

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Методические указания
по выполнению лабораторных работ**

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН

для студентов направления подготовки
21.03.01 Нефтегазовое дело
Направленность (профиль) Геолого-геофизические технологии в
нефтегазовом деле

Ставрополь, 2026

Оглавление

Введение	4
Лабораторная работа № 1	
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА САМОПРОИЗВОЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ	5
Лабораторная работа №2	
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ	16
Лабораторная работа №3	
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТАНДАРТНОГО КАРОТАЖА	24
Лабораторная работа № 4	
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БОКОВОГО КАРОТАЖНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ.....	30
Лабораторная работа №5	
РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ БОКОВОГО КАРОТАЖА	43
Лабораторная работа № 6	
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫСОКОЧАСТОСТНОГО ИНДУКЦИОННОГО КАРОТАЖА ИЗОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ	49
Лабораторная работа № 7	
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГАММА-КАРОТАЖА.....	56
Лабораторная работа № 8	
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГАММА-КВАНТОВ С ПОРОДОЙ.....	98
Лабораторная работа № 9	
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ С ПОРОДОЙ.....	81
Лабораторная работа № 10	
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕЙТРОН-НЕЙТРОННОГО МЕТОДА ПО НАДТЕПЛОВЫМ НЕЙТРОНАМ	106
Лабораторная работа №11	
ЗНАКОМСТВО С РАБОТОЙ ГАЗОНАПОЛНЕННОГО ИНДИКАТОРА ...	116

Лабораторная работа № 12

ЗНАКОМСТВО С РАБОТОЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ИНДИКАТОРА.143

Лабораторная работа № 13ЗНАКОМСТВО С РАБОТОЙ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗАЦИОННОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ (ИИИ).....151**Лабораторная работа № 14**

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА.....157

Лабораторная работа № 15

ЗНАКОМСТВО С РАБОТОЙ АК-М.....166

Лабораторная работа № 16

ЗНАКОМСТВО С РАБОТОЙ СКВАЖИННОГО ИНКЛИНОМЕТРА.....174

Лабораторная работа № 17ЗНАКОМСТВО С РАБОТОЙ СКВАЖИННОГО КАВЕРНОМЕР-
ПРОФИЛЕМЕРА 191**Лабораторная работа № 18**

ЗНАКОМСТВО С РАБОТОЙ СКВАЖИННЫХ ТЕРМОМЕТРОВ.....200

Введение

Целью дисциплины «Геофизические исследования скважин» является формирование согласно ОП ВО набор компетенций по направлению подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело». Дисциплина относится к базовой части профессионального цикла ОП ВО и предполагает знание студентами следующих дисциплин: «Геология», «Структурная геология», «Физика», «Физика горных пород», «Физика Земли», «Математика», «Электротехника и электроника», «Информатика», «Математическое моделирование геологических процессов», «Геоинформационные системы», «Электроразведка», «Метрология, стандартизация и сертификация», «Информационно-измерительные системы геофизических исследований скважин».

В результате изучения дисциплины у студента формируются определённые компетенции, приобретаются знания об устройстве и принципе работы скважинной аппаратуры, технологии проведения ГИС. Приобретаются навыки работы с каротажными диаграммами, палетками и формулами для выделения коллекторов и оценки их фильтрационно-емкостных свойств. Появляются навыки практического применения теоретических знаний для выдачи рекомендаций по комплексированию методов ГИС с целью решения конкретной геологической задачи.

Лабораторная работа № 1

Тема: Физические основы метода самопроизвольной поляризации.

Цель работы

- Закрепление теоретических знаний лекционного материала.
- Определение диффузионной ЭДС.
- Нарисовать схему диффузии потенциалов.

Теоретическая часть

Поляризация – разделение зарядов различного знака под влиянием ряда естественных физико-химических факторов – связана с наличием у горных пород естественной электрохимической активности. Она проявляется в виде диффузионно-адсорбционной, фильтрационной и окислительно-восстановительной активностей.

Диффузионно-адсорбционная активность характерна для пород, насыщенных водными растворами электролитов.

При контакте свободных растворов различной концентрации происходит диффузия ионов, результирующий поток которой направлен в сторону меньшей концентрации. Подвижности катионов $u = u_k/f$ и анионов $v = v_a/f$ различны (здесь u_k и v_a – скорости движения катионов и анионов, а f – действующая на них сила). Согласно закону Стокса движущиеся в жидкости сферические частицы испытывают тем меньшее сопротивление, а потому имеют тем большую скорость, чем меньше их радиус. Обычно в поровых водах и промывочной жидкости (ПЖ) растворен бинарный одновалентный электролит – хлористый натрий (реже – хлористый кальций). Радиус иона Na примерно в два раза больше радиуса иона Cl. В воде ионы гидратируются – покрываются оболочкой, состоящей из полярных молекул воды. Однако и радиус гидратированного иона натрия примерно в 1,5 раза больше, чем гидратированного иона хлора. Поэтому подвижность анионов (Cl) больше, чем катионов (Na). По той же причине

подвижность ионов хлора больше, чем ионов кальция. В результате возникает разностный поток анионов, приводящий к образованию в растворе меньшей концентрации объемного отрицательного заряда, т. е. к возникновению отрицательной ЭДС, названной *диффузионной*.

По мере своего роста объемный заряд все больше тормозит ионы одного с ним знака – анионы. В конечном счете подвижности анионов и катионов уравниваются, рост заряда прекращается, ЭДС стабилизируется. Для бинарного одновалентного электролита возникшая диффузионная ЭДС:

$$E_{\partial} = \frac{RT}{F} \cdot \frac{u-v}{u+v} \ln \frac{c_1}{c_2}, \quad (1.1)$$

где $R = 8,31$ Дж/град·моль – универсальная газовая постоянная; $F = 96494$ К/моль – число Фарадея; T – абсолютная температура раствора в градусах Кельвина ($^{\circ}\text{K}$); u и v – подвижности катионов и анионов до возникновения объемного заряда; c_1 и c_2 – эквивалентные концентрации электролитов в соприкасающихся растворах.

После подстановки численных значений R и F при $T = 291$ $^{\circ}\text{K}$, т. е. при 18 $^{\circ}\text{C}$, получим (в мВ):

$$E_{\partial} = 58 \frac{u-v}{u+v} \lg \frac{c_1}{c_2} = 58 (N_{\kappa} - N_a) \lg \frac{c_1}{c_2}, \quad (1.2)$$

где $N_{\kappa} = u/(u+v)$, $N_a = v/(u+v)$ – относительные числа переноса катионов и анионов. В случае контакта растворов NaCl разность $N_{\kappa} - N_a = -0,2$ и

$$E_{\partial} = -11,6 \cdot \lg(c_1/c_2). \quad (1.3)$$

Учитывая, что $c_1/c_2 \approx \rho_2/\rho_1$, где ρ_2 , ρ_1 – УЭС соответственно фильтрата ПЖ и поровой воды, формулу (1.3) можно переписать в виде:

$$E_{\partial} = -11,6 \cdot \lg(\rho_2/\rho_1). \quad (1.4)$$

В общем случае

$$E_{\partial} = K_{\partial} \cdot \lg(\rho_2/\rho_1). \quad (1.5)$$

где K_{∂} – коэффициент диффузионной активности свободных растворов.

Для растворов солей NaCl, CaCl₂, Na₂SO₄ и KCl, наиболее часто встречающихся в пластовых условиях, коэффициент K_{∂} при температуре 291 $^{\circ}\text{K}$

принимает значения, равные -11,6; -19,7; 5,0; -0,4 соответственно.

