК, содержат еще один канал, предназначенный для одновременной записи еще одной диаграммы - НТК, ГТК или ГНК.

Современные каротажные радиометры обеспечивают возможность не только определения интегральной интенсивности  $I_\gamma$ , но и возможность спектрометрии, т.е. определения энергии поступающих на детектор  $\gamma$ -квантов, что позволяет определить, с каким ЕРЭ связана радиоактивность горной породы. Для этого один канал радиометра настраивают на энергию основной линии  $\gamma$ -излучения  $Ra^{226}$  - 1,76 МэВ, другой - на основную линию  $Th^{232}$  - 2,6 МэВ и третий - на энергию  $\gamma$ -излучения  $K^{40}$  - 1,46 МэВ.

При выполнении ГК важным моментом является соблюдение оптимальной скорости движения скважинного снаряжения. Поскольку все радиометры обладают определенной постоянной времени интегрирующей ячейки, то скорость каротажа должна быть такой, чтобы при движении детектора против пласта минимальной интересующей исследователя мощности  $h$  показания радиометра успели достичь максимальных значений  $I_{\text{ГМ}}$ . При более высокой скорости, как это показано на рис. 12.1, аномалия ГК получается меньшей интенсивности и растянутой по глубине. Оптимальную скорость каротажа вычисляют, исходя из мощности пластов  $h$  в метрах и постоянной времени  $\tau_n$  в секундах по формуле

$$V_{\text{опт}} = \frac{1800 h}{\tau_n} \text{ м/час} . \quad (12.1)$$

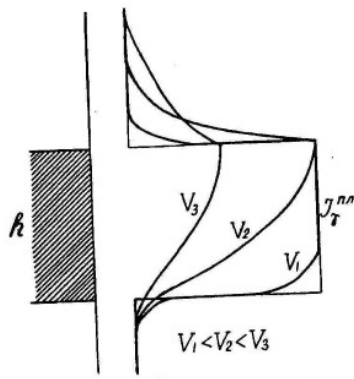


Рис. 12.1. Зависимость конфигурации аномалии гамма-каротажа над пластом повышенной радиоактивности от скорости каротажа

В общем случае скорость ГК не должна превышать 360-400 м/час.

Контрольные вопросы:

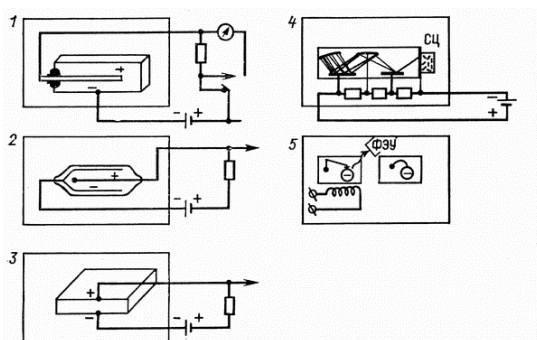
1. Что такое радиоактивность.
2. Сущность гамма-каротажа.
3. Основные характеристики радиоактивных свойств горных пород.

## Урок 10 практика

### Практическое занятие №3

Знакомство с радиометром СРП-68-02. Производство измерений на макете скважины. Построение каротажной диаграммы. Литологическое расчленение разреза и определение границ пластов по кривой ГК. Знакомство с каналом ГК каротажной станции.

Чувствительные элементы (их называют также детекторами) служат для определения интенсивности и энергетического спектра ядерных излучений путем преобразования энергии радиоактивного излучения в электрическую энергию. В аппаратуре для ядерно-геофизических исследований в качестве чувствительных элементов используют ионизационные камеры, счетчики Гейгера - Мюллера, полупроводниковые детекторы, сцинтилляционные счетчики, термолюминесцентные кристаллы (рис. 6.1).



**Рис. 1.** Схемы чувствительных элементов (детекторов) для приборов, используемых при ядерно-геофизических наблюдениях: 1 - ионизационная камера; 2 - счетчик Гейгера - Мюллера; 3 - полупроводниковый кристалл; 4 - сцинтилляционный счетчик; 5 - термолюминесцентный кристалл; СЦ - сцинтиллятор; ФЭУ - фотоэлектронный умножитель

☼ В ионизационной камере находятся газ и два электрода, к которым подводят напряжение в несколько сот вольт. Под действием альфа-, бета-лучей или вторичных заряженных частиц, возникающих при поглощении нейтронов, газ ионизируется, а получающиеся свободные электроны и ионы движутся к электродам. В результате в цепи возникает ток. Измеряя его или разность потенциалов, можно определить интенсивность излучений, вызывающих ионизацию.

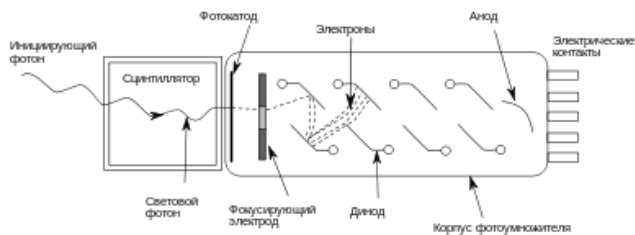
☼ В счетчиках Гейгера - Мюллера, называемых также газоразрядными, в баллоне под пониженным давлением находится инертный газ (обычно аргон для измерения гамма-лучей или гелий для определения потока нейтронов) и два электрода под высоким напряжением (до 1000 В). При появлении хотя бы одной пары ионов возникает краткий разряд. При облучении баллона гамма-квантами возникают вторичные заряженные частицы (ионы и электроны) и в нем наблюдается система разрядов в виде импульсов тока, которые можно зафиксировать.

☼ Полупроводниковый детектор - твердотельный аналог ионизационной камеры. Ионизирующие частицы, возникающие при облучении детектора, создают в полупроводнике электронно-дырочные пары, что при воздействии электрического напряжения приводит к возникновению тока.

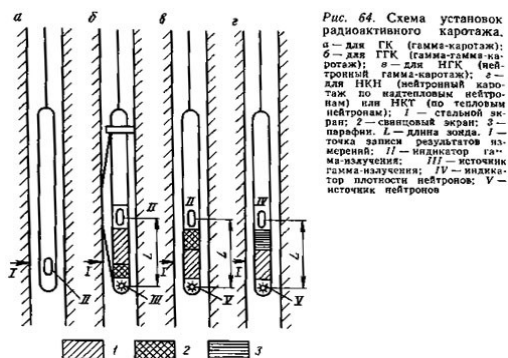
☼ Сцинтилляционный счетчик состоит из сцинтиллятора (неорганические или органические кристаллы, жидкие и газообразные), способного под действием гамма-квантов испускать вспышки света. Кванты света, попадая на фотокатод фотоумножителя, выбивают из него электроны. За счет вторичной эмиссии и наличия ряда электродов, находящихся под все большим напряжением, в фотоумножителе возникает лавинообразный, увеличивающийся поток электронов. В результате на аноде собирается в  $10^5 - 10^{10}$  раз больше электронов, чем было выбито из фотокатода, а в цепи возникает электрический ток.

☼ Термолюминесцентный кристалл (например, LiF) обладает способностью под действием ионизации создавать свободные электроны, которые накапливаются за счет

дефектов кристаллической решетки кристалла и могут долго храниться. Такой кристалл будет испускать свет, и на выходе фотоумножителя возникнет электрический ток, пропорциональный принятой ранее дозе облучения.



**Сцинтилляторы** — вещества, обладающие способностью излучать свет при поглощении ионизирующего излучения ([гамма-квантов](#), [электронов](#), [альфа-частиц](#) и т. д.). Как правило, излучаемое количество [фотонов](#) для данного типа излучения приближённо пропорционально поглощённой энергии, что позволяет получать энергетические спектры излучения. Сцинтилляционные детекторы ядерных излучений — основное применение сцинтилляторов. В сцинтилляционном детекторе свет, излученный при сцинтилляции, собирается на фотоприёмнике (как правило, это фотокатод фотоэлектронного умножителя — [ФЭУ](#), значительно реже используются [фотодиоды](#) и другие фотоприёмники), преобразуется в импульс тока, усиливается и записывается той или иной регистрирующей системой.<sup>4</sup>



**ГГК** предназначен для измерения рассеянного гамма-излучения, возникающего при облучении пород гамма-квантами. Исследования проводят установкой, включающей источник гамма-квантов и регистратор (детектор), разделенные экраном из стали и свинца.

Контрольные вопросы и задания

1. Изобразите схему сцинтилляционного счетчика и объясните принцип работы.
2. Изобразите схему установок радиоактивного каротажа и принцип работы.

## Урок 11 Методы гамма-гамма каротажа (ГГК)

План

1. Теоретические основы гамма-гамма плотностного каротажа (ГГК-П)
2. Селективный гамма-гамма-каротажа

### 1. Плотностной гамма-гамма-каротажа

Плотностной гамма-гамма-каротажа (ГГК-П) основан на изучении комптоновского рассеяния  $\gamma$ -квантов в горных породах. Поскольку этот эффект наблюдается при достаточно высокой энергии  $\gamma$ -квантов, то в ГГК-П используют источники с энергией  $E_\gamma > 0,5$  МэВ. Такими источниками являются искусственные изотопы

$C_{60}^{60}$  ( $E_\gamma = 1,17$  МэВ и  $1,33$  МэВ),  $Cs^{137}$  ( $E_\gamma = 0,66$  МэВ) и естественный ЕРЭ -  $Ra^{226}$ , который дает целый спектр  $\gamma$ -квантов с энергиями от  $0,35$  до  $1,76$  МэВ. Длина зондов от  $20$  до  $50$  см.

**Область применения.** ГГК-П находит применение при исследовании нефтяных и газовых, углеразведочных и рудных скважин.

На нефтяных и газовых месторождениях ГГК-П применяют для дифференциации разрезов скважин по плотности и для определения пористости пород-коллекторов.

Плотность породы в целом  $\sigma_n$  определяют по результатам плотностного ГГК. При этом аппаратуру градуируют на эталонных образцах с известной плотностью. Современная аппаратура позволяет получать диаграммы ГГК-П, масштаб которых сразу разбит в единицах плотности.

ГГК-П применяют также при цементометрии эксплуатационных скважин для определения высоты подъема и наличия пустот в цементном камне, поскольку плотность цементного камня  $2,2$  г/см<sup>3</sup>, а жидкости, заполняющей пустоты в нем,  **$1,0-1,2$**  г/см<sup>3</sup>.

На месторождениях ископаемых углей ГГК-П применяют для выделения угольных интервалов.

Поскольку плотность углей ( $\sigma_y = 1,15-1,75$ ) г/см<sup>3</sup> намного меньше, чем плотность песчано-глинистых вмещающих пород ( $\sigma_{вм} = 2,5 - 2,7$ ) г/см, то над угольными интервалами интенсивность рассеянного  $\gamma$ -излучения значительно повышается (рис. 12.7).

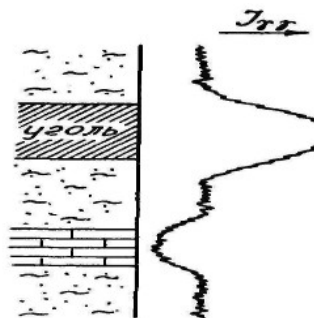


Рис. 12.7. Аномалии на диаграмме плотностного гамма-гамма-каротажа над пластами пониженной (ископаемый уголь) и повышенной (известняк) плотности

Границы угольных пластов определяют по правилу полумаксимума аномалии.

На рудных месторождениях ГГК-П применяют для выделения рудных интервалов в тех случаях, когда их выделение затруднено по данным других методов.

## 2. Селективный гамма-гамма-каротаж

Селективный гамма-гамма-каротаж (ГГК-С, он же Z-ГГК) основан на изучении фотопоглощения  $\gamma$ -квантов в горных породах. Поскольку этот эффект превалирует при низкой энергии  $\gamma$ -квантов, в ГГК-С используют источники с энергией  $E_\gamma < 0,5$  МэВ. Такими источниками являются искусственные радионуклиды:  $Sn^{119}$  ( $E_\gamma = 0,39$  МэВ),  $Se^{75}$  ( $E_\gamma = 0,27$  МэВ),  $Hg^{203}$  ( $E_\gamma = 0,28$  МэВ). Длина зонда  $10-20$  см.

**Область применения.** ГГК-С применяется, главным образом, на угольных и рудных месторождениях.

На угольных месторождениях ГГК-С используют для определения зольности углей. Чистый уголь имеет  $z_{эф} \approx 6$ , поскольку состоит из углерода. Негорючий остаток углей (зола) состоит, в основном, из кремнезема и глинозема с примесью окислов железа,  $z_{эф}$  золы составляет  $12-13$  единиц.

На рудных месторождениях метод ГГК-С применяют для выделения рудных интервалов в разрезах скважин. При измерении спектра рассеянного  $\gamma$ -излучения можно определить, каким элементом вызвано поглощение, т.е. возможно изучение вещественного состава руд.

На нефтяных и газовых месторождениях метод ГТК-С находит применение пока только при дефектометрии обсадных колонн.

#### Контрольные вопросы

1. Как устроен скважинный прибор ГТК?
2. Чем отличается плотностной ГТК от селективного?
3. Какие задачи решаются с помощью ГТК-П на нефтяных и рудных месторождениях?
4. Какие задачи решаются с помощью ГТК-С?