На границах пластов (отчасти пластов и скважины) контактируют не свободные растворы, а насыщенные ими пористые среды. В них наряду с диффузией определенную роль играют процессы адсорбции.

На рисунке 1.1 изображен идеализированный водонасыщенный капилляр, перпендикулярный стенке скважины. В нем можно выделить слой противоионов, состоящий из неподвижного (адсорбционного) и подвижного (диффузного) слоев, и электронейтральный канал. Диффузия ионов в канале протекает практически как в свободном растворе. Поэтому, если концентрация ионов c_1 в поровой воде больше их концентрации c_2 в скважине, и $v > u$, против канала образуется объемный отрицательный заряд, а соответствующая ЭДС оценивается формулой 1.3. Ионы диффузного слоя тоже подвижны и результирующий поток их диффузии также направлен в сторону меньшей концентрации, т. е. в скважину. Однако анионы в диффузном слое практически отсутствуют. Соответственно число их переноса $N_a \rightarrow 0$, а число переноса катионов $N_k \rightarrow 1$. В результате в скважине против диффузного слоя образуется стабильный положительный заряд. Соответствующую ЭДС $E_{да}$ называют *диффузионно-адсорбционной*. Согласно выражению 1.2:

$$E_{да} = 58 \cdot \lg(c_1/c_2). \quad (1.6)$$

Результирующая ЭДС против капилляра обусловлена отношением сечений диффузного слоя и канала.

В капиллярах с радиусом в несколько десятков микрометров относительное сечение диффузного слоя пренебрежимо мало. Такие капилляры характерны для чистых, хорошо проницаемых коллекторов. Если $c_1 > c_2$ у ЭДС против них имеет отрицательный знак и оценивается формулой (1.3). В глинах, где радиус капилляра менее 10^{-1} мкм, сечение электронейтрального канала равно нулю и ЭДС определяется формулой (1.6). В общем случае возникающая ЭДС имеет диффузионно-адсорбционный характер, т. е. обусловлена ионами, поступающими в скважину как из диффузного слоя, так и из электронейтрального канала, и выражается формулой:

$$E_{\text{да}} = K_{\text{да}} \cdot \lg(c_1/c_2). \quad (1.7)$$

где $K_{\text{да}}$ – коэффициент диффузионно-адсорбционной активности насыщенной пористой среды. Он меняется от -11,6 для чистых коллекторов до 58 для высокодисперсных глин.

Из выражения (1.7) следует, что при $\rho_1 = \rho_2$ (или $c_1 = c_2$), $E_{\text{да}} = 0$. Это, казалось бы, позволяет заключить, что вне скважины ЭДС на границе двух пластов равна нулю, так как концентрация солей в поровых водах этих пластов за геологическую историю их существования должна выровняться. Однако, если две насыщенные пористые среды находятся в равновесии, концентрации подвижных ионов в них не равны. Благодаря диффузным слоям, относительный объем которых тем больше, чем меньше диаметр капилляра, в более дисперсной среде подвижных катионов больше. Это вызывает диффузию катионов в сторону их меньшей концентрации. В результате на границе пластов возникает так называемая *доннановская* (граничная) электродвижущая сила $E_{\text{гр}}$.

Выражения (1.5) и (1.7) позволяют записать:

$$K_{\text{да}} - K_{\text{д}} = \frac{E_{\text{да}} - E_{\text{д}}}{\lg \rho_2 / \rho_1} = A_{\text{да}}, \quad (1.8)$$

где $A_{\text{да}}$ – диффузионно-адсорбционная активность горных пород – параметр, характеризующий разницу активностей насыщенной пористой среды и свободного раствора. Естественно, величина $A_{\text{да}}$ решающим образом зависит от относительного сечения (относительного объема) диффузных слоев. Так, для чистых коллекторов $A_{\text{да}} = -11,6 - (-11,6) = 0$. Для высокодисперсных глин $A_{\text{да}} = 58 - (-11,6) = 69,6$. Промежуточные значения $A_{\text{да}}$ соответствуют породам с различным содержанием высокодисперсного глинистого материала. Для песчано-глинистых пород с ростом глинистости уменьшаются коэффициенты пористости $K_{\text{п}}$ и проницаемости $K_{\text{пр}}$. Поэтому во многих случаях удастся найти корреляционные зависимости, связывающие $A_{\text{да}}$ с этими величинами.

Фильтрационная активность проявляется при фильтрации раствора электролита через капилляр.

При фильтрации перемещается не только электронейтральная жидкость в

канале, но и ионы диффузного слоя. В результате поток противоионов (как правило катионов), оказывается больше потока анионов. Разность потоков представляет собой электрический ток, который приводит к возникновению на выходе капилляра свободного положительного заряда, тормозящего движение катионов. За счет торможения потоки катионов и анионов выравниваются, а между концами капилляра возникает стабильная разность потенциалов фильтрации E_{ϕ} . В коллекторах ее величину оценивают по формуле Гельмгольца:

$$E_{\phi} = \frac{\zeta \rho_{\epsilon} \epsilon}{4 \pi \eta} \Delta P, \quad (1.9)$$

где ϵ , ρ_{ϵ} и η – соответственно диэлектрическая проницаемость, удельное сопротивление и вязкость жидкости; ΔP – перепад давления; ζ – разность потенциалов между внутренней и внешней границами диффузного слоя (дзета-потенциал).

Фильтрационную активность при фильтрации раствора хлористого натрия, имеющего удельное сопротивление $\rho_{\epsilon} > 1$ Ом, оценивают по формуле:

$$A_{\phi} = E_{\phi} / \rho_{\epsilon} \Delta P. \quad (1.10)$$

На явлении фильтрационной электрохимической активности основано выявление мест притоков и поглощений жидкости в скважине.

Окислительно-восстановительная активность связана с потерей электронов (окисление) или их приобретением (восстановление). Она приводит к возникновению скачков потенциалов на границе металлических электродов или горных пород с электронной проводимостью и водных растворов электролитов. В первом случае говорят об электродных, во втором – об окислительно-восстановительных потенциалах.

Электродные потенциалы возникают в результате образования на границе металла и водного раствора электролита двойного электрического слоя (ДЭС). Характер ДЭС и скачок потенциала в нем зависят как от прочности связи ионов в металле, так и от состава и концентрации электролита. Если уровень энергии катионов металла выше, чем в электролите, под действием полярных

молекул воды они переходят в раствор и, удерживаясь на поверхности электрода силами электростатического притяжения, образуют внешнюю положительную обкладку ДЭС. Внутренняя обкладка в этом случае отрицательна. Отрицательным считают и сам электродный потенциал. Он характерен для титана, цинка, железа, свинца. Если уровень энергии катионов в электролите выше, чем в металле, они осаждаются на поверхности электрода и частично внедряются в его кристаллическую решетку. Раствор при этом заряжается отрицательно. Положительный электродный потенциал типичен для четырехвалентного олова, меди, ртути, серебра.

Наряду с вышеописанными существуют инертные (не вступающие в химические реакции с раствором) электроды, потенциал которых зависит только от окислительно-восстановительных свойств раствора. Так, если платину поместить в раствор окислителя, она теряет электроны (окисляется), а если в раствор восстановителя – приобретает (восстанавливается). Раствор в первом случае заряжается отрицательно, во втором – положительно.

Подчеркнем, что во всех перечисленных случаях причиной возникновения скачков потенциала для электронно-проводящих материалов являются окислительно-восстановительные реакции причем толщины образующихся в растворе обкладок ДЭС на много порядков больше, чем для сред с ионной проводимостью.