### Урок 12 практика

#### Практическое занятие №4

Знакомство с аппаратурой и оборудованием методов ГТК и РРК. Каротажные диаграммы методов. Литологическое расчленение разрезов и определение границ пластов по кривым.

В глубинном зонде ядерных методов помещаются счетчики гамма- или нейтронного излучения и предварительные усилители сигналов на их выходе. Для искусственных методов там же располагаются источники и экраны, препятствующие прямому облучению счетчика.

В гамма-методах экраны свинцовые, в нейтронных методах они парафиновые (см. рис. 7.2).

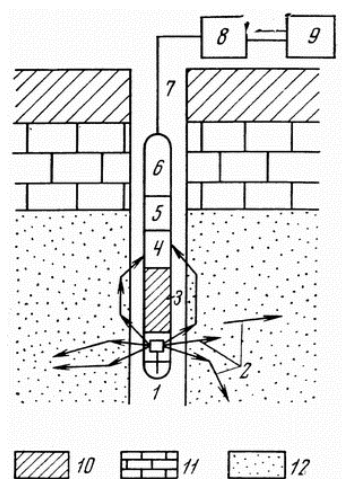


Рис. 7.2. Схема устройства глубинного прибора для искусственного ядерного каротажа: 1 - источник гамма-лучей или нейтронов; 2 - условные пути движений гамма-лучей или нейтронов; 3 - экран; 4 - счетчик; 5 - блок питания; 6 - предварительный усилитель; 7 - кабель; 8 - усилитель; 9 - регистратор; 10 - глина; 11 - известняки; 12 - пески

Работы проводят с помощью скважинных радиометров разных марок. Электрические сигналы, пропорциональные интенсивности гамма-излучения, передаются с них по кабелю в обычную каротажную станцию, где и осуществляется их автоматическая регистрация.

В результате гамма-каротажа записывается непрерывная кривая, или диаграмма, интенсивности гамма-излучения ( $\Gamma$ ). Величина измеряется в импульсах за минуту или в микрорентгенах в час (гаммах). Поскольку распад ядер является случайным процессом, то интенсивность гамма-излучения колеблется около среднего уровня, испытывая статистические флуктуации. Для их учета применяются повторные записи с меньшей скоростью проведения наблюдений. Так как гамма-лучи почти полностью поглощаются слоем породы толщиной 1 - 2 м, а до 30 % ядерной энергии не пропускается обсадными трубами, то скважинный радиометр может фиксировать гамма-излучение пород, расположенных в радиусе, не превышающем 0,5 м от оси скважины. Увеличение диаметра скважины и наличие воды или бурового раствора в ней еще больше снижают радиус обследования.

На диаграммах гамма-каротажа выявляются пласты с разной степенью радиоактивности. Максимумами выделяются породы и руды, содержащие уран, радий, торий, калий-40 и другие радиоактивные элементы, а также граниты, глины; минимумами - песчаные и карбонатные породы.

Спектрометрия естественного гамма-излучения, т.е. определение энергии гамма-лучей, служит для выделения в разрезах скважин пород и руд, содержащих определенные элементы, например, калий, торий, уран, фосфор и др.

Методы скважинных исследований с искусственным облучением горных пород.

1. В искусственных скважинных методах ядерных исследований изучаются явления поглощения, замедления, рассеяния гамма-лучей и нейтронов, а также вызванное, вторичное радиоактивное излучение. Эти методы являются ядерно-физическими. Для этого в скважину опускается глубинный зонд с источником гамма-лучей или нейтронов, облучающий горные породы. В этой же скважине за экраном (свинец для гамма-лучей или парафин для нейтронов), препятствующим прямому воздействию облучений, помещается регистратор гамма-лучей или нейтронов (рис. 7.2). В настоящее время широко используются несколько методов искусственных ядерных исследований в скважинах. Рассмотрим некоторые из них.

2. При гамма-гамма-каротаже (ГГК), или гамма-гамма-методе (ГГМ), измеряется рассеянное гамма-излучение, являющееся следствием облучения пород источником гамма-лучей, например, радиоактивным кобальтом, сурьмой. При взаимодействии гамма-квантов с атомами горной породы происходит ряд сложных процессов, среди которых основные - фотоэлектрическое поглощение гамма-квантов атомами вещества, комптон-эффект и др. Чем больше плотность породы, тем больше поглощение и меньше интенсивность рассеянного излучения. И наоборот, против пористых пород с малой плотностью наблюдаются максимумы на диаграммах гамма-гамма-каротажа. Поэтому основная область применения этого метода - расчленение пород по их плотности. Радиус обследуемых пород равен 10 - 15 см от оси скважины. Получаемая по данным ГГК средняя объемная плотность пород может служить для расчета их пористости и оценки коллекторских свойств.

3. В нейтронных методах каротажа изучаются ядерные процессы, происходящие при облучении пород быстрыми нейтронами. Если порода содержит большое количество ядер водорода (вода, нефть, газ), то быстрые нейтроны превращаются в тепловые после небольших путей пробега (до 30 см) или вблизи источника. На больших расстояниях (свыше 40 см) плотность тепловых нейтронов будет меньшей. Поскольку тепловые нейтроны подвержены радиационному захвату с сопровождающим его вторичным гамма-излучением, то с ростом тепловых нейтронов растет вторичное гамма-излучение, а там, где тепловых нейтронов мало, гамма-излучение будет слабым.

Таким образом, на больших расстояниях от источника (40 - 60 см), т.е. на зондах большой длины, в породах, содержащих тяжелые элементы, плотность тепловых нейтронов и вторичное гамма-излучение будут выше, чем в водородсодержащих породах. Радиус обследуемых нейтронными методами пород меняется от 20 до 60 см.

При нейтрон-нейтронном каротаже (ННК), или нейтрон-нейтронном методе (ННМ), измеряется плотность тепловых нейтронов или их интенсивность. При нейтронном гамма-каротаже (НГК), или нейтрон-гамма методе (НГМ), измеряется интенсивность вторичного гамма-излучения, возникающего при радиационном захвате тепловых нейтронов ядрами элементов горной породы. Наблюдения в методах ННК и НГК проводятся с зондами большого размера (40 - 60 см от источника нейтронов).

Нейтронные методы каротажа (ННК и НГК) применяются для расчленения геологических разрезов и особенно для выявления водород- и хлорсодержащих пород, а также оценки их пористости.

4. Среди искусственных методов ядерного каротажа на месторождениях твердых полезных ископаемых одним из наиболее перспективных является рентгенорадиометрический каротаж (РРК). В этом методе породы облучаются каким-нибудь радиоизотопным источником (например, селен-75, кобальт-57, железо-55 и др.). В результате облучения ядра рудных элементов возбуждаются, что сопровождается так называемым характеристическим рентгеновским излучением, энергетический спектр которого различен у разных элементов. Изучая спектры этого излучения или отношения интенсивностей в разных интервалах спектров, можно выделить в разрезах скважин руды, содержащие определенные элементы. Рентгенорадиометрический метод можно использовать для выявления вольфрама, молибдена, меди, свинца, олова, ртути, сурьмы и многих других элементов. Этот метод позволяет не только выделить рудные зоны, но и дать оценку процентного содержания в них рудных элементов.

### Урок 13 Нейтронные методы каротажа (НГК, ННК). Другие методы радиоактивного каротажа

#### План

1. Физические основы нейтронного каротажа (НК)
2. Нейтронный гамма каротаж (НГК)
3. Нейтрон-нейтронный каротаж по тепловым нейтронам
4. Нейтрон-нейтронный каротаж по надтепловым нейтронам
5. Назначение и цели данных методов. Аппаратура и методика исследования.  
Область применения и решаемые геологические задачи

1. Методы нейтронного каротажа с использованием стационарных источников нейтронов

Методы стационарного нейтронного поля появились раньше импульсных нейтронных методов и включают в себя такие виды каротажа, как НТК, ННК-Т, ННК-НТ, метод нейтронной активации и некоторые др.

2. Нейтронный гамма-каротаж (НГК)

Метод НГК является одним из ведущих методов исследования скважин нефтяных и газовых месторождений. В комплексе с другими методами нейтронный гамма-каротаж применяется для литологического расчленения разрезов скважин, выделения коллекторов, оценки пористости, отбивки водонефтяного и газонефтяного контактов и т.п.

#### **Физические основы метода**

**В** нейтронном гамма-каротаже измеряется искусственно вызванное гамма-излучение горных пород. Для возбуждения этого излучения стенки скважины бомбардируют нейтронами.



Скважинный снаряд НГК включает в себя источник нейтронов и детектор гамма-излучения (рис. 13.3).

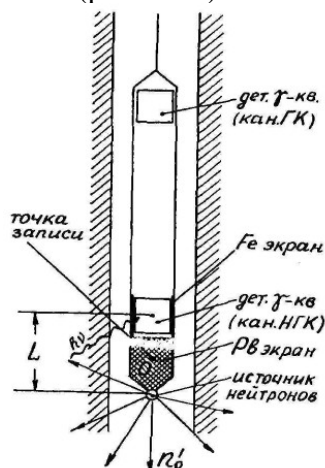


Рис. 13.3. Устройство зонда нейтронного гамма-каротажа

Расстояние между центрами источника и детектора составляет длину зонда  $L$ . Точка записи располагается на середине расстояния между ними. В качестве источников нейтронов в России применяют обычно ампулы, заполненные смесью порошкообразного бериллия и какой-либо соли полония. Под воздействием  $\alpha$ -частиц, испускаемых ядрами полония, происходит реакция.

$Po-Be$  источник дает около  $2 \cdot 10^6$  нейтронов в секунду на 1 г полония и примерно столько же гамма-квантов. Большая часть нейтронов - быстрые, с энергиями от 3,5 до 6 МэВ.

Поскольку нейтроны не имеют электрического заряда, проникающая способность их очень велика. Сталкиваясь с ядрами атомов горных пород, нейтроны теряют часть своей энергии, замедляются. При этом большая часть кинетической энергии теряется при соударении с ядрами легких атомов, главным образом, водорода. После примерно 25 соударений с ядрами водорода нейтроны замедляются до "тепловых" энергий (около 0,025 эВ) и диффундируют через породы, пока не будут захвачены. Тепловые нейтроны могут захватываться ядрами всех элементов, кроме  $He$ . Низкие сечения захвата тепловых нейтронов имеют  $O$  и  $C$ . Акт захвата теплового нейтрона сопровождается испусканием  $\gamma$ -квантов, которые образуют так называемое  $\gamma$ -излучение радиационного захвата (ГИРЗ). Часть этих  $\gamma$ -квантов фиксируется детектором в скважинном снаряде НГК.

Для ослабления фонового гамма-излучения источника  $I_{\phi}$  между источником и детектором располагают мощный свинцовый экран (см. рис. 13.3). Для поглощения мягкого рассеянного излучения  $I_{\gamma}$  детектор излучения помещают в стальную гильзу. Выделенная таким образом составляющая  $I_{\gamma}$ , зависит, в основном, от содержания водорода в исследуемой среде. Когда скважинный снаряд проходит через формации с высоким содержанием водорода (в составе воды или нефти и газа), уровень наведенного гамма-излучения будет низким, т.к. большинство нейтронов будет замедлено и поглощено в непосредственной близости от источника и только некоторые из гамма-квантов смогут достичь детектора и будут зарегистрированы.

Если породы содержат мало водорода или не содержат вообще, нейтроны успевают распространиться далеко от источника прежде, чем они будут замедлены и захвачены. При длине зонда 0,6 м и выше большая часть нейтронов будет поглощена где-то вблизи детектора гамма-излучения, и на диаграммах НГК будет наблюдаться высокий уровень интенсивности ГИРЗ.

Таким образом, метод НГК является индикатором количества водорода (воды и нефти) в горных породах. А так как жидкость содержится в основном в порах пород, то НГК дает возможность оценивать пористость пород.

### 3. Нейтрон-нейтронный каротаж по тепловым нейтронам

Нейтрон-нейтронный каротаж по тепловым нейтронам (ННК-Т) заключается в измерении плотности потока тепловых нейтронов, образующихся в результате замедления в горных породах быстрых нейтронов от стационарного источника.

При постоянной длине зонда плотность потока тепловых нейтронов ( $E_{nm} = 0,025$  эВ) зависит от замедляющих и поглощающих свойств среды, т.е. от водородосодержания и наличия элементов с высоким сечением захвата тепловых нейтронов. Таким образом, ННК-Т дает такие же результаты, как и метод НГК.

При работе с большими зондами, чем больше в среде содержание водорода, тем меньше  $I_{nm}$ . С повышением содержания нейтронопоглощающих элементов ( $TR, Cd, B, Hg, Mn, Cl$ )  $I_{nm}$  падает при любой длине зонда.

В качестве детекторов тепловых нейтронов используют пропорциональные газоразрядные счетчики или сцинтилляторы  $ZnS$ , активированные  $Cu$  или  $Ag$ .

При исследовании нефтяных и газовых скважин используют зонды ННК-Т длиной 30-50 см.

Учет скважинных условий и количественная интерпретация производится по аналогии с НГК.

При исследовании нефтяных и газовых скважин хорошие результаты дает *многозондовый нейтрон-нейтронный каротаж* (МННК). В скважинном приборе МННК измерение нейтронного потока производят с помощью двух или нескольких детекторов, расположенных на разном расстоянии от источника

Длина малого зонда составляет 30-40 см, а большого - 60-70 см.

### 4. Нейтрон-нейтронный каротаж по надтепловым нейтронам

Нейтрон-нейтронный каротаж по надтепловым нейтронам (ННК-НТ) заключается в измерении плотности потока надтепловых нейтронов, образующихся в результате замедления в горных породах быстрых нейтронов от стационарного источника.

Надтепловыми считаются нейтроны с энергией от 100 эВ до 20 кэВ. Плотность потока надтепловых нейтронов определяется, главным образом, замедляющими свойствами среды, т.е. ее водородосодержанием, и практически не зависит от ее поглощающих свойств (от содержания элементов с большим сечением захвата тепловых нейтронов). В этом заключается преимущество ННК-НТ перед ННК-Т и НТК.

Детекторами надтепловых нейтронов служат бор-фтористые газоразрядные и сцинтилляционные счетчики тепловых нейтронов ЛДН, окруженные парафин-борным фильтром.

Поскольку в среде, где размещается детектор, существуют и надтепловые, и тепловые нейтроны, бор, содержащийся в фильтре, поглощает тепловые нейтроны, поступающие на счетчик, а парафин, в котором содержится много водорода, замедляет надтепловые до тепловых энергий, которые затем попадают на счетчик и регистрируются им.

Для нейтрон-нейтронного каротажа характерна небольшая глубинность исследования, которая в зависимости от свойств пород и их водородосодержания составляет от 20 до 30 см (уменьшаясь с ростом водородосодержания). Наименьшая глубинность характерна для ННК-НТ, т.к. область распространения надтепловых нейтронов меньше, чем тепловых.

#### Контрольные вопросы

1. По какому свойству горных пород дифференцирует разрез НГК?
2. Почему результаты НГК зависят от водородосодержания породы?
3. Какова глубинность нейтронных методов каротажа?

## Урок 14 Акустический, магнитный, ядерно-магнитный каротаж и скважинная магниторазведка

### План

1. Сущность метода АК.
2. Магнитный каротаж.
3. Ядерно-магнитный каротаж.
- 4.

1. Акустические методы.

При акустическом каротаже возбуждение упругих колебаний частотой 10 - 20 кГц и 20 кГц - 2 МГц производится с помощью магнитострикционных (или иных) излучателей. Упругие колебания измеряют с помощью двух пьезоэлектрических сейсмоприемников, расположенных по одной линии на расстояниях 0,5 - 2 м друг от друга и от излучателя (рис. 7.6). Между излучателем и ближайшим приемником устанавливается звукоизолятор, например, из резины, препятствующий передаче упругих колебаний по зонду. Все перечисленные приборы вместе с электронным усилителем принятых колебаний размещаются в скважинном снаряде акустического каротажа. Остальная аппаратура располагается в каротажной станции.

Акустический каротаж выполняется как в необсаженных скважинах, заполненных жидкостью, так и в обсаженных скважинах. Радиус исследования пород от оси скважины не превышает 0,5 - 1 м.

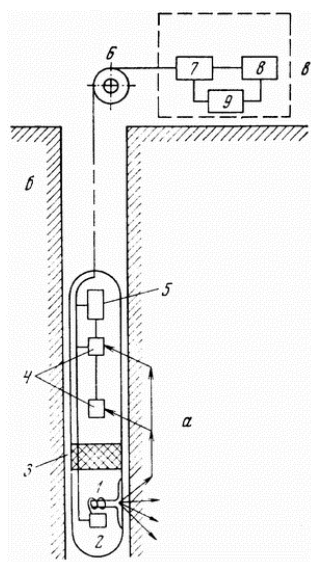


Рис. 7.6. Схема аппаратуры акустического каротажа: а - скважинный снаряд; б - кабель; в - наземная аппаратура; 1 - излучатель; 2 - генератор импульса; 3 - акустический изолятор; 4 - приемники; 5 - электронный усилитель; 6 - блок-баланс; 7 - усилитель; 8 - регистратор; 9 - блок питания

Наиболее простой способ акустических исследований - каротаж скорости, когда автоматически регистрируется кривая изменения времени пробега прямой или головной волны между двумя приемниками. Поскольку расстояние между приемниками постоянно, то кривая времени является фактически обратным графиком изменения скорости. При каротаже по затуханию измеряется амплитуда упругой волны и ослабление сигнала между двумя приемниками.

Скорость распространения упругих волн зависит от упругих модулей пород, их литологического состава, плотности и пористости, а величина затухания - от характера заполнителя пор, текстуры и структуры породы (рис. 7.7). На акустических диаграммах высокими значениями скоростей распространения упругих волн выделяются плотные породы - магматические, метаморфические, скальные, осадочные. В рыхлых песках и песчаниках скорость тем ниже, чем больше пористость. Наибольшее затухание (наименьшая амплитуда сигнала) наблюдается в породах, заполненных газом, меньше затухание в породах нефтенасыщенных, еще меньше - у водонасыщенных.

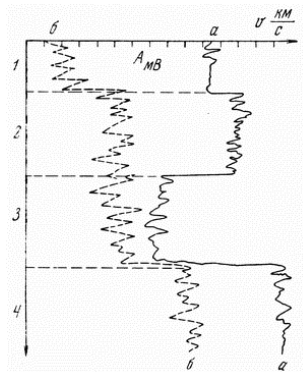


Рис. 7.7. Общий вид диаграммы скорости (а) и амплитуды (б) при акустическом каротаже: 1 - породы средней пористости, сухие; 2 - породы средней пористости, влажные; 3 - породы высокой пористости; 4 - породы низкой пористости, плотные

Акустический метод применяется для расчленения разрезов скважин по плотности, пористости, коллекторским свойствам, а также для выявления границ газ - нефть, нефть - вода и определения состава насыщающего породы флюида. Кроме того, по данным этого метода можно судить о техническом состоянии скважин и, в частности, о качестве цементации обсадных колонн.

2. В магнитном скважинном методе (магнитном каротаже) изучается либо магнитная восприимчивость пород, окружающих ствол скважины, либо изменения вертикальной составляющей геомагнитного поля (см. 4.2) с помощью скважинных магнитометров. По магнитограммам можно судить о местоположении и мощности слоев с повышенными магнитными свойствами. Магнитный каротаж применяется при изучении разрезов скважин, для выявления железных, полиметаллических руд с вкрапленностью ферромагнитных минералов, а также выделения пластов песчаников, кварцитов, изверженных пород. Ценное преимущество этого метода - возможность выявления высокомагнитных руд, расположенных в стороне (от 1 до 30 м) от скважины.
3. К магнитному близок метод ядерно-магнитного каротажа (ЯМК), в котором изучается свободная прецессия протонов жидкости, окружающей ствол скважины. Этот метод может применяться для изучения коллекторских свойств пород и их водонасыщенности.

#### Контрольные вопросы

1. Сущность акустического каротажа.
2. Физическая сущность, элементы каротажа магнитной восприимчивости.
3. Физическая сущность ядерно-магнитного каротажа.

## Урок 15 Комплекс геохимических исследований, температурные измерения в скважинах, геолого-технологическое обслуживание скважин в процессе бурения

### План

1. Физико–химические основы газометрии скважин. Комплексные геофизические исследования скважин в процессе бурения.
2. Аппаратура и методика проведения газометрии.
3. Термометрия

#### 1. Газовый или геохимический каротаж

Газовый каротаж предназначен для своевременного выявления нефтеносных и газоносных пластов, к которым подходит забой скважины во время ее бурения. Этот метод был разработан в СССР в 1933-34 г.г., несколько позднее он появился в США под названием mud logging (mud -грязь).

#### Физические основы метода

В горных породах, даже залегающих на очень большой глубине, всегда содержится небольшое количество газов, которые могут находиться в них в свободном, сорбированном или растворенном состоянии. Это азот, гелий, углекислый газ, углеводородные газы. Последние распространены в горных породах нефтяных, газовых и угольных месторождений. Для газовых месторождений характерно преобладание метана (СН<sub>4</sub>) доля которого составляет более 93%; в газах нефтяных месторождений преобладают тяжелые углеводороды: этан (С<sub>2</sub>Н<sub>6</sub>), пропан (С<sub>3</sub>Н<sub>8</sub>), бутан (С<sub>4</sub>Н<sub>10</sub>), пентан (С<sub>5</sub>Н<sub>12</sub>) и гексан (С<sub>6</sub>Н<sub>14</sub>), доля метана составляет менее 48% (см. табл. 17.1).

Газ	Вид залежи		
	Газовая	Газоконденсатная	Нефтяная
Метан СН <sub>4</sub>	93,5	82	48
Этан С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub>	3,0	4,5	3
Пропан	2,0	3,5	2
Бутан	1,0	4,3	2
Пентан	-	1	2
Гексан	-	1	2
Гептан С <sub>7</sub> Н <sub>16</sub>	-	3,0	40

Таблица

#### 17.1. Состав углеводородных газов на месторождениях углеводородного сырья

При высоких температурах сама нефть может находиться в газообразном состоянии (газоконденсат). На больших глубинах при высоком давлении в 1 м<sup>3</sup> нефти может содержаться до 200 м<sup>3</sup> природного газа, приведенного к нормальным условиям.

При вскрытии скважиной газоносного или нефтеносного пласта горная порода подвергается разрушению, а газ, содержащийся в ней, выделяется в буровой раствор и увлекается им на поверхность. Дегазируя раствор на поверхности и изучая количество и состав газов в нем, можно непрерывно определять содержание углеводородных газов в горных породах. В этом и заключается газовый каротаж.

Вместе с буровым раствором с забоя скважины извлекается и выносится на поверхность измельченная горная порода - шлам. В шламе горных пород нефтяных месторождений содержатся частицы битуминозных веществ, способных люминесцировать в ультрафиолетовых лучах. На изучении люминесценции битумов в

шламе и буровом растворе основан люминесцентно-битуминологический анализ (ЛБА), который выполняется одновременно с газовым каротажем. ЛБА позволяет с высокой точностью определять малые (до 0,01-0,005%) содержания нефти, а в некоторых случаях по цвету свечения распознавать качество нефти: для легкой, маслянистой нефти характерны светлые тона, для тяжелой, густой — темные.

## 2. Аппаратура и регистрируемые параметры

Аппаратура для газового каротажа и ЛБА называется автоматическими газокаротажными станциями (АГКС).

Рассмотрим схему газозвудушных линий современной газокаротажной станции (рис. 17.2).

На пути бурового раствора, вытекающего из устья скважины в отстойник, устанавливают дегазатор, в котором углеводородные газы (УВГ) выделяются из бурового раствора и, смешиваясь с атмосферным воздухом, образуют газозвудушную смесь (ГВС). Из дегазатора ГВС проходит через отстойник, где оседают капельки жидкости; реометр, который измеряет скорость движения ГВС; увлажнитель, придающий ей постоянную влажность, и нагреватель, служащий для поддержания постоянной температуры смеси, и поступает на катарометр для измерения содержания в ней УВГ.

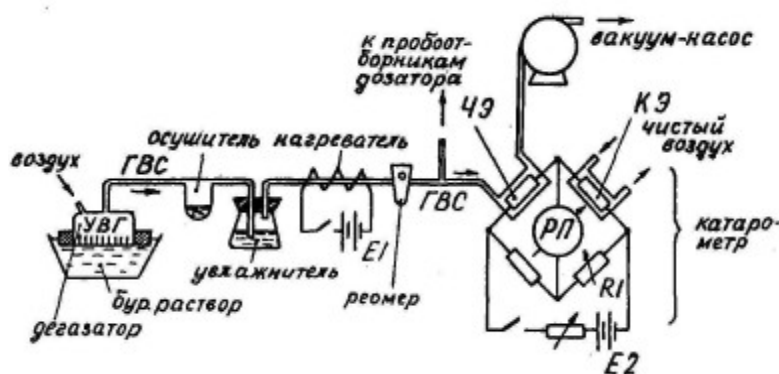


Рис. 17.2. Схема газозвудушных линий автоматической газокаротажной станции

## 3. Термический метод.

При термическом (или геотермическом) каротаже вдоль ствола скважины непрерывно регистрируется температура среды. Для термических исследований чаще всего применяют электрические термометры (или термометры сопротивлений) разных марок и регистрирующее устройство обычной каротажной станции.

На температуры в скважинах искажающее влияние могут оказывать разные причины: изменение диаметра скважины, потоки воздуха или буровой жидкости, нагрев породы после бурения и др. Эти факторы необходимо учитывать или исключать при выявлении температурных аномалий.

Термический каротаж подразделяется на методы естественных (МЕТ) и искусственных (МИТ) тепловых полей. Кривая изменения естественных температур пород в скважине (рис. 1, а) и рассчитанный по ней геотермический градиент каждого  $i$ -го пласта  $\Gamma_i = \Delta T_i / \Delta H_i = q_i / \lambda_i$  зависят от теплового потока и теплопроводности слагающих пород. В случае горизонтального залегания пород тепловой поток по стволу скважины остается практически постоянным, и по графику геотермического градиента легко выделить породы с разной теплопроводностью.