Окислительно-восстановительные потенциалы возникают на границе электронно-проводящих пород и водных растворов электролитов в результате процессов, аналогичных протекающим на поверхности электродов. Знак образующегося в растворе заряда, если поле не искажено металлическими включениями, попавшими в скважину при бурении, обусловлен электрохимическими свойствами пластовых вод, промывочной жидкости и слагающих породу минералов. Часто верхняя часть рудного тела заряжена положительно, а нижняя – отрицательно, что связано с различием окислительно-восстановительных условий в верхней и нижней частях разреза.

Величины электродных и окислительно-восстановительных потенциалов

измеряют по отношению к эталонному (водородному) электроду, потенциал которого равен нулю. В этом случае минералы, слагающие сульфидные руды, можно считать аналогами «электроположительных» электродов – заряд, образующийся против них в растворе обычно отрицателен. Однако при повышении окислительных свойств раствора знак может измениться. Графит, антрацит, шунгит, магнетит – аналоги инертных электродов, потенциал которых обусловлен только окислительно-восстановительными свойствами растворов. В промывочной жидкости против них чаще образуется значительный положительный заряд.

Оборудование и материалы

1. Палетки, номограммы для работы.
2. Персональный компьютер.
3. Карандаш, ластик, линейка.
4. Задача (выдаётся преподавателем).

Указания по технике безопасности

1. Перед включением ПЭВМ пользователь должен проверить: отсутствие посторонних предметов на клавиатуре, в том числе воды.
2. Включение ПЭВМ производится на мониторе, а затем на системном блоке.
3. ПЭВМ подключается в трех полюсную розетку электрической сети 220 В.
4. Рабочие места с ПЭВМ по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку преимущественно слева.
5. Искусственное освещение в помещениях с ПЭВМ осуществляется системой общего равномерного освещения с использованием светильников местного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне рабочего документа должна быть 300 - 500 лк.

6. При возгорании ПЭВМ и его периферийных устройств их надлежит немедленно отключить от розетки. Тушение ПЭВМ осуществляется только с помощью углекислого или порошкового огнетушителей.

Задание

1. Вычислить и построить статическую амплитуду ПС для чистого песчаника, залегающего в глинах с максимальной адсорбционной способностью $q = q_{\max}$, если произошло обводнение средней части пласта ($\rho_v' = 0,5$ Омм).

2. Указать стрелками направление диффузии и полярность скачков потенциалов на границах: $\rho_v = 0,045$ Омм, $\rho_\phi = 1$ Омм.

Порядок выполнения

1. Отмечаются направление диффузии и полярность скачков потенциалов как на рисунке 1.1.

2. С помощью кривых на рисунке 1.2 определяются:

$$E_2 = 58 \lg(1/0.045) = 80 \text{ мВ};$$

$$E_1 = -11,6 \lg(1/0.045) = -16 \text{ мВ};$$

$$E_1' = -12,5 \text{ мВ}; E'' = -3,5 \text{ мВ}.$$

При построении статической амплитуды скачки потенциала откладываются от нулевой линии; $\Delta E = 80 - (-16) = 96 \text{ мВ}$ (расчет производится при температуре 18°C). Аномалия в месте прорыва воды отсутствует.

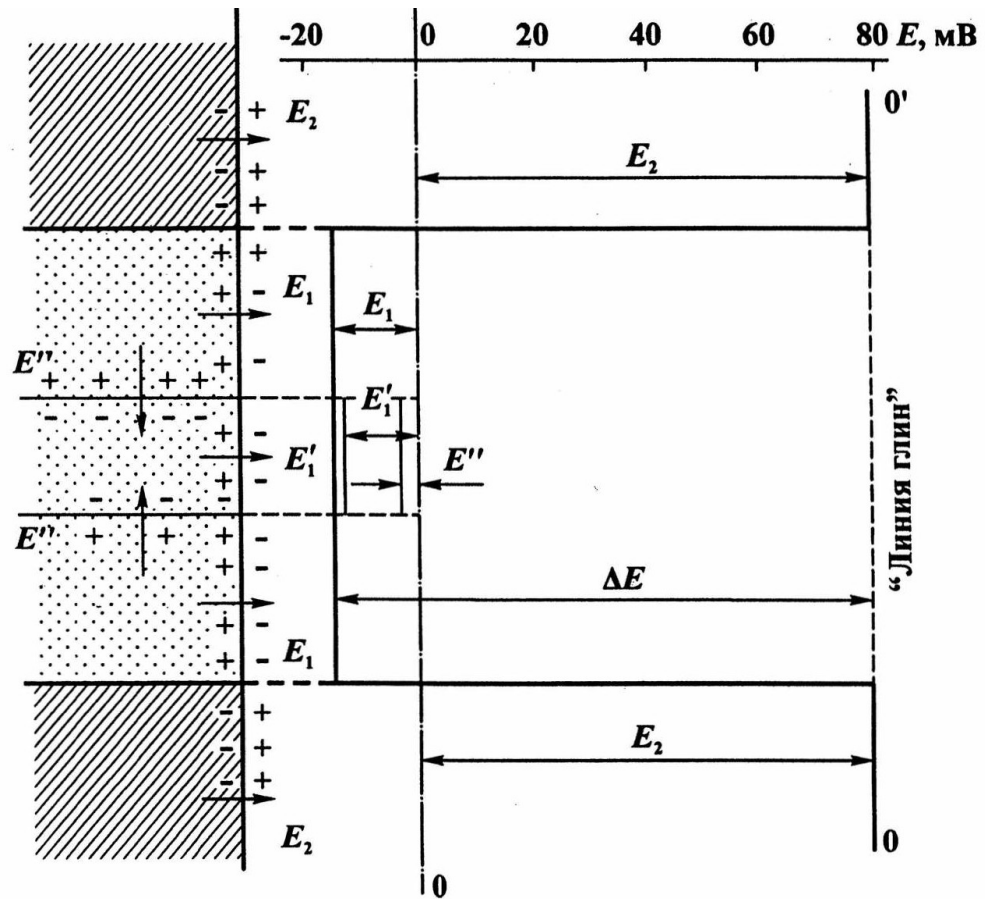


Рисунок 1.1 – Пример построения статической амплитуды ПС в пласте с прорывом более пресной воды в средней его части