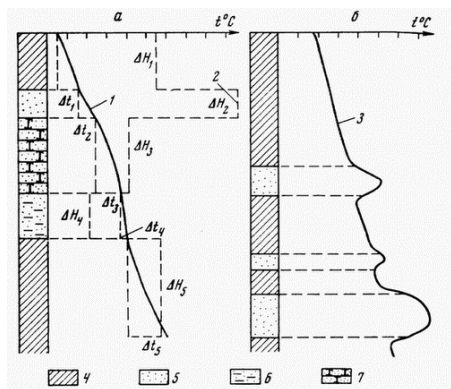


Рис. 1. Общий вид скважинных термограмм тепловых полей, естественного (а) и искусственного (б) при температуре бурового раствора, меньшей температуры породы: 1, 3 - термограммы; 2 - график геотермического градиента; 4 - глины; 5 - пески сухие; 6 - пески влажные; 7 - песчаники

При изучении искусственных тепловых полей буровая жидкость или вода в скважине подогревается или охлаждается. Периодически измеряют температуру по стволу скважины до установления нормальных температур. В результате выявляются аномалии (рис. 1, б).

Термические исследования применяют для изучения тепловых потоков в земной коре, изучения границ распространения мерзлых пород, выявления в разрезах скважин газо-, нефте- и водоносных пород, углей, различных руд, определения мест притоков газа, нефти, подземных вод, оценки скоростей фильтрации подземных вод и решения ряда других задач. Методы искусственного теплового поля применяют в основном для изучения пористости пород и их фильтрационных свойств.

Контрольные вопросы

1. Сущность геохимических методов исследования скважин.
2. Поступление нефти и газа в промывочную жидкость, дегазация её на поверхности скважины.

## Урок 16 практика

### **Практическое занятие № 5.**

Знакомство с газокаротажной станцией, скважинными термометрами, наклономером пластовым, аппаратурой комплексного геолого-технического обслуживания скважин. Расчет параметров бурения скважин.

#### **Аппаратура и регистрируемые параметры**

Аппаратура для газового каротажа и ЛБА называется автоматическими газокаротажными станциями (АГКС).

Рассмотрим схему газовоздушных линий современной газокаротажной станции (рис. 17.2).

На пути бурового раствора, вытекающего из устья скважины в отстойник, устанавливают дегазатор, в котором углеводородные газы (УВГ) выделяются из бурового раствора и, смешиваясь с атмосферным воздухом, образуют газозвдушную смесь (ГВС). Из дегазатора ГВС проходит через отстойник, где оседают капельки жидкости; реометр, который измеряет скорость движения ГВС; увлажнитель, придающий ей постоянную влажность, и нагреватель, служащий для поддержания постоянной температуры смеси, и поступает на катарометр для измерения содержания в ней УВГ.

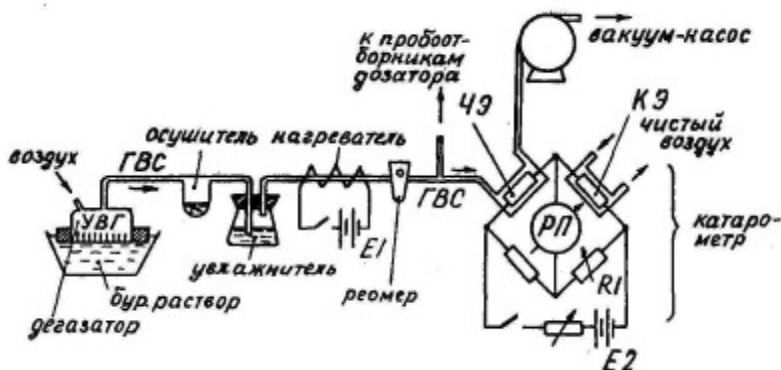


Рис. 17.2. Схема газозвдушных линий автоматической газокоротажной станции

Катарометр представляет собой мост сопротивлений, два плеча которого выполнены в виде тонкой платиновой проволоочки, нагреваемой током от источника E2 до температуры 850 °С. Одна такая проволоочка помещена в измерительную камеру, через которую прокачивается исследуемая ГВС, и образует так называемый чувствительный элемент ЧЭ. Другая, совершенно идентичная проволоочка, образует компенсирующий элемент КЭ, она помещена в такую же камеру, как измерительная, но через нее прокачивается чистый воздух с той же скоростью, что и УВГ через измерительную камеру. Служит КЭ для учета охлаждающего действия движущегося газа на чувствительный элемент. При температуре 850 °С мост сопротивлений уравнивается с помощью реостата R1, и регистрирующий прибор РП дает нулевые показания.

При наличии в ГВС, проходящей через измерительную камеру, УВГ они сгорают, выделяющееся тепло повышает температуру ЧЭ, его сопротивление увеличивается, баланс измерительной схемы нарушается и регистрирующий прибор дает показания, характеризующие суммарное содержание углеводородных газов (и легких, и тяжелых вместе) в газозвдушной смеси -  $G_{\text{сум}} \%$ . Эти показания непрерывно фиксируются на диаграммной ленте самописца, которая протягивается синхронно с углублением скважины.

Для градуировки катарометра через него пропускают газозвдушные смеси с известным содержанием УВГ. Чувствительность газоанализатора по метану составляет 0,1%, а диапазон измерений его - от 0 до 10 %.

После катарометра ГВС проходит через вакуумметр и вакуумным насосом выбрасывается в атмосферу.

Перед катарометром отдельные порции ГВС могут быть отобраны с помощью отводной линии для последующего покомпонентного анализа, позволяющего определить содержание в ГВС каждого из УВГ - от метана до гексана. Эти пробы отбираются по заданной программе (например, через 1 м проходки скважины) или по команде оператора в специальный пробоотборник емкостью около 200 см<sup>3</sup>. Пробоотборник представляет собой стеклянный стакан, в котором помещен баллон из полиамидной пленки. От баллона отходит трубка, через которую проба газа поступает в него из схемы газозвдушных линий станции или отбирается из него на анализ, а в пробке стакана имеется трубка, которую подключают либо к вакуум-наосу, либо к компрессору (рис. 17.3).

При отборе пробы трубку подключают к вакуум-наосу, полиамидный мешок раздувается и засасывает пробу ГВС, при подключении трубки к компрессору в стакан закачивается воздух, который выдавливает пробу из мешка для анализа.



## Контрольные вопросы

1. Каков состав углеводородных газов на нефтяных и газовых месторождениях?
2. Поясните схему газоздушных линий газокаротажной станции.

## Урок 17 Кавернометрия, профилиметрия

### Тема **Кавернометрия и профилиметрия.**

#### **План**

1. Сущность и назначение метода кавернометрии
2. Профилиметрия. Типы каверномеров и профилемеров и принцип их действия. Градуирование каверномеров и профилемеров. Проведение измерений: каверномерами и профилемерами. Область применения и решаемые задачи.

Этот раздел ГИС включает методы исследования технического состояния самих скважин и выполнение ряда работ (операций) в них.

#### **1. Кавернометрия**

Кавернометрия (КМ) заключается в измерении среднего диаметра буровой скважины.

Дело в том, что фактический диаметр скважины не всегда определяется диаметром бурового наконечника (долота). Так, на хрупких породах (ископаемых углях, например), в зонах дробления диаметр скважин увеличивается по сравнению с номинальным  $dH$ ; из-за выкрашивания и вывалов пород в скважине образуются каверны. Каверны образуются и в глинистых пластах из-за размывания глин в процессе бурения. Уменьшение диаметра по сравнению с номинальным наблюдается обычно против пластов-коллекторов. Благодаря хорошей проницаемости в них залавливаются буровой раствор. Из-за малого диаметра пор в пласт проникает только фильтрат (жидкая основа) бурового раствора, а глина оседает на стенках скважины, образуя глинистую корку, которая уменьшает диаметр скважины.

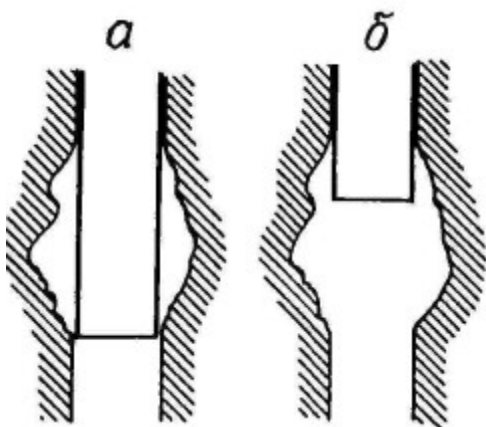


Рис. 18.1. Пример правильной (а) и неправильной (б) установки обсадной трубы в скважине

Знание диаметра скважины необходимо для решения как технических, так и геологических задач. Так, например, знать диаметр скважины нужно для того, чтобы правильно установить обсадную трубу в скважине (см. рис. 18.1), рассчитать объем цемента, необходимого для закрепления обсадных колонн, правильно выбрать скважинные приборы для каротажа.

Знание диаметра скважины необходимо при количественной интерпретации результатов таких методов, как КС, БКЗ, БК, ИК, ГК, НГК и др., а также для литологического расчленения разреза (рис. 18.2).

## 2. Профилеметрия

Профилеметрия - это измерение сразу нескольких диаметров в одном поперечном сечении скважины. Необходимость в таких измерениях возникает потому, что скважины не всегда имеют сечение круговой формы. На глинах, алевролитах и др. непрочных породах часто образуются так называемые "желоба" со стороны висячего бока наклонной скважины - трубы бурового набора, имеющие диаметр меньший, чем буровой наконечник, прodelывают углубление в стенке скважины - желоб. Такие же углубления может образовывать и каротажный кабель при подъеме скважинного прибора (рис. 18.5).

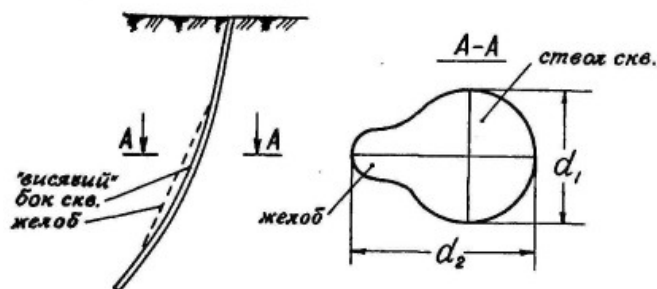


Рис. 18.5. Образование желоба в висячем боку наклонной буровой скважины

Эти желоба создают опасность "прихвата" бурового снаряда или скважинного прибора при их подъеме. Возможно также изменение сечения обсаженной скважины из-за неравномерного действия горного давления и сжатия обсадных труб.

При профилеметрии обычно измеряют 2 взаимно перпендикулярных диаметра с помощью 2 пар рычагов, каждый из которых управляет своим реостатным (или индуктивным) преобразователем, вырабатывающим электрический сигнал, пропорциональный отклонению рычагов от корпуса СП.

Контрольные вопросы

1. Почему каверномер измеряет средний диаметр скважины?
2. Для чего нужно знать средний диаметр скважины?
3. На каких породах фактический диаметр больше номинального? На каких меньше? На каких породах они равны?
4. Для чего нужна профилеметрия скважин?

## Урок 18 практика

### Практическое занятие № 6.

Эталонирование инклинометров. Градуирование каверномеров. Представление результатов измерений.

Наибольшим распространением пользуются электроинклинометры с датчиком азимутального угла в виде буссоли с магнитной стрелкой.

Упрощенная электрическая схема такого инклинометра приведена на рис. 18.8,

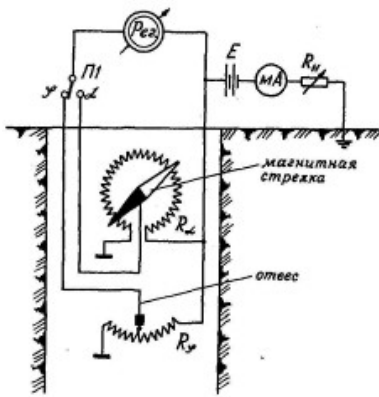


Рис. 18.8. Упрощенная электрическая схема скважинного инклинометра

Датчик азимутального угла представляет собой буссоль с магнитной стрелкой.

Вместо лимба с отсчетами в ней имеется кольцевой реостат (реохорд)  $R_{\varphi}$ , а магнитная стрелка снабжена контактом, скользящим по этому реостату.

Датчик зенитного угла - это отвес, положение которого преобразуется в электрический сигнал с помощью аналогичного реохорда

Оба датчика размещены в поворотной рамке, снабженной осью, совпадающей с продольной осью СП, и эксцентричным грузиком. Под действием грузика рамка устанавливается так, что плоскость качания отвеса совпадает с апсидальной плоскостью скважины, плоскость буссоли располагается горизонтально благодаря горизонтальной оси, закрепленной в поворотной рамке, и собственному грузику буссоли.

Начало реохорда азимутального угла совмещено с плоскостью качания отвеса и смотрит в сторону направления нижнего конца прибора.

При измерениях, которые выполняют поточечно, контакты магнитной стрелки и отвеса прижимают с помощью специального арретирного устройства к соответствующим реохордам и поочередно (в зависимости от положения переключателя Ш) измеряют величину сопротивления между началом каждого из реохордов и его подвижным контактом. Величина этих сопротивлений характеризует, соответственно, азимутальный и зенитный углы.

Измерения углов искривления проводят через 20, 50 или 100 м в зависимости от глубины скважины.

Кроме электроинклинометров, есть еще так называемые одноразовые инклинометры. Эти инклинометры также имеют буссоль и отвес, но их положение просто фиксируется в приборе с помощью часового механизма и определяется визуально после извлечения прибора из скважины. Одноразовые инклинометры свободно опускают в устье скважины и через некоторое время извлекают с помощью бурового инструмента. Измерения производятся силами буровой бригады без привлечения геофизической службы.

Инклинометры с магнитной стрелкой не пригодны для измерений в обсаженных скважинах или скважинах, пересекающих магнитные руды.

В таких случаях используют гироскопические инклинометры. В этих приборах датчиком азимута служит раскрученный гиромотор - гироскоп, уравновешенный в карданном подвесе. Уравновешенный, т.е. подвешенный за центр тяжести, гироскоп обладает свойством сохранять постоянной ориентировку оси своего вращения. Как магнитная стрелка смотрит северным концом на северный полюс, так и уравновешенный гироскоп, как его ни поворачивай, направляет свою ось туда, куда она смотрела при его раскручивании.

Зенитный угол в гироскопическом инклинометре измеряется с помощью такого же отвеса, как и в других инклинометрах.

Абсолютная погрешность описанных инклинометров по азимутальному углу составляет  $\pm 4-5^\circ$ , а по зенитному -  $\pm 0,5^\circ$ .

Точность измерения зенитного угла может быть повышена при использовании датчика, предложенного автором совместно с проф. А.В. Давыдовым. Конструкция датчика приведена на рис. 18.9. Он состоит из цилиндрической измерительной камеры, в которую залита жидкость с высокими отражающими свойствами, например, ртуть. Выше на оси прибора находится источник света и кольцевой фотоприемник. При вертикальном положении датчика на фотоприемник попадает наибольшее количество света, и он вырабатывает максимальный сигнал.

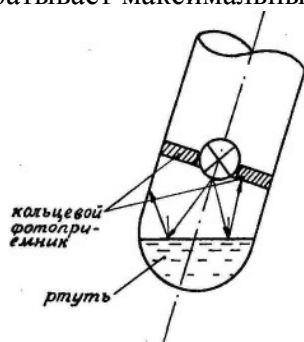


Рис. 18.9. Жидкостный датчик угла наклона скважины, предложенный А.В. Давыдовым и И.Г. Сквородниковым

При отклонении датчика от вертикали часть отраженных лучей уходит за пределы фотоприемника, и его выходной сигнал уменьшается.

#### **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение зенитному и азимутальному углу скважины.
2. В чем заключаются недостатки скважинного электроинклинометра с магнитной стрелкой?
3. Почему такой инклинометр нельзя использовать в обсаженных скважинах?
4. В чем, на Ваш взгляд, заключается разница между гироскопическим инклинометром и гироскопом?

### **Урок 19 Инклинометрия**

#### **План**

1. Сущность и назначение метода инклинометрии
2. Типы инклинометров и принцип их действия. Градуирование инклинометров. Проведение измерений инклинометрами.

#### **1. Инклинометрия**

Инклинометрия - это измерение углов искривления буровой скважины.

Буровые скважины задают либо вертикальными, либо наклонными, исходя из геологических или технических соображений. Наклонные скважины приходится бурить при добыче нефти с морских платформ, с насыпных оснований в болотистых районах Западной Сибири, чтобы, не меняя положения буровой вышки, вскрыть нефтяную залежь в нескольких местах (рис. 18.7, б), наклонными бурят и дополнительные стволы, ответвляющиеся от основного. На рудных месторождениях наклонные скважины задают при разведке крутопадающих рудных тел (рис. 18.7, а). В процессе бурения скважины могут отклоняться от заданного направления - искривляться.

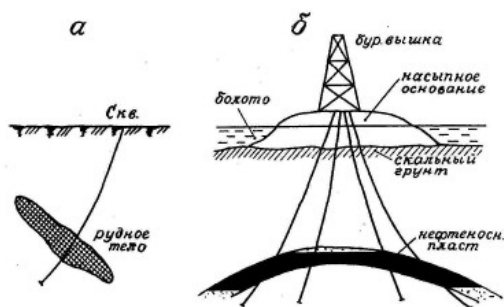


Рис. 18.7. Расположение наклонных скважин при разведке рудной (а) и нефтяной (б) залежи в Западной Сибири

Положение скважины в пространстве определяется ее глубиной и двумя угловыми параметрами - зенитным и азимутальным углами.

Зенитный угол - это угол между осью скважины и вертикалью.

Азимутальный угол - это угол между направлением на север и горизонтальной проекцией скважины.

Иногда прибегают к такому термину как угол наклона скважины - это угол, дополняющий зенитный до  $90^\circ$ .

- Знать углы искривления необходимо, чтобы правильно определить, в какой точке пространства скважина пересекает полезное ископаемое, на какой истинной глубине, чтобы по видимой мощности рассчитать истинную, т.е. чтобы не допустить ошибок при подсчете запасов. Приборы для измерения искривления скважин называются инклинометрами.

Наибольшим распространением пользуются электроинклинометры с датчиком азимутального угла в виде буссоли с магнитной стрелкой.

Упрощенная электрическая схема такого инклинометра приведена на рис. 18.8,

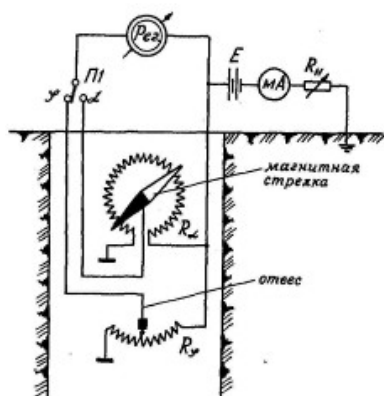


Рис. 18.8. Упрощенная электрическая схема скважинного инклинометра

Датчик азимутального угла представляет собой буссоль с магнитной стрелкой.

Вместо лимба с отсчетами в ней имеется кольцевой реостат (реохорд)  $R_\varphi$ , а магнитная стрелка снабжена контактом, скользящим по этому реостату.

Датчик зенитного угла - это отвес, положение которого преобразуется в электрический сигнал с помощью аналогичного реохорда

Оба датчика размещены в поворотной рамке, снабженной осью, совпадающей с продольной осью СП, и эксцентричным грузиком. Под действием грузика рамка устанавливается так, что плоскость качания отвеса совпадает с апсидальной плоскостью скважины, плоскость буссоли располагается горизонтально благодаря горизонтальной оси, закрепленной в поворотной рамке, и собственному грузику буссоли.

Начало реохорда азимутального угла совмещено с плоскостью качания отвеса и смотрит в сторону направления нижнего конца прибора.

При измерениях, которые выполняют поточечно, контакты магнитной стрелки и отвеса прижимают с помощью специального арретирного устройства к соответствующим реохордам и поочередно (в зависимости от положения переключателя Ш) измеряют величину сопротивления между началом каждого из реохордов и его подвижным контактом. Величина этих сопротивлений характеризует, соответственно, азимутальный и зенитный углы.

Измерения углов искривления проводят через 20, 50 или 100 м в зависимости от глубины скважины.

#### **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение зенитному и азимутальному углу скважины.
2. В чем заключаются недостатки скважинного электроинклинометра с магнитной стрелкой?
3. Почему такой инклинометр нельзя использовать в обсаженных скважинах?
4. В чем, на Ваш взгляд, заключается разница между гироскопическим инклинометром и гирокомпасом?

### **Урок 20 Контроль качества цементирования за трубного пространства скважины**

#### План

1. Цементометрия скважин
2. Метода радиоактивных изотопов
3. ГГК (гамма-гамма-толщинометрия колонн)
4. АКЦ

#### **1. Цементометрия скважин**

Цементометрия — это исследования, имеющие целью оценку качества цементирования обсадных колонн (ОК) в скважинах.

Эксплуатационные скважины на нефтяных и газовых месторождениях по окончании бурения обсаживают стальными колоннами, пространство между колонной и стенкой скважины заполняют цементом высоких марок и только после этого вскрывают продуктивные пласты с помощью перфораторов, чтобы открыть доступ нефти (или газа) из пласта в скважину (рис. 19.1).

Цементирование ОК необходимо для предотвращения затрубных перетоков подземных вод из ниже- и вышележащих пластов в продуктивные горизонты.

Качество цементирования характеризуется:

- высотой подъема цемента в затрубном пространстве;
- полнотой и равномерностью заполнения затрубного пространства цементом;
- степенью сцепления цементного камня (ЦК) с колонной и с породой.

Определение высоты подъема цемента в затрубном пространстве — эта операция называется еще "отбивкой цементного кольца" (ОЦК) —проще всего производится методом термометрии в течение 6-24 часов после заливки цемента (см. лекцию 15, рис. 15.15).

2. Определить высоту подъема цемента можно также с помощью метода радиоактивных изотопов. Для этого в цемент добавляют какой-либо искусственный радионуклид с небольшим периодом полураспада (например,  $I^{131}, T_{1/2} = 8$  дней), или размельченную урановую руду с

забалансовым содержанием U. Недостаток этого метода - необходимость соблюдения правил техники безопасности при работе с радиоактивными веществами. Зато

этот метод позволяет не только выполнить ОЦК, но и оценить полноту заполнения затрубного пространства цементным камнем, если детектор  $\gamma$ -излучения поместить во вращающийся экран с прорезью.

3. Изучение равномерности заполнения затрубного пространства цементным камнем успешно осуществляется методом ГГК. При этом используется различие в плотности цементного камня (1,8-2,0 г/см<sup>3</sup>) и жидкости (1,0-1,2 г/см<sup>3</sup>), заполняющей пустоты. Приборы для  $\gamma$ - $\gamma$ -цементометрии содержат несколько зондов ГПС, состоящих из источника  $^{60}\text{Co}$  ( $E_\gamma = 1,33\text{МэВ}$ ) или  $^{137}\text{Cs}$  ( $E_\gamma = 0,66\text{МэВ}$ ) и отделенного от него свинцовым экраном детектора рассеянного  $\gamma$ -излучения.

В аппаратуре ЦМТУ-1 таких зондов 3, и они расположены в одной плоскости под углом 120° друг к другу (рис. 19.2).

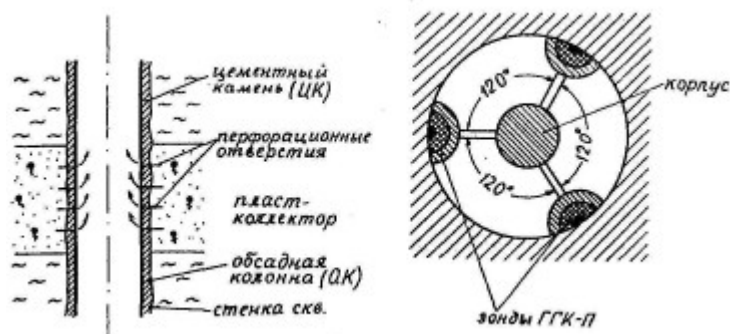


Рис. 19.1. Схема оборудования эксплуатационной скважины на нефтегазовом месторождении

Рис. 19.2. Расположение датчиков скважинного гамма-гамма-цементомера в поперечном сечении скважины

В цементометре ЦФ-4 их 4, расположенных под углом 90° друг к другу. Мощность источника около 50 мкКи, счетчики - газоразрядные. Каждый счетчик экранирован так, что на него попадает рассеянное  $\gamma$ -излучение только с той стороны, где он примыкает к колонне. Такие цементометры как бы осматривают скважину изнутри по 3 или 4 образующим. Интервалы, где цементный камень (ЦК) отсутствует или не полностью заполняет затрубное пространство, отмечаются как участки пониженной плотности. Одновременно решается задача ОЦК.

Однако  $\gamma$ - $\gamma$ -цементометрия не позволяет исследовать распределение цемента по всему периметру скважины в ее поперечном сечении.

4. Изучение степени сцепления цемента с колонной и с горной породой определяется только по данным акустической цементометрии (АКЦ). Если колонна труб не имеет сцепления с цементом, свободна, то упругие колебания, возбужденные в ОК, не передаются цементному камню, и упругая волна распространяется по колонне со скоростью 5200 м/с при относительно небольшом ослаблении.

В случае качественной заливки и при хорошем сцеплении, между колонной и цементом имеется акустический контакт, упругие колебания в колонне возбуждают такие же колебания в цементном камне, в связи с чем большая часть их энергии рассеивается на пути между источником и приемником. Приемник регистрирует значительное ослабление и быстрое затухание этих колебаний.

Амплитуда первого вступления  $A_p$  обычно меньше амплитуды последующих колебаний, поэтому в АКЦ регистрируется величина  $A_k$ , характеризующая амплитуду нескольких колебаний - выпрямленный сигнал 3 периодов волны в условных единицах - мВ, в виде непрерывной кривой.

Хорошее сцепление цемента со стенкой скважины проявляется повышенным временем  $T$  пробега волны со значительной амплитудой колебаний  $A_p$ , т.к. в этом случае большая часть энергии упругих колебаний распространяется по горной породе с

характерной для этой породы скоростью. Для большинства осадочных горных пород эта скорость меньше, чем скорость в стальных трубах (см. табл. 16.3). Исключение составляют только крепкие, кремнистые известняки, для которых  $V_p$  достигает 7000 м/с. Таким образом, совместное рассмотрение кривых  $A_k$  и  $T$  позволяет определить высоту подъема цемента в затрубном пространстве (ЗТП), полноту заполнения ЗТП цементом, качество сцепления цемента с колонной, а при благоприятных условиях - и с горной породой.