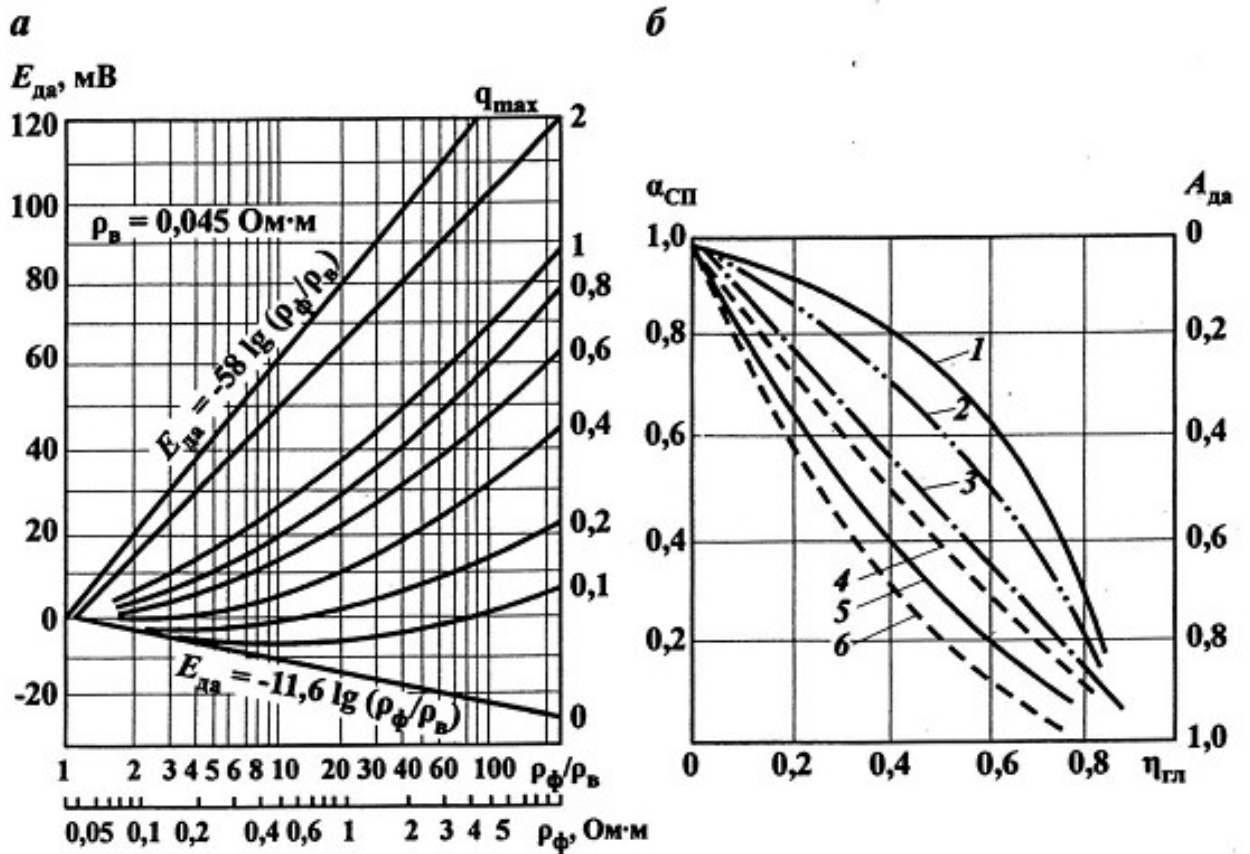


Рисунок 1.2 – Зависимость диффузионно-адсорбционных потенциалов от

свойств пород и растворов: а – $E_{\text{да}} = f(\rho_{\text{ф}}/\rho_{\text{в}})$ (раствор NaCl), шифр кривых – q; б – $\alpha_{\text{сп}} = f(\eta_{\text{гл}})$; 1 – Узень (юра); 2 – Трехозерное (юра); 3 – широтное Приобье (юра); 4, 5 – Сахалин (триас); 6 – степной Крым (верхний мел)

Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Начерченный рисунок.
3. Результаты расчётов.
4. Палетки, номограммы и формулы, используемые при расчётах.
5. Выводы, вытекающие из результатов работы.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Контрольные вопросы

1. Как образуются диффузионно-адсорбционные потенциалы?
2. Как найти диффузионно-адсорбционную ЭДС?
3. Что такое доннановская ЭДС?
4. Диффузионно-адсорбционная активность горных пород?
5. Как проявляется фильтрационная активность?
6. Как образуются окислительно восстановительные потенциалы?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Основная литература:

1. Лукьянов, Э. Е. Информационно-измерительные системы геолого-технологических и геофизических исследований в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2010. – 816 с.

2. Лукьянов, Э. Е. Геолого-технологические исследования и геофизические исследования в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов. – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2009. – 752 с.

3. Латышова, М.Г. Практическое руководство по интерпретации данных ГИС: учебное пособие для вузов / Под редакцией М.Г. Латышовой, В.Г. Мартынова, Т.Ф. Соколовой. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. – 327 с.

2. Дополнительная литература:

1. Геофизические исследования скважин: учебное пособие для ВУЗа / Под редакцией В. М. Добрынина, Б. Ю. Вендельштейна, Р. А. Резванова, А. Н. Африкяна. – М.: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М Губкина, 2004. – 400 с.

2. Шнурман, И. Г. Изучение терригенных коллекторов Предкавказья по результатам геофизических исследований скважин / И. Г. Шнурман – Краснодар: Просвещение – Юг, 2003. – 397 с.

3. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом / под редакцией В.И. Петерсилье, В.И. Пороскуна, Г.Г. Яценко. – Москва-Тверь: ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003. – 260 с.

4. Электронный курс лекций.

3. Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Тромсё (Universiti of Tromsø), Норвегия.

2. [http://www.gtogniga.org/inbo\[es - Геологический портал GeoKniga.](http://www.gtogniga.org/inbo[es)

3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.

Лабораторная работа № 2

Тема: Физические основы методов кажущегося сопротивления (КС).

Цель работы

- Закрепление теоретических знаний лекционного материала.
- Определение границ пластов-коллекторов.
- Снятие значений ρ_k с кривой КС.
- Определение зонда, его длины и точки записи по шифру кривой.

Теоретическая часть

Как и в электроразведке, предпосылками методов электрического каротажа является возможность существования в геологической среде, окружающей скважину, электромагнитного поля, состоящего из суммы электрического и магнитного и приводящего к существованию в земной коре электромагнитных волн. Поле описывается уравнениями Максвелла и условно разделяется в зависимости от частоты поля на три модели: стационарную (постоянное электрическое поле, где частота стремится к нулю), полустационарную (электромагнитное поле средних частот, или индукционное поле) и волновую (электромагнитное поле высоких и сверхвысоких частот).

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. 2.1, а). В результате перемещения зонда по скважине регистрируется кривая изменения силы тока.

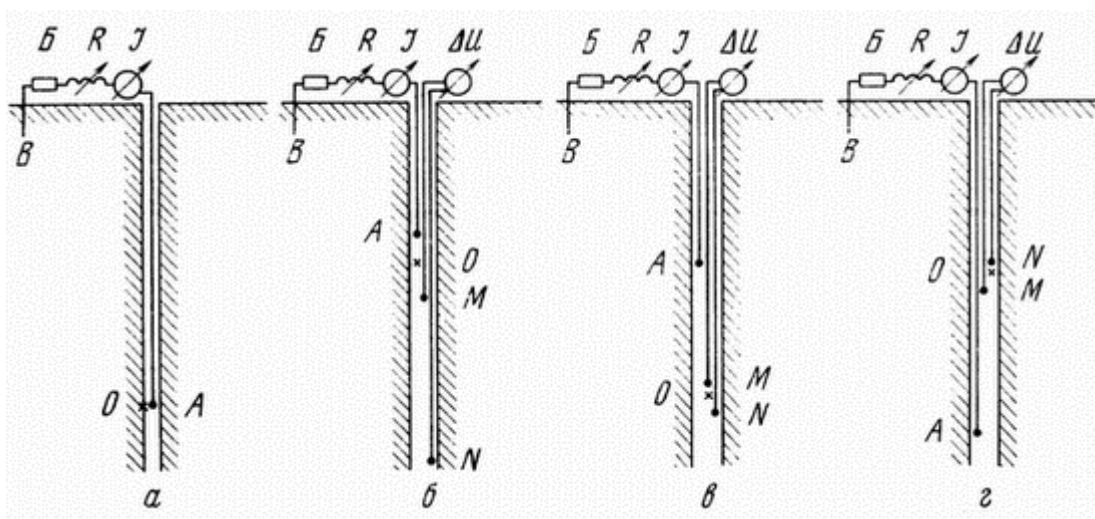


Рисунок 2.1 – Различные зонды для электрического каротажа скважин: А, В – питающие электроды, Б – батарея или другой источник питания, R – реостат для регулировки силы тока, I – прибор, измеряющий силу тока, MN – приемные электроды, О – точка записи, к которой относят результаты замеров; а – одноэлектродный зонд токового каротажа, б – четырехэлектродный потенциал-зонд, в – четырехэлектродный подошвенный (последовательный) градиент-зонд, г – четырехэлектродный кровельный (обращенный) градиент-зонд

Чаще всего при работах методом кажущегося сопротивления (КС) используются четырехэлектродные зонды, в которых три электрода располагаются в скважине, а четвертый электрод заземляется на поверхности, вблизи от скважины. Через электроды А и В, называемые токовыми (питающими), пропускают ток I, создающий электрическое поле в породе. При помощи электродов М и N, называемых измерительными (приемными), измеряют разность потенциалов ΔU между двумя точками данного электрического поля.