Акустические цементомеры, как правило, представляют собой двухэлементный акустический зонд с кольцевым магнестрикционным излучателем и кольцевым пьезоэлектрическим приемником. Длина зонда - около 2,5 м. Источник и приемник изолированы друг от друга акустически - резиновыми поглотителями колебаний. Источник вырабатывает пакеты ультразвуковых импульсов с частотой 25 кГц. Частота следования пакетов - 12,5 Гц. Сигналы с приемника усиливаются и передаются на поверхность, где обрабатываются и фиксируются в виде трех диаграмм:  $A_k$  - амплитуды волны, пришедшей по колонне,  $A_{,,}$  - амплитуды волны, пришедшей по породе и  $T$  - времени прихода волны с наибольшей амплитудой. Кроме того, предусмотрена возможность регистрации волновых картин с определенным шагом дискретизации.

В случае отсутствия цемента в затрубном пространстве (а) пришедшая первой волна по колонне имеет максимальную амплитуду. Этому случаю соответствуют высокие показания на кривой  $A_k$  и низкие -  $A_{,,}$  и  $T$ . В случае полного заполнения ЗТП и хорошего сцепления (б) волна, пришедшая по колонне, имеет малую амплитуду, пришедшая позднее волна по породе - большую. Этому случаю соответствует минимум на кривой  $A_k$  и повышенные показания  $A_{,,}$  и  $T$ . В случае неполного заполнения ЗТП (в) первой приходит волна по колонне,  $T$  минимально, на кривых  $A_k$  и  $A_{,,}$  - промежуточные показания.

Таким образом, АКЦ является наиболее универсальным и информативным методом оценки качества цементирования скважин.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какими параметрами характеризуется качество цементирования скважин?
2. Назовите геофизические методы, с помощью которых можно провести ОЦК.
3. Какие методы используются для определения полноты заполнения цемента затрубного пространства?
4. Какой из методов цементометрии является наиболее информативным?

### **Урок 21 Различные виды контроля технического состояния скважин**

План

1. Локатор муфт
2. Устройство локатора муфт
3. Определение положения соединительных муфт производится с помощью прибора, называемого локатором муфт (ЛМ).

Простейший локатор муфт (рис. 19.7) состоит из катушки индуктивности с большим количеством витков и 2-х постоянных стержневых магнитов, установленных по обе стороны от катушки одноименными полюсами навстречу друг другу. Оси катушки и магнитов совпадают. Магнитные силовые линии постоянных магнитов пронизывают катушку индуктивности и замыкаются через трубу. При движении локатора в трубе, имеющей постоянную толщину стенок, магнитные потоки обоих



магнитов одинаковы и компенсируют друг друга. Сигнал на выходе катушки индуктивности равен 0. При прохождении локатора мимо стальной соединительной муфты сначала усиливается магнитный поток верхнего магнита, затем - нижнего.

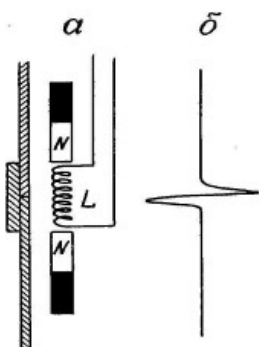


Рис. 19.7. Устройство простейшего локатора муфт (а) и вид диаграммы локатора (б)

Рис. 19.7. Устройство простейшего локатора муфт (а) и вид диаграммы локатора (б)

На выводах катушки появляется дипольный импульс напряжения (рис. 19.7, б), который и регистрируется на поверхности. Амплитуда сигнала достаточно велика, так что никаких усилителей здесь не требуется. Локатор реагирует и на некоторые повреждения ОК - трещины, перфорационные отверстия. Диаграммы ЛМ используют для точной привязки интервалов перфорации. Муфты служат реперами. Их положение увязывают с маркирующими горизонтами обычных каротажных диаграмм необсаженных скважин путем совместной записи диаграмм ГК и ЛМ. Затем глубину спуска перфораторов проверяют по муфтам колонны. Обычное расстояние между соединительными муфтами - около 10 м. Определение мест прихвата ОК осуществляют с помощью приборов, называемых прихватоопределителями. Эти приборы используют изменение магнитных свойств ОК, связанное с ее механическим напряжением. Как известно, выше прихвата напряжение меньше; (здесь трубы как бы опираются на породу), чем под ним. Прихватоопределители так же, как и локатор муфт, содержат катушку индуктивности и пару постоянных магнитов, магнитный поток которых замыкается через стенку колонны и пересекает витки катушки индуктивности.

Контрольные вопросы:

1. Как определяется положение башмака и металлических предметов в скважине.
2. Определение муфтовых соединений труб в скважине.
3. Изучение дефектов труб скважины.

## [Урок 22 Задачи, решаемые геофизическими методами в действующих скважинах](#)

План

1. Потокотметрия в скважинах
2. Инжекционные расходомеры

### **1. Потокотметрия в скважинах**

Потокотметрия — это измерение скорости потока (или расхода) жидкости по стволу скважины. Другие названия этого метода: расходотметрия, дебитотметрия.

Задачи, решаемые этим методом: определение дебита нефти по пластам и проиласткам в добывающих скважинах или расхода воды в нагнетательных; определение мест притока и поглощения жидкости в скважинах; изучение гидродинамических характеристик пластов-коллекторов.

Приборы, применяемые в этом методе, называются скважинными расходомерами (дебитомерами). Наибольшее распространение имеют инжекционные, термокондуктивные и тахометрические расходомеры.

Инжекционные расходомеры (рис. 19.9) состоят из корпуса с центрирующими фонарями, внутри которого располагается инжектор метки потока и 2 детектора меток. Инжектор впрыскивает в поток метку, т.е. порцию жидкости, отличающуюся от промывочной жидкости по какому-либо физическому свойству (радиоактивности, температуре, прозрачности или электропроводности). Эта метка переносится потоком и улавливается сначала первым, а затем вторым детектором.

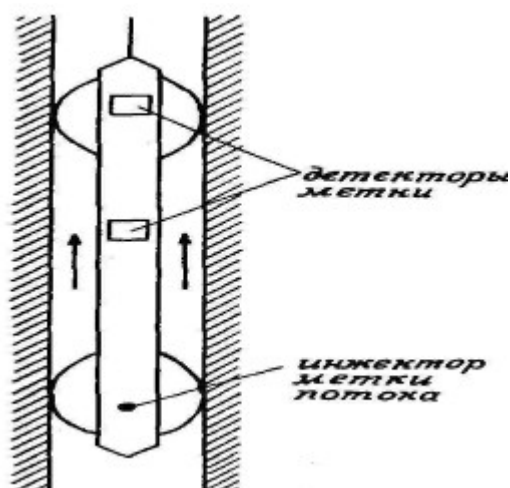


Рис. 19.9. Принцип действия скважинного инжекционного дебитомера

Засекают время продвижения метки от 1 до 2 детектора и, зная расстояние между ними, рассчитывают скорость потока, а зная диаметр скважины и диаметр самого прибора - расход потока. Относительная погрешность измерений — 2-5%.

Термокондуктивные расходомеры (термоанемометры) представляют собой термочувствительный элемент  $R_t$ , помещаемый в исследуемый поток и нагретый до температуры, превышающей температуру потока. Схема измерений с термоанемометром приведена на рис. 19.10. При первоначальной температуре (в неподвижной жидкости) измерительный мост сбалансирован, и прибор, включенный в его диагональ, дает нулевые показания.

Набегающий поток жидкости охлаждает чувствительный элемент тем интенсивнее, чем выше скорость потока. Баланс моста нарушается, и регистрирующий прибор начинает давать показания.

Приборы этого типа обладают хорошей чувствительностью, однако результаты измерений с ними трудно поддаются количественной интерпретации. К тому же, на результаты сильно влияет изменение теплофизических свойств среды, например, примесь газа, изменение состава, плотности среды и т.п. Тахометрические (механические) расходомеры состоят из первичного преобразователя — датчика скорости потока в виде турбинки или крыльчатки, соосной с потоком, и вторичного преобразователя, вырабатывающего электрический сигнал, пропорциональный числу оборотов крыльчатки за единицу времени.

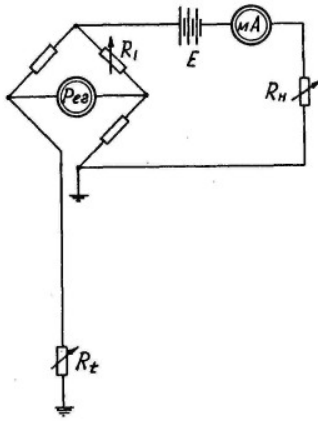


Рис. 19.10. Электрическая схема измерений с термокондуктивным расходомером-дебитомером

Сам преобразователь устанавливают в корпусе расходомера, а на валу Крыльчатки размещают элемент, управляющий его работой (рис. 19.11).

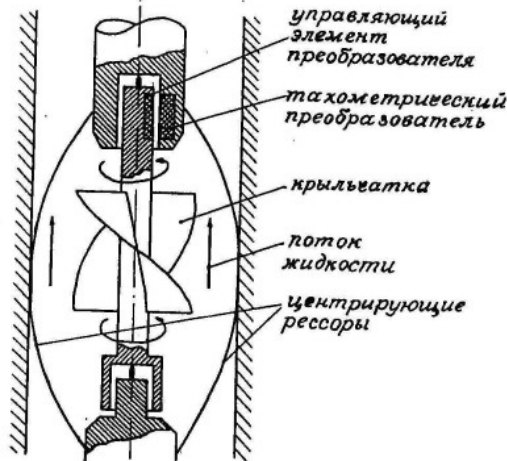


Рис 19.11. Принцип действия скважинного тахометрического расходомера

Тахометрические преобразователи могут быть разные: омические, индуктивные, магнитоуправляемые, оптические. Соответственно преобразователю различаются и их управляющие элементы. Например, если преобразователь магнитоуправляемый (т.е. магнитный контакт, или феррозонд), то управляющий элемент - постоянный магнит; если индуктивный (катушка индуктивности на незамкнутом сердечнике), то управляющий элемент - пластина из ферромагнитного материала, замыкающая сердечник, и т.п.

От числа оборотов крыльчатки и переходят к расходу потока  $Q$  с помощью специальных тарировочных графиков (рис. 19.12)  $n = f(Q)$  при  $d_{скв} = const$ , которые строят опытным путем, проводя измерения с расходомером на специальных тарировочных стендах.

На нефтяных месторождениях в добывающих и нагнетательных скважинах наблюдения с тахометрическими расходомерами выполняют либо поточно, либо непрерывно. В последнем случае проводят запись дважды: при движении снаряда вниз и вверх по стволу скважины. В одном случае скорость движения потока складывается со скоростью перемещения расходомера, в другом - вычитается. По разности результатов вычисляют скорость потока.

#### Контрольные вопросы

1. На каких принципах основаны приборы для измерения скорости потока жидкости в скважине? Укажите их достоинства и недостатки.
2. Поясните устройство скважинного расходомера тахометрического типа.

### 3. Какие задачи решаются с помощью расходомерии скважин?

## Урок 23 Исследование характера насыщения пластов

### План

1. Сущность испытания пластов и гидродинамического каротажа.
2. Сущность отбора образцов пород. Принцип действия аппаратуры и оборудования методов.
3. Область применения данного метода. Решаемые задачи.

#### **1. Отбор проб пластовых флюидов**

Обычное опробование пластов занимает много времени. Его выполняют после завершения бурения, спуска и цементирования обсадной колонны методом пробной эксплуатации: исследуемый интервал вскрывают перфораторами, изолируют от др. интервалов и откачивают из него нефть, газ или воду (в зависимости от характера насыщения пласта). Интервалы для опробования выделяют на основании изучения комплекса каротажных диаграмм и керна.

Ускорить этот процесс и повысить эффективность буровых работ можно, если опробовать перспективные пласты сразу после их вскрытия бурением, без крепления скважины. Для этого используют испытатели пластов на трубах (ИПТ) и опробователи пластов на кабеле (ОГЖ).

Применением ОГЖ занимаются сотрудники геофизической службы.

2. Опробователь пластов содержит корпус с прижимным устройством и герметизирующий башмак с каналом для прохождения флюида, камеру для сбора пробы, а также привод.

Более подробно принцип действия и конструкцию опробователей пластов разберем на примере прибора ОПУ-65 (рис. 20.1).

В ОПУ-65 применен электрогидравлический привод.

В корпусе прибора, заполненном рабочей жидкостью РЖ, размещены электромотор ЭМ с поршнем П и поршни прижимного устройства ПУ и герметизирующего башмака ГБ, а также подпружиненный шток Ш. Прибор опускают в скважину на каротажном кабеле и устанавливают напротив исследуемого пласта. При подаче питания на электромотор ЭМ он приходит во вращение и начинает опускать поршень П. Давление рабочей жидкости РЖ возрастает и выдвигает прижимное устройство ПУ и герметизирующий башмак ГБ. Прибор оказывается прочно заклиненным в скважине. Подпружиненный шток Ш, опускаясь, открывает камеру К для сбора пробы и соединяет ее с отверстием в герметизирующем башмаке ГБ, который разобщает исследуемый участок стенки скважины и саму скважину. Давление в камере К равно атмосферному, давление в пласте -много больше. Под действием пластового давления флюид из пласта поступает в канал ГБ и заполняет камеру К. О поступлении пробы в камеру К свидетельствует повышение давления в ней, зарегистрированное датчиком давления ДД. После заполнения камеры двигатель ЭМ реверсируют. Давление рабочей жидкости РЖ на поршни ГБ и ПУ падает.

Шток Ш поднимется, закупоривая своей нижней частью камеру К и одновременно соединяя отверстие разгерметизации ОР с каналом в герметизирующем башмаке.

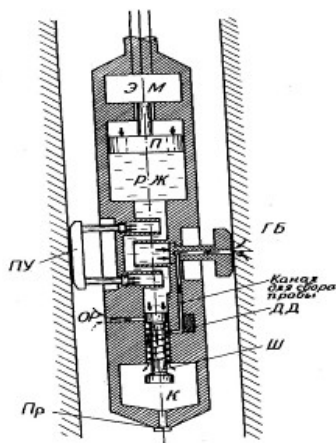


Рис. 20.1. Устройство опробователя пластов на кабеле ОПУ-65

Давление под башмаком ГБ и снаружи его выравнивается, происходит разгерметизация башмака, и он втягивается в углубление корпуса опробователя. Втягивается и прижимное устройство ПУ. После этого опробователь можно поднимать к устью скважины и извлекать на поверхность. По извлечении опробователя из скважины его подвешивают над ведром или др. емкостью, вывинчивают пробку Пр и сливают туда отобранную пробу. Емкость камеры К составляет 4,5 л.

При отсутствии притока прибор можно переместить на другую точку и попытаться отобрать пробу еще раз. Опробователь допускает до 8 повторений попыток отобрать пробу. ОПУ-65 является универсальным прибором, его можно применять не только в нефтяных и газовых, но и в рудных, угольных и гидрогеологических скважинах. Его длина - 3,7 м, масса - 65 кг, диаметр - 65 мм.

ОПУ-65 является одним из наиболее простых. Другие опробователи (ОПН, ОПТ, ОПТ и т.д) имеют большие размеры и снабжаются зарядами взрывчатого вещества для пробивания канала в породе и для отрыва герметизирующего башмака от стенки скважины.

3. Результаты опробования пластов приборами на кабеле позволяют выделять в разрезе породы коллекторы и неколлекторы, определять характер насыщения пластов и, следовательно, устанавливать положение водонефтяного (ВНК), газонефтяного (ГНК) и газоводяного (ГВК) контактов, а также оценивать гидродинамические характеристики пластов. Так, например, наличие притока в камеру свидетельствует, что пласт является коллектором, отсутствие притока - неколлектором.

Характер насыщения определяют по результатам анализа отобранных проб. Нефтеносные пласты выделяются по составу УВГ с повышенным содержанием тяжелых углеводородов. Признак водоносного пласта - низкое газосодержание с преобладанием метана. Высокое содержание метана свидетельствует о газоносности пластов.

Наиболее эффективно применение ОПК в случае опробования гранулярных коллекторов. В случае коллекторов трещинного типа велика вероятность того, что отверстие в герметизирующем башмаке расположится против непроницаемого промежутка и, следовательно, потребуется много точек опробования.

Результаты опробования позволяют оперативно уточнить результаты интерпретации каротажных диаграмм.

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется опробование продуктивных пластов методом пробной эксплуатации?
2. В чем преимущества опробования пластов приборами на кабеле перед опробованием по традиционной методике?
3. Какие устройства входят в состав опробователя на кабеле?

## **Урок 24 Определение мест за трубной циркуляции жидкостей и газа в скважине**

Резистивиметрия. Под резистивиметрическими исследованиями понимается определение сопротивления бурового раствора или воды в скважине. Работы проводят резистивиметром, который представляет собой зонд малых размеров, помещенный в трубку из изолятора. При перемещении зонда по скважине внутри трубки свободно проходит жидкость, заполняющая скважину, а влияние окружающих пород исключается стенками трубки. Регистрация проводится так же, как и в методе КС. Коэффициент резистивиметра определяется путем его эталонировки в жидкости с известным сопротивлением.

Данные о сопротивлении бурового раствора или воды в скважине используются для обработки каротажных диаграмм (особенно при БКЗ) и для выявления мест подтока подземных вод разной минерализации. Кроме того, резистивиметрия применяется для изучения скоростей фильтрации подземных вод.

## **Урок 25 практика Требования к подготовке буровой и скважины для проведения геофизических исследований**

### ***1.Подготовительные работы на базе.***

Для выезда в скважину геофизическая партия выполняет подготовительную работу на базе в зависимости от состояния техники, вида и объема работ.

Подготовительные работы входит получение и оформление документации (наряд-маршрут, путевой лист, сведения, градуировочные данные аппаратуры и др.), проверка технического состояния каротажного подъемника, лаборатории, кабеля, скважинной аппаратуры, погрузка и укрепление скважинной аппаратуры и другого необходимого оборудования, проверка наличия необходимого количества расходных материалов (изоляционные материалы, фотореактивы и др.), инструмента и контрольно-измерительной аппаратуры.

Подготовка подъема осуществляется путем его внешнего осмотра, проверки отдельных узлов в действии. Кабель оценивается с точки зрения целостности токопроводящих жил и их изоляции. Исправность скважинной аппаратуры устанавливается в ходе ее проверки на стенде в аппаратной мастерской. В лаборатории каротажной станции проверяется токовой цепи и измерительных каналов путем подключения скважинной аппаратуры или поверочных приборов имитирующих работу лаборатории на скважине.

После проверки аппаратуры партия получает нейтронный источник, прострелочную аппаратуру и заряды (в случае выезда на радиоактивный каротаж или перфорацию), проверяет наличие необходимых расходных материалов, проводит погрузку и укрепление оборудования и аппаратуры, выясняет состояние проездных путей и маршрут, путевой лист, выясняет состояние проездных путей и маршрут исследования на скважину.

### ***1.1. Подготовка транспорта и переезды***

Основным видом транспорта геофизических партий является автомобиль высокой проходимости. Несмотря на то что сеть автомобильных дорог в нашей стране расширяется довольно быстро, водителям геофизических партий, особенно в условиях разведки, приходится работать в сложных дорожных

условиях. Квалификация, опыт, соблюдение водителями правил вождения автомобиля определяют успех быстрого и безаварийного проезда на скважину.

Проходимость автомобиля – это эксплуатационно - техническое свойство, определяющее возможность использования его по бездорожью и на дорогах с плохим покрытием. Водитель, знающий возможности своего автомобиля, может более эффективно эксплуатировать его и выбирает наиболее рациональный способ повышения проходимости. В процессе движения на труднопроходимых участках водители включают передний ведущий мост. Это позволяет максимально использовать массу всего автомобиля для повышения сцепления с дорожным покрытием. На труднопроходимых участках пользуется и пониженными передачами, так как тяговая сила, развиваемая ведущими колесами на повышенных передачах, оказывается не достаточной для преодоления сил сопротивления качению. Улучшение качества сцепления шин ведущих колес с дорогой на сильно загрязненных и заснеженных участках, а так же слабых грунтах достигается применением систем регулирования давления воздуха в шинах колес на ходу автомобиля.

### ***III. Проведение геофизических работ на скважине***

После приезда на скважину персонал партии знакомится с состоянием подготовленности ее к геофизическим работам и определяет последовательность исследования и опрещи совместно с ответственным представителем заказчика.

Подъемник устанавливается на 20-40 м от устья скважины так, чтобы ось лебедки была горизонтальной и перпендикулярной к направлению оси устья скважины. После установления подъемник затормаживается, под колеса подкладываются клинья.

На устье скважины устанавливается и надежно закрепляется или подвешивается на крюки блока вышки ролик таким образом, чтобы его средняя плоскость была направлена на середину барабана лебедки, а кабель опускался в скважину по ее оси. Подготавливается лебедка подъемника и ее привод так, как указано в § 99.

Лаборатория и подъемник подключаются к электрической сети или генераторной группе и заземляются отдельными заземлениями. Разматываются соединительные провода; лаборатория, подъемник и датчик глубин соединяются между собой. К кабелю присоединяется глубинный прибор и проверяется работа всей схемы в целом на поверхности.

**Спуск кабеля.** Глубинные приборы спускаются в скважину при помощи имеющегося на буовой приспособления для подъема тяжестей. Для захвата зонда, груза или скважинного аппарата используют специальные вилки либо другие стандартные приспособления.

После спуска глубинного аппарата в устье скважины на счетчиках глубин устанавливаются показания с учетом расстояния от точки записи скважинной установки до точки отсчета глубин устья скважин (уровень стола-ротора, фланца и т.п.). После этого начинают спуск глубинного прибора и кабеля в скважину. При этом первые витки кабеля с барабаном лебедки сматываются вручную либо включается задняя скорость двигателя подъемника; в дальнейшем спуск идет под действием веса глубинного аппарата и кабеля. Скорость спуска контролируется по тахометру и регулируется торможением барабана лебедки, которое производится плавно, без рывка.

При спуска кабеля внимательно следят за перемещением скважинного аппарата и немедленно прекращают спуск в случае остановки прибора во избежание перепуска кабеля, что может привести к завязыванию «узлов» и аварии. Движение аппарата в открытом стволе скважины контролируется по натяжению кабеля, а также по отключению гальванометра, регистрирующего какой – либо параметр (ПС, КС, ГК, НГК и др.). Точность показания счетчиков глубин время от времени контролируется по магнитным меткам на кабеле. Остановка последнего осуществляется с помощью тормозной системы барабана лебедки.

При установки кабеля необходимо соблюдать следующие меры предосторожности: внимательно пропускать утолщенную часть кабеля через ролик блок – баланса во избежание его соскакивания и повреждения; не допускать слишком больших скоростей спуска во избежание поломки скважинных аппаратов и образования на кабеле углов во время

замедления хода и остановок прибора на встречающихся в стволе препятствиях; не допускать резких торможений кабеля, так как это может привести к соскакиванию его с ролика блок – баланса и обрыву.

При спуска кабеля в бурящуюся скважину иногда встречаются затруднения, связанные с наличием в скважине пробок, сальников, уступов и осадки. В некоторых случаях препятствия удастся проходить используя оптимальную скорость спуска прибора, грузы большой массы, удлинительные устройства к скважинным аппаратам, устройства для центрирования скважинного аппарата, специальных грузов. Если препятствия преодолеть невозможно, то глубинный прибор извлекается из скважины, и она прорабатывается повторно. В особо трудных случаях прибегают к «каротажу через инструмент». Для этого опускают в скважину бурильные трубы так, чтобы они перекрыли исследуемый интервал, через тубу спускают кабель, скважинный аппарат устанавливают в открытом интервале, приподнимают трубы и проводят измерения в открытом интервале извлекают кабель, выбрасывают одну свечу бурильных труб и операцию проторяют на следующем интервале.

При каротаже через свечи на нижний конец трубы навинчивают воронку, облегчающую вход глубинного прибора в трубы. Если препятствие находится выше интервала исследования, то «каротаж через инструмент» выполняется без подъема бурильных труб. В этом случае бурильные трубы остаются неподвижными, а кабель пропускается через них. Время от времени скважину промывает и бурильные трубы проверяют на прихват.

*Подъем кабеля.* Перед достижением забоя скважины выключают аппаратуру, определяют глубину забоя и сразу же начинают подъем аппарата с выполнением замера. После отрыва груза от забоя устанавливают заданную скорость подъема, зависящую от применяемых аппаратуры и оборудования, а также геологических и скважинных условий измерения.

После окончания измерений при нормальном состоянии скважины кабель поднимают с большей скоростью (до 8000 м/ч), однако во избежание его больших перегрузок нельзя допускать слишком высоких скоростей перемещения кабеля. При прохождении башмака технической колонны и других опасных интервалов скорость подъема кабеля уменьшается, в этих случаях лебедчику необходимо усилить внимание, наблюдая за натяжением кабеля и изменением показаний регистратора. При приближении скважинного аппарата к устью скорость подъема снижают до минимальной, следя за показаниями счетчика и предупредительными метками во избежание затаскивания глубинного аппарата на блок – баланс. Предупредительные метки устанавливаются на кабеле на расстояниях 20, 50 и 100 м от точки соединения его со скважинным аппаратом.

После подъема кабеля и глубинного прибора до устья их извлекают из скважины с помощью легкости. Скважинный аппарат отсоединяют от кабеля, проверяют изоляцию и целостность его жил, убеждаются в исправности скважинного прибора, аппаратуры, оборудования и готовятся к проведению следующей операции.



## Акт о готовности бурящейся скважины к проведению ГИС

Мы, нижеподписавшиеся, геолог \_\_\_\_\_ и буровой мастер \_\_\_\_\_, составили настоящий акт о готовности скважины № \_\_\_\_ площади \_\_\_\_\_ к проведению ГИС, предусмотренных наряд-заказом, в открытом стволе, в обсаженной части, в бурильном инструменте, через бурильный инструмент, в насосно-компрессорных трубах, через насосно-компрессорные трубы (нужное подчеркнуть).

### В.1 Промывочная жидкость

Тип, состав (в том числе тип и количество добавок утяжелителей и химреактивов)

Плотность \_\_\_\_\_ г/см<sup>3</sup>. Водоотдача \_\_\_\_\_ см<sup>3</sup>/30 мин.

Вязкость \_\_\_\_\_ с. СНС (статическое напряжение сдвига) \_\_\_\_\_.

Удельное электрическое сопротивление \_\_\_\_\_ Ом·М.

Содержание песка \_\_\_\_\_ %.