Скважинный трехэлектродный зонд, состоящий из одного питающего А и двух приемных М и N электродов, называется однополюсным (или зондом прямого питания). Трехэлектродный зонд, состоящий из одного приемного М и двух питающих А и В электродов, называется двухполюсным (или зондом взаимного питания). В обоих случаях расчет КС ведется по формуле метода сопротивления:

$$\rho_k = k \cdot \Delta U / I, \quad (2.1)$$

где k – коэффициент, зависящий от расстояния между электродами в зонде;

ΔU – разность потенциалов между приемными электродами М и N;

I – сила тока в питающей цепи АВ.

В трехэлектродном зонде:

$$k = 4\pi \cdot AM \cdot AN / MN \text{ или}$$

$$k = 4\pi \cdot MB \cdot NB / MN. \quad (2.2)$$

где AM, AN, MN, MB, NB – расстояния в метрах между соответствующими электродами.

Для перевода кривой ΔU в кривую ρ_k изменяется лишь масштаб записи с учетом величины коэффициента установки и силы тока.

Название зонда складывается из обозначения электродов, расположенных в скважине сверху вниз и расстояний между ними. Например, в зонде A2M0,5N сверху расположен питающий электрод А, далее в двух метрах – приемный электрод М, а в пятидесяти сантиметрах от последнего – электрод N. Различают потенциал- и градиент-зонды (рис. 2.1, рис. 2.2).

В потенциал-зонде расстояние между парными MN или АВ электродами превышает расстояние между непарными электродами. Точка записи, к которой относится измеренное кажущееся сопротивление, располагается посередине между сближенными электродами (точка О).

В градиент-зонде расстояние между парными электродами в пять-десять раз меньше расстояния до непарного. Точка записи находится посередине MN (AB), т. е. между сближенными электродами.

Если парные электроды располагаются выше непарного, то зонд называется кровельным (или обращенным), а если наоборот, то подошвенным (или последовательным).

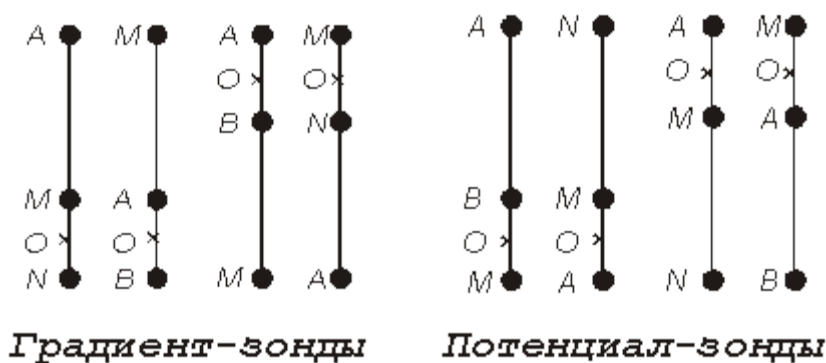


Рисунок 2.2 – Схемы градиент- и потенциал-зондов:

А и В – токовые электроды, М и N – измерительные электроды, О – точка записи зонда

Размер (длина) зонда:

- градиент-зонда – расстояние между удаленным электродом и точкой записи АО, МО, ОМ и ОА (рис. 2.2);
- потенциал-зонда – расстояние между сближенными электродами ВМ, МА, АМ и МА.

Обычно размер зонда меняется от 0,5 до 3 м. Радиус исследования пород вокруг скважины примерно равен размеру зонда. Для потенциал-зонда глубинность исследования примерно равна утроенной его длине ВМ, а для градиент-зонда расстоянию АО, т.е. при равных длинах глубинность больше у потенциал-зондов.

Кривые КС, полученные потенциал-зондом, отличаются симметричной формой. Максимумами выделяются центры слоя с повышенными сопротивлениями, а минимумами – с пониженными. Границы пласта отбиваются по середине спада кривой ПЗ (рис. 2.3, д, е).

Подошвенный градиент-зонд четким максимумом на кривой КС отбивает подошву пласта, а минимумом – кровлю пласта повышенного сопротивления, а кровельный градиент-зонд максимумом КС выявляет кровлю пласта и минимумом подошву пласта повышенного сопротивления. Таким образом, с помощью градиент-зонда легко выявить кровлю или подошву пласта (рис. 2.3).

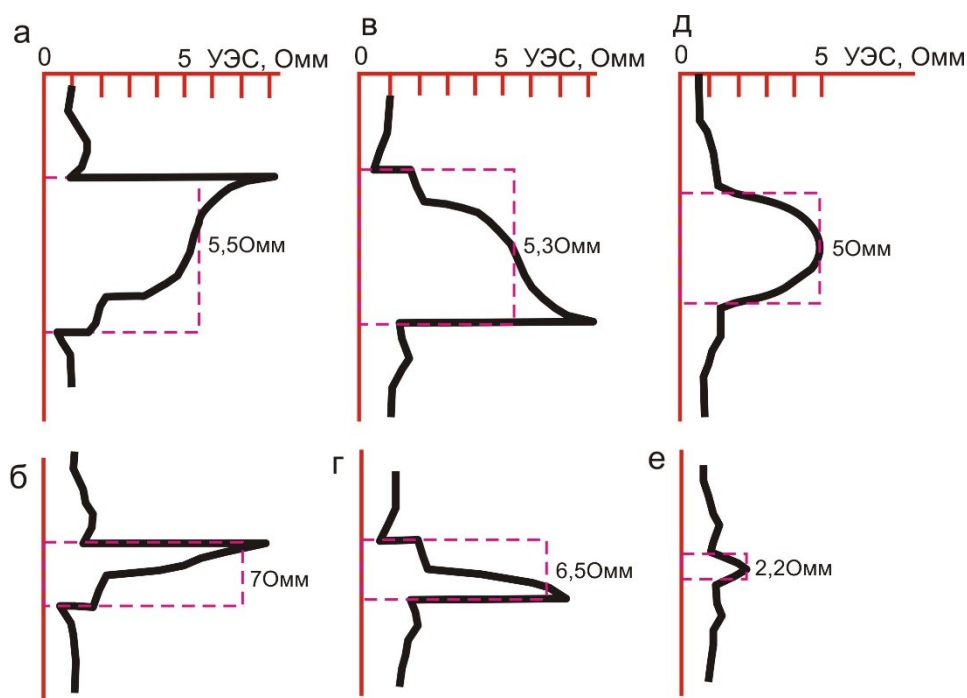


Рисунок 2.3 – Кривые ρ_k при пересечении пластов высокого сопротивления

а, б – кровельный градиент-зонд;

в, г – последовательный градиент-зонд;

д, е – потенциал-зонд;

пунктирная линия – кровля, подошва пласта и снятое значение ρ_k .

Оборудование и материалы

1. Карандаш, ластик, линейка.
2. Диаграмма кажущегося сопротивления (выдаётся преподавателем).

Указания по технике безопасности

1. Рабочие места по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку преимущественно слева.

2. Искусственное освещение в помещениях осуществляется системой общего равномерного освещения с использованием светильников местного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне рабочего документа должна быть 300 - 500 лк.

Задание

1. Провести границы кровлю и подошву пласта по диаграмме КС, выданной преподавателем.
2. Снять отмеченное значение ρ_k , с диаграммы КС.
3. По конфигурации кривой дать название зонда.
4. Визуально определить: пласт является высокоомным или низкоомным.
5. Составить письменный отчет.
6. Защитить выполненную работу.

Порядок выполнения работы провести аналогично, рассмотренным ниже примерам.

Пример на рисунке 2.4:

Кровля 2061 м, подошва 2066 м.

$\rho_k = 10$ Омм для I масштаба, $\rho_k = 170$ Омм для II масштаба.

Подошвенный градиент-зонд.

Пласт высокого сопротивления.

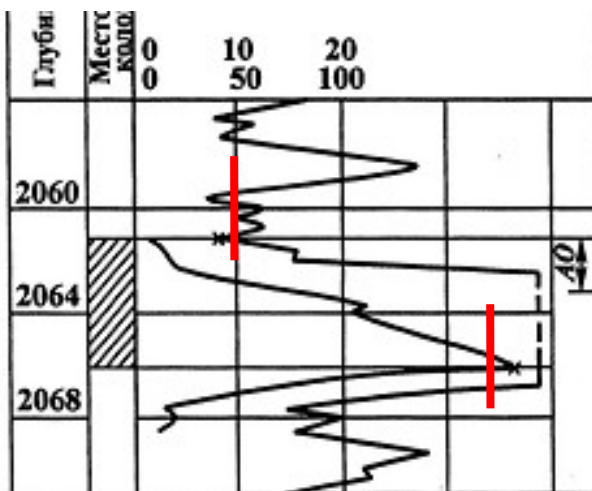


Рисунок 2.4 – Фрагмент кривой кажущегося сопротивления

По шифру зонда определить его название, длину и точку записи.

Пример: А6.0М1N.

Подошвенный градиент-зонд, однополюсный, длина 6,5 м, точка записи между сближенными электродами М и N.

Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- диаграмму кривой;
- полученные результаты;
- выводы, вытекающие из результатов работы.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Контрольные вопросы

1. Стандартные зонды КС являются фокусированными?
2. Понятие «радиус исследования» метода, от чего он зависит?
3. Какой параметр измеряет зонд?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Основная литература:

1. Лукьянов, Э. Е. Информационно-измерительные системы геолого-технологических и геофизических исследований в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2010. – 816 с.

2. Лукьянов, Э. Е. Геолого-технологические исследования и геофизические исследования в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2009. – 752 с.

2. Дополнительная литература:

1. Жданов, М. С. Геофизическая электромагнитная теория и методы. – М. С. Жданов. Монография. – М.: Науч. мир, 2012. – 679 с.

2. Стрельченко, В. В. Геофизические исследования скважин: учебник / В. В. Стрельченко. - М.: Недра, 2008. - 551 с. : ил. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). - Библиогр.: с. 541. - Прил.: с. 542-548. - ISBN 978-5-8365-0314-7.

3. Геофизические исследования скважин / Под редакцией В. М. Добрынина, Б. Ю. Вендельштейна, Р. А. Резванова, А. Н. Африкяна. Учебное пособие для ВУЗа – М.: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004. – 400 с.

4. Электронный курс лекций.

3. Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Тромсё (Universiti of Tromsø), Норвегия.

2. <http://www.gtokniga.org/inboles> - Геологический портал GeoKniga.

3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.

Лабораторная работа № 3

Тема: Физические основы стандартного каротажа

Цель работы

- Закрепление теоретических знаний лекционного материала.
- Выполнить корреляцию разрезов скважин, по электрическим методам.

Теоретическая часть

Корреляция (сопоставление) разрезов скважин заключается в выделении в разрезе характерных горизонтов (пластов), обладающих одинаковой геофизической характеристикой, и определения их пространственного залегания. Основой для корреляции разрезов скважин являются керновый материал, частично шлам, и данные каротажа.

Использование данных каротажа обусловлено несколькими факторами:

- 1) особенностью форм кривых различных методов каротажа против различных пластов и литологических разностей;
- 2) степенью их детальности;
- 3) возможностью построения корреляционных схем в интервалах бескернового бурения.

Для построения корреляционных схем применяют методы каротажа, наиболее отражающие литологическое изменение пород в условиях разреза скважины. К ним относятся в первую очередь каротаж сопротивлений (КС), каротаж потенциалов собственной поляризации (ПС), гамма-каротаж (ГК), гамма-гамма-каротаж (ГГК), кавернометрия.

Для облегчения корреляции предварительно на диаграммах выделяют участки каротажных кривых – *реперы*, которые с выдержанностью их конфигурации и приуроченностью к известным геологическим горизонтам позволяют точно привязать геофизический разрез скважины к стратиграфической колонке.

В качестве реперов в терригенных разрезах служат:

1) пласты песчаников, известняков и мергелей, отмеченные максимумами на диаграммах КС, нейтронного гамма-каротажа (НГК), акустического каротажа (АК);

2) мощные толщи однородных глин, отмечаемые низкими значениями КС, высокими показаниями ПС и ГК.

В разрезах, сложенных карбонатными и гидрохимическими осадками, в качестве реперов обычно используют пласты и пачки песчано-глинистых пород, залегающих среди плотных карбонатов, характеризующихся минимальными значениями КС, увеличенным диаметром скважины и высокими показаниями ГК. Для обозначения реперов применяют систему буквенных или цифровых символов.

При составлении корреляционных схем диаграммы по скважинам располагают в порядке их расположения на местности вдоль направления, по которому предполагается изучить те или иные изменения.

Правила корреляции диаграмм заключаются в выделении на них реперов и соединении их границ (кровля и подошва пластов) корреляционными линиями. В дальнейшем корреляционными линиями соединяют и границы пластов, не столь характерно отмечающиеся на коррелируемых диаграммах (рис. 3.1).

В результате анализа корреляционных схем по изменению геофизических характеристик пластов, их мощности и расстояния между ними выявляют фациальное изменение и выклинивание пластов, несогласное залегание, тектонические нарушения и т.п.

Увязку данных каротажа со стратиграфической и литологической характеристиками изучаемого разреза выполняют на основе типового геолого-геофизического разреза месторождения.