Наличие циркуляции - есть, нет (заполняется при ведении аварийных работ, нужно подчеркнуть). Уровень жидкости в скважине \_\_\_\_\_ м.

### В.2 Конструкция скважины

Глубина забоя (естественного, искусственного — нужно подчеркнуть) на момент проведения ГИС \_\_\_\_\_ м.

Диаметр долота (мм) и глубины переходов диаметров (м)

Глубина спуска (м) и диаметр (мм) последней колонны

Толщина стенки (мм) и марка стали труб последней колонны (заполняется при исследовании \_\_\_\_\_ обсадных \_\_\_\_\_ колонн)

Состояние башмака и исправность последней колонны — удовлетворительное, неудовлетворительное (нужное подчеркнуть).

Глубина башмака (м) и диаметр (мм) предыдущей колонны

Максимальная глубина спуска бурильного инструмента, НКТ (нужное подчеркнуть) при последнем спуске \_\_\_\_\_ м.

### В.3 Конструкция бурильного инструмента, НКТ (нужное подчеркнуть)

Глубины переходов диаметров \_\_\_\_\_ м.

Конструкция и состояние башмака бурильного инструмента, НКТ (муфта, воронка с внутренним проходным диаметром \_\_\_\_\_ мм, «голый» конец, крестовина и др.) удовлетворительное, неудовлетворительное, неизвестно (нужное подчеркнуть). Минимальный проходной диаметр в скважине, бурильном инструменте, НКТ (нужное подчеркнуть) \_\_\_\_\_ мм.

### В.4 Работы по подготовке скважины

Скважина прорабатывалась (чем, когда, до какой глубины)

Обсадная колонна, бурильный инструмент, НКТ шаблонировались (чем, когда, до какой глубины)

Наличие уступов, обвалов, пробок и глубина их положения

\_\_\_\_\_ м.

Наличие остановок, проведение проработок при последнем спуске бурильного инструмента или НКТ (нужное подчеркнуть) и глубина остановок или проведения проработок \_\_\_\_\_ м.

Наличие затяжек при подъеме бурильного инструмента, НКТ — да, нет (нужное подчеркнуть).

Интервалы затяжек \_\_\_\_\_ м.

### **В.5 Предварительные работы**

Во время цементной заливки в скважину закачено \_\_\_\_\_ м<sup>3</sup>

\_\_\_\_\_ (тип цемента) плотностью \_\_\_\_\_ г/см<sup>3</sup>  
при плотности продажной жидкости \_\_\_\_\_ г/см<sup>3</sup>.

Начало заливки (время, дата, месяц) \_\_\_\_\_.

Конец заливки (время, дата, месяц) \_\_\_\_\_.

Расчетная высота подъема цемента \_\_\_\_\_ м от устья скважины.

### **В.6 Особые условия проведения работ**

Наличие и состояние подъездных путей и рабочей площадки

Состояние наземного оборудования (исправность бурового станка, электрооборудования, состояние устьевой обвязки и др.) - удовлетворительное, неудовлетворительное (нужное подчеркнуть).

Характеристика условий освещенности рабочих зон

\_\_\_\_\_ ,  
трассы движения кабеля и преентора буровой

удовлетворительное, неудовлетворительное (нужное указать).

Наличие подвода технической воды (горячей воды или пара)

Состояние электрооборудования (указать дату последней проверки на соответствие ПУЭ, ПТЭ и ПТБ) \_\_\_\_\_, наличие мест для подсоединения к контуру заземления буровой

Характеристика помещения и условий для хранения источников ионизирующих излучений и радиоактивных веществ

Максимальный диаметр приборов, спускаемых в скважину \_\_\_\_\_ мм.

Максимально разрешенная глубина спуска прибора \_\_\_\_\_ м.

Подготовка скважины обеспечивает беспрепятственное прохождение геофизических приборов по всей скважине в течение \_\_\_\_\_ ч, необходимых для проведения ГИС.

Геолог \_\_\_\_\_

Мастер \_\_\_\_\_

Акт составлен «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

Скважину для проведения геофизических исследований принял начальник отряда

## Урок 26 Организация промыслово-геофизических работ

### *План*

1. Подготовка скважин к геофизическим работам.
2. Геолого-технологические и газокаротажные исследования
3. Каротажные работы

#### *1. Подготовка скважин к геофизическим работам.*

Так как объектом промыслово – геофизических исследований является скважина, успех и конечные результаты выполнения поставленной задачи во многом зависят от качества подготовки скважины и бурового оборудования к предстоящим работам.

Геолого-технологические исследования приводят непосредственно в процессе бурения. Ряд технологических датчиков устанавливаются непосредственно при монтаже бурового оборудования, и от места и качества их расположения во многом зависит успех технологических исследований. Таким же образом подготовка системы обвязки, отбора газа и шлама из потока ПЖ во многом предопределяет достоверность геологических исследований в процессе бурения. Эти подготовительные работы выполняются буровой бригадой с привлечением специалистов по автоматизации и геофизике.

Геофизические исследования выполняются при остановках бурения спуском в скважину специальных аппаратов, и в этом случае подготовка скважины должна обеспечить их беспрепятственный спуск и подъем по ее стволу без осложнений в течение времени, необходимого для проведения намеченного комплекса исследований.

Основными элементами подготовки бурящихся скважин к ГИС являются: вскрытие перспективных интервалов с минимально допустимыми репрессиями на пласт качественной промысловочной жидкостью для сохранения первоначальной характеристики коллекторов в прискважинной зоне пласта, проработка ствола скважины долотом номинального диаметра с целью ликвидации уступов, резких переходов, мест сужений, сальников и пробок, приведение параметров ПЖ в соответствие с требованием геолого-технического наряда на строительство скважины, обеспечение однородности ПЖ по всему стволу.

Перед испытаниями пласта трубным испытателем в открытом стволе определяется безопасное время стояния бурильного инструмента без движения в интервале испытания.

Прострелочные работы для вторичного вскрытия продуктивных пластов требуют отчистки стенки эксплуатационной колонны от цементной корки, а перед повторной перфорацией колонна рейберуется и шаблонируется.

Устье скважины оборудуется в соответствии с действующими инструкциями в зависимости от типа и назначения скважины (бурящаяся, эксплуатационная, нагнетательная), вида условий выполняемых работ (геофизические исследования, испытание пласта, перфорация и т.п.). В действующих скважинах в зависимости от того, проводятся ли геофизические работы через подъемные трубы или межтрубное пространство, соответственно подготавливается и устье скважины. Буровая должна иметь подъездную дорогу, обеспечивающую беспрепятственный проезд к ней каротажной станции и транспортировку необходимого оборудования. Перед буровой подготавливается рабочая площадка для установки на ней каротажного подъемника и лаборатории. Все посторонние предметы между устьем скважины и рабочей площадкой удаляются. Пол буровой и мостки очищаются от грязи. Бурильный инструмент и инвентарь размещаются так, чтобы не мешать проведению намеченных геофизических работ. У края площадки оборудуется точка силовой электрической сети для подключения каротажной станции.

Необходимым условием подготовки скважин к геофизическим работам является включение намечаемых геофизических работ в проектно-сметную документацию и геолого-технический наряд на строительство скважины.

### *II. Геолого-технологические и газокаротажные исследования*

К геолого-технологическим относятся круглосуточные исследования скважины в процессе бурения, выполняемые геофизическими отрядами. Комплекс ГИС включает: определение глубины забоя, исследование параметров ПЖ, оценку количества и состава газа, попавшего в ПЖ при разбуривании пласта, измерение параметров, характеризующих режим бурения (механическая скорость, уровень ПЖ в емкостях, плотность, температура, проводимость ПЖ на входе и выходе скважины, вес на крюке и нагрузка на долото, частота вращения и тормозящий момент на роторе и др. ), отбор и исследование шлама.

Станция геолого-технологических исследований устанавливается на ровной площадке на территории бурящейся скважины с учетом требований техники безопасности, удобства обзора и связи с буровой, удобства и надежность прокладки соединительных кабелей к технологическим датчикам и газовоздушной линии, отбора шлама выбуренной породы.

Собранная информация обрабатывается непосредственно на буровой вручную или в автоматическом режиме при наличии в комплексе станции ГТИ ЭВМ. Вся получаемая информация передается буровой бригаде и технологической службе УБР для оперативной корректировке элементов технологии бурения, остановки бурения для отбора керна, проведение геофизических исследований и испытания пластов. Отличительная черта геолого-технологических исследований состоит в том, что их невозможно воспроизвести (повторить); в случае плохой организации работ, поломки оборудования, аппаратуры, нерастопности или низкой квалификации операторского состава информация теряется безвозвратно. Геолого-технологическая информация, полученная в процессе бурения, это основа программирования дальнейших исследовательских работ в скважине.

В последнее время в Западной Сибири организуются комплексные каротажно-технологические партии, закрепляемые за скоростными буровыми бригадами в эксплуатационном бурении и выполняющие весь цикл работ по геолого-технологическим и геофизическим исследованием в скважинах. Такая организация работ существенно повышает скорость бурения, выработку партии, удлиняет срок работы оборудования и приводит к экономии горюче-смазочных материалов.

### ***3. Каротажные работы***

Под каротажными работами понимают все виды геофизических исследований, выполняющихся стандартной аппаратурой, спускаемой в скважину на геофизическом кабеле, удовлетворяющей требованиям действующих инструкций и принятой методами измерений.

Электрический каротаж выполняется зондами и различными скважинными аппаратами в зависимости от решаемой геологической задачи и типа применяемого кабеля. Перед работой в обязательном порядке проверяются расстояния между электродами зонда, которые должны соответствовать установленным стандартам. Для аппаратуры электрического каротажа важным параметром является изоляция токопроводящих цепей и сохранение постоянства сопротивления жил кабеля. Минимально допустимое значение сопротивления изоляции измерительных и токовых цепей и жил кабеля – 2Мом. Важным параметром является степень стабилизации силы тока в цепи электродов АВ.

Перед присоединением глубинных приборов к кабелю тщательно очищают контакты, герметизируют кабельные наконечники и скважинные аппараты для защиты их от попадания влаги, особенно в условиях высокого давления в скважине.

При приближении к забою устанавливают масштабы записи. Заданный масштаб регистрации КС ( число Ом – метров на 1 см ) устанавливается отключением пера (блика) регистратора на величину  $I$  т тока, проходящего по контрольному шунту  $R_0$  или стандарт сигнала. Масштаб ПС выбирается по отключению от известного значения разности потенциалов, вводимого в цепь градуированным компенсатором поляризации; важно соблюдать полярность записи кривой ПС. Для этого электрод М зонда подключается к клемме «+» на входе регистратора. Масштаб регистрации подбирается таким, чтобы удобно было пользоваться диаграммами со средней дифференциацией кривых, и выдерживается постоянным для данного района.

Аппаратура бокового и индукционного каротажа перед измерениям проводятся с помощью установки, имитирующей пласт с известными параметрами. Микрозонды и скважинные резистивиметры проводятся непосредственно на буровой путем измерения КС и сравнения показаний в емкости с раствором.

Радиоактивный каротаж проводится стандартным зондам с соблюдением правил безопасности обращения с источниками радиоактивных излучений. Ответственным моментом является точное установление размера зонда. Эталонировка аппаратуры РК и проверка ее на стандартность и стабильность работы на скважине выполняется по методике, принятой на данном геофизическом предприятии. Масштаб регистрации кривых ГК, НГК, ННК устанавливается с помощью калибратора с известной периодичностью посылки импульсов и коэффициентов перевода единиц скорости счета (имп/мин) в микрорентгены для ГК или в условные единицы для НГК (ННК) и единицы плотности для ГК. Начальное положение регистрирующего пера (блика) и масштаб регистрации кривых РК подбирается таким, чтобы на диаграмме было минимальное число переносов (сдвигов). Радиоактивный каротаж проводится с сопротивлением изоляции измерительных цепей не менее 1 Мом.

Измерение диаметра и профиля сечения скважины выполняются приборами, градуированными на базе или непосредственно на скважине.

При необходимости использования груза последней подвешивается к прибору тросом или куском кабеля длиной примерно 1,5 м таким образом, чтобы подвешенный ГРУ не отклонял корпус скважинного аппарата от центра ствола скважины.

Термометрические измерения в зависимости от решаемой задачи могут выполняться различными термометрами, но в любом случае показание скважинного термометра перед измерениями должно сравниваться с показанием лабораторного ртутного термометра. Измерения данным прибором проводятся при спуске кабеля в скважину.

Инклинометрические измерения выполняются приборами, градуированными в стандартных условиях на базе и проверенными на скважине.

Работа цементомерами (ГГК, АКЦ) осуществляется по принятой методике с обязательной записью диаграмм в интервалах, где отсутствует цемент в затрубном пространстве.

В эксплуатационных скважинах в зависимости от конструкции, состояния устьевого оборудования и ствола скважины каротажные работы выполняются с использованием лубрикатора с оттяжным роликом, трубных либо фланцевых блок – балансов. В зависимости от решаемой задачи или комплекта работ устанавливается последовательность операций согласно плану работ.

После выполнения намеченного комплекса исследований на данной скважине проводят качество полученных материалов и исправность аппаратуры и оборудования, после чего проводят демонтаж оборудования и аппаратуры, погрузку, размещение и крепление их в подъемнике и лаборатории.

Контрольные вопросы

1. Подготовка скважин к геофизическим работам.
2. Геолого-технологические и газокаротажные исследования
3. Каротажные работы