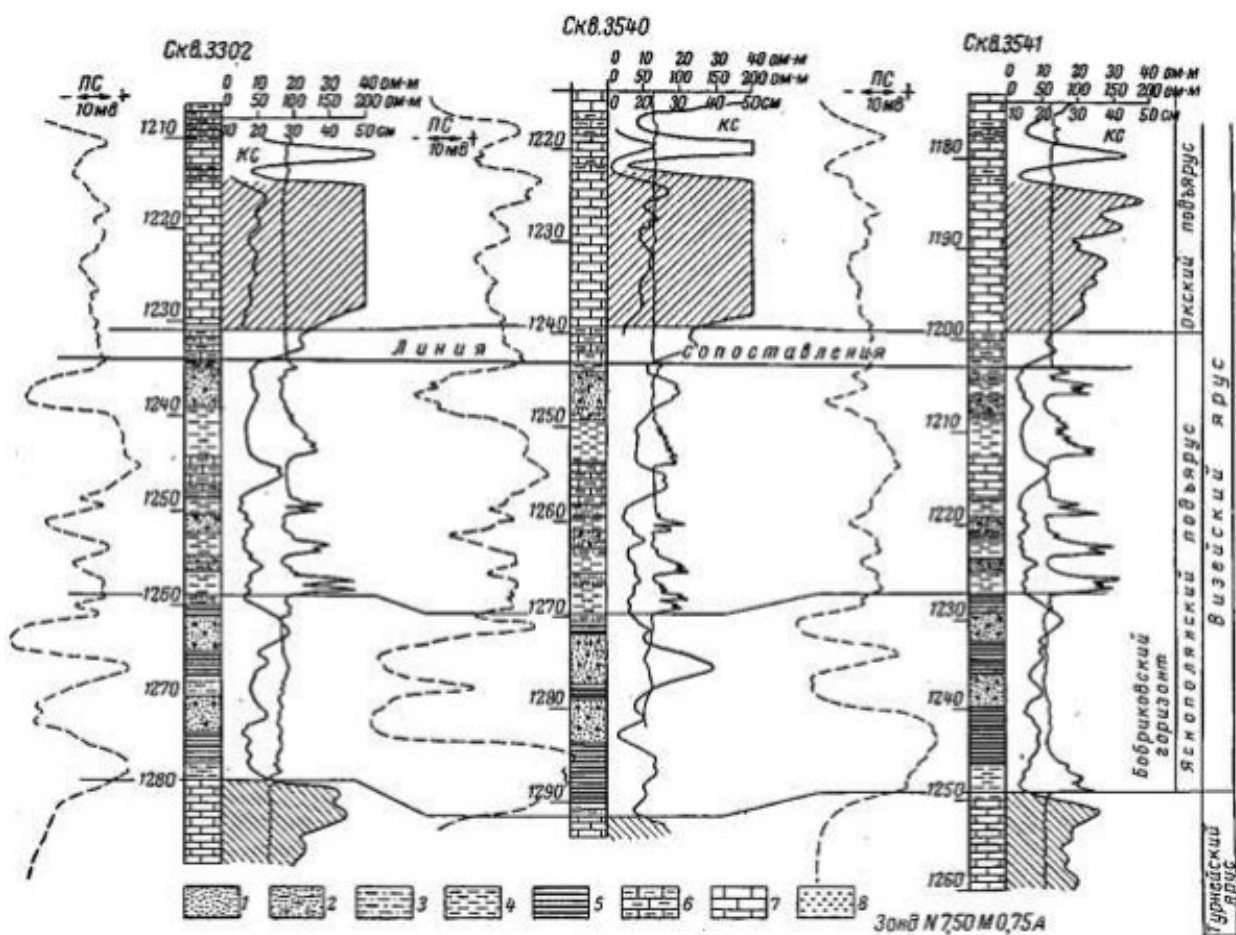


Рисунок 3.1 – Рис. 13. Сопоставление геолого-геофизических разрезов терригенной толщи нижнего карбона (подошва тульского горизонта в скв. 3302 находится на глубине 1248 м, в скв.3540 – 1258 м, в скв.3541 – 1217 м): 1 – песчаники; 2 – песчаники глинистые; 3 – алевролиты; 4 – аргиллиты; 5 – аргиллиты с прослоями угля; 6 – известняки глинистые; 7 – известняки; 8 – нефтеносность

Оборудование и материалы

1. Персональный компьютер.
2. Диаграммы стандартного каротажа по 3-м скважинам.

Указания по технике безопасности

1. Перед включением персонального компьютера (ПК) пользователь должен проверить отсутствие посторонних предметов на клавиатуре, в том числе и влаги.
2. Включение ПК производится на мониторе, а затем на системном блоке.
3. ПК подключается в трех полюсную розетку электрической сети 220 В.

4. Рабочие места с ПК по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку преимущественно слева.

5. Искусственное освещение в помещениях с ПК осуществляется системой общего равномерного освещения с использованием светильников местного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне рабочего документа должна быть 300 - 500 лк.

6. При возгорании ПК и его периферийных устройств их надлежит немедленно отключить от розетки. Тушение ПК осуществляется только с помощью углекислого или порошкового огнетушителей.

Задание

1. Проследить залегание одних и тех же пластов разных скважинах.
2. Определить основные признаки пласта, по которым его можно выделить в других скважинах.

Порядок выполнения

1. На ПК вынести на одно поле кривые стандартного каротажа по одной скважине.
2. Выделить в разрезе пласты согласно данным, выданным преподавателем.
3. Выделить эти пласты в двух других скважинах.
4. Выбрать линию отвеса и провести корреляцию по 3-м скважинам.

Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- планшет корреляции с кривыми ГИС;
- выводы, вытекающие из результатов работы.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Контрольные вопросы

1. По каким признакам можно выделить один и тот же пласт в разных скважинах?
2. За линию отвеса выбрана кровля или подошва пласта? Почему?
3. Как меняется мощность пласта от скважины к скважине?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Основная литература:

1. Фоменко, Н.Е. Лабораторный практикум по дисциплине «Геофизические исследования в скважинах» / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2011. – 24 с.
2. Богданович, Н. Н., Десяткин, А. С., Добрынин В. М. Геофизические исследования скважин: справочник мастера по промысловой геофизике / Н. Н. Богданович и др., М.: Инфра-Инженерия, 2009. – 958 с.
3. Лукьянов, Э. Е. Геолого-технологические исследования и геофизические исследования в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2009. – 752 с.
4. Гроссу А.Н., Боровик Н.Ю., Попов В.В. Методические указания по курсу «Комплексирование геофизических методов» / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2002. С. 3-14.
5. Тюкавкина О.В. Методическое указание к лабораторной работе по дисциплине «Промысловая геофизика» часть I для студентов специальности 090600 – «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» / Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Тюменский гос. Тех. Ун-т» Сургутский ин-т нефти и газа, Сургут, 2004. С. 9-23.

2. Дополнительная литература:

1. Жданов, М. С. Геофизическая электромагнитная теория и методы. – М. С. Жданов. Монография. – М.: Науч. мир, 2012. – 679 с.

2. Стрельченко, В. В. Геофизические исследования скважин: учебник / В. В. Стрельченко. - М.: Недра, 2008. - 551 с. : ил. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). - Библиогр.: с. 541. - Прил.: с. 542-548. - ISBN 978-5-8365-0314-7.

3. Геофизические исследования скважин / Под редакцией В. М. Добрынина, Б. Ю. Вендельштейна, Р. А. Резванова, А. Н. Африкяна. Учебное пособие для ВУЗа – М.: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004. – 400 с.

4. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом / под редакцией В.И. Петерсилье, В.И. Пороскуна, Г.Г. Яценко. – Москва-Тверь: ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003. – 260 с.

5. Электронный курс лекций.

3. Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Тромсё (Universiti of Tromsø), Норвегия.

2. [http://www.gtokniga.org/inbo\[es - Геологический портал GeoKniga.](http://www.gtokniga.org/inbo[es)

3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.

Лабораторная работа № 4

Тема: Физические основы бокового каротажного зондирования.

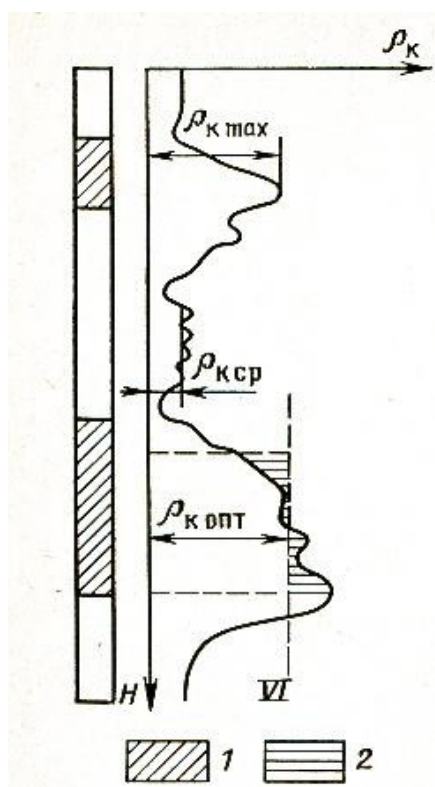
Цель работы

- Закрепление теоретических знаний лекционного материала.
- Определение УЭС пластов-коллекторов.
- Приобретение навыков работы с каротажными диаграммами и палетками.

Теоретическая часть

Интерпретация каротажных кривых КС, как и для других методов ГИС, состоит в: 1) обработке диаграмм; 2) геофизической интерпретации; 3) геологической интерпретации.

Обработка диаграмм сводится к приведению результатов к определенным глубинам и системе отсчетов, к учету и устранению аппаратных и других помех, нахождению границ пластов и снятию показаний. Однозначно определяются толщины мощных пластов (длина зонда меньше мощности пластов). Для пластов малой мощности определение границ



затруднено. С целью проведения последующей количественной интерпретации, снимают (определяют) «существенные значения» ρ_k , либо средние ($\rho_k^{ср}$), либо максимальные (ρ_k^{max}), либо оптимальные (ρ_k^{opt}) (рисунок 4.1).

Рисунок 4.1 – Определение существенных

значений ρ_k для градиент-зонда:

1 –исследуемый пласт, 2- вмещающие породы

Геофизическая интерпретация проводится с целью определения ρ_n на основе решения обратной задачи, то есть методом подбора наблюдаемой кривой с теоретической с привлечением априорных данных. Условия, обеспечивающие единственность решения, зависят от модели среды.

Теоретические кривые метода КС являются результатом решения прямой задачи и выражают зависимость ρ_k от следующих параметров:

ρ_n – УЭС пласта,

ρ_c – УЭС промывающей жидкости (бурового раствора),

L_z – длина зонда (для градиент-зондов расстояние AO или BO , а для потенциал-зондов – расстояние AM),

d_c – диаметр скважины,

ρ_{zn} – УЭС зоны проникновения,

D – диаметр зоны проникновения.

Если пласты непроницаемые, то последние два параметра не используются. Теоретические кривые для таких пластов являются двухслойными, а совокупное их группирование называется палеткой бокового каротажного зондирования (БКЗ). Палетки строятся в билогарифмическом масштабе. По оси абсцисс откладываются значения L/d , а по оси ординат ρ_k/ρ_c . Вид двухслойной палетки БКЗ приведен на рисунке 4.2.

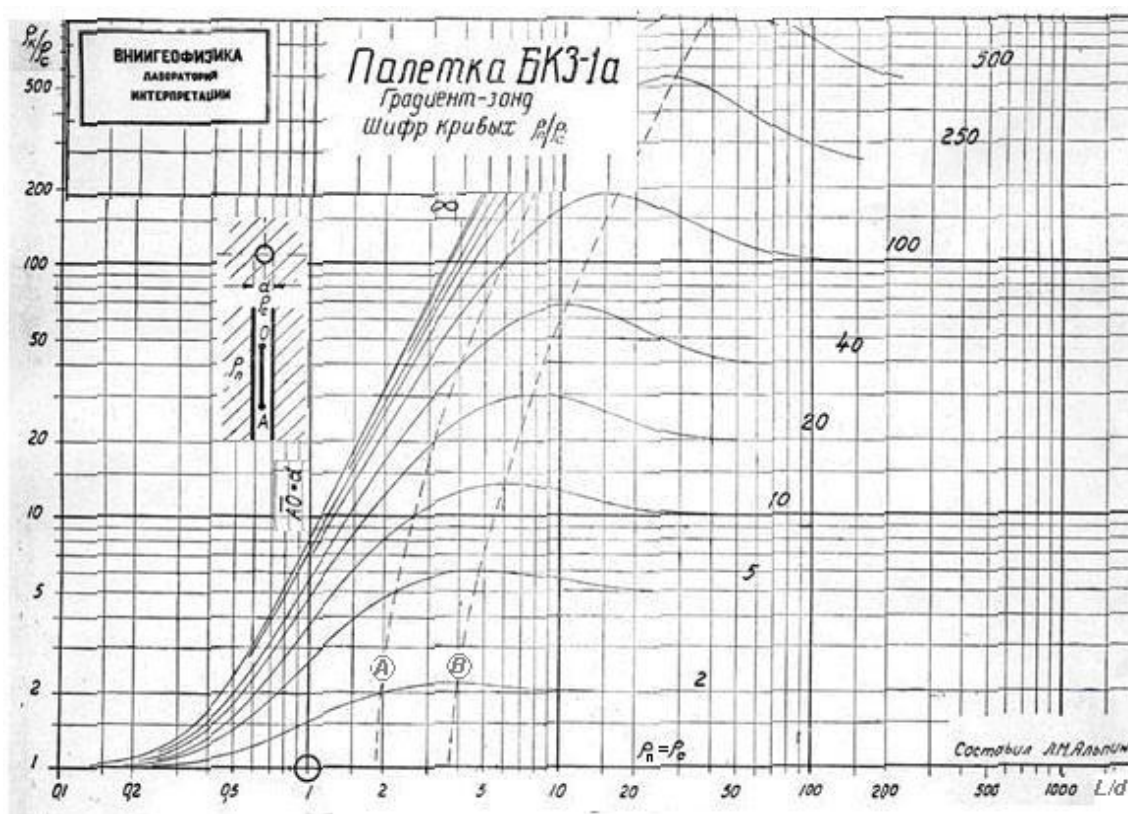


Рисунок 4.2 – Вид двухслойной палетки БКЗ

А – кривая правых асимптотических кривых, В – кривая max и min кривых

Для проницаемых пластов, в которые происходит проникновение промывной жидкости, составлены (рассчитаны) трехслойные палетки БКЗ. Они представляют собой, как и двухслойные, последовательный набор графиков зависимости ρ_k/ρ_c от L/d с шифром ρ_n/ρ_c (рисунок 3.3), притом, что кривые каждой трёхслойной палетки отличаются по параметрам D/d_c и ρ_{zn}/ρ_c (D – диаметр зоны проникновения). Поэтому 2-х-слойная палетка одна, а 3-х-слойных палеток целый набор.

Цель БКЗ в определении истинного $\rho_{ист}$, то есть ρ_n . БКЗ заключается в измерении ρ_k в заданном интервале скважины несколькими однотипными зондами (градиент- или потенциал-), отличающимися по параметру L . Практика показывает, что наиболее эффективно проводить БКЗ градиент-зондами, в которых длины увеличиваются по геометрической шкале с показателем 2 или 2,5 в диапазоне $L = 1 - 30 d_c$. Примерная таблица зондов БКЗ, где один (А 2.0М 0.5N) является стандартным, следующая:

А 0,4М 0,1N

$A\ 1.0M\ 0.1N$

$A\ 2.0M\ 0.5N$

$A\ 4.0M\ 0.5N$

$A\ 8.0M\ 1.0N.$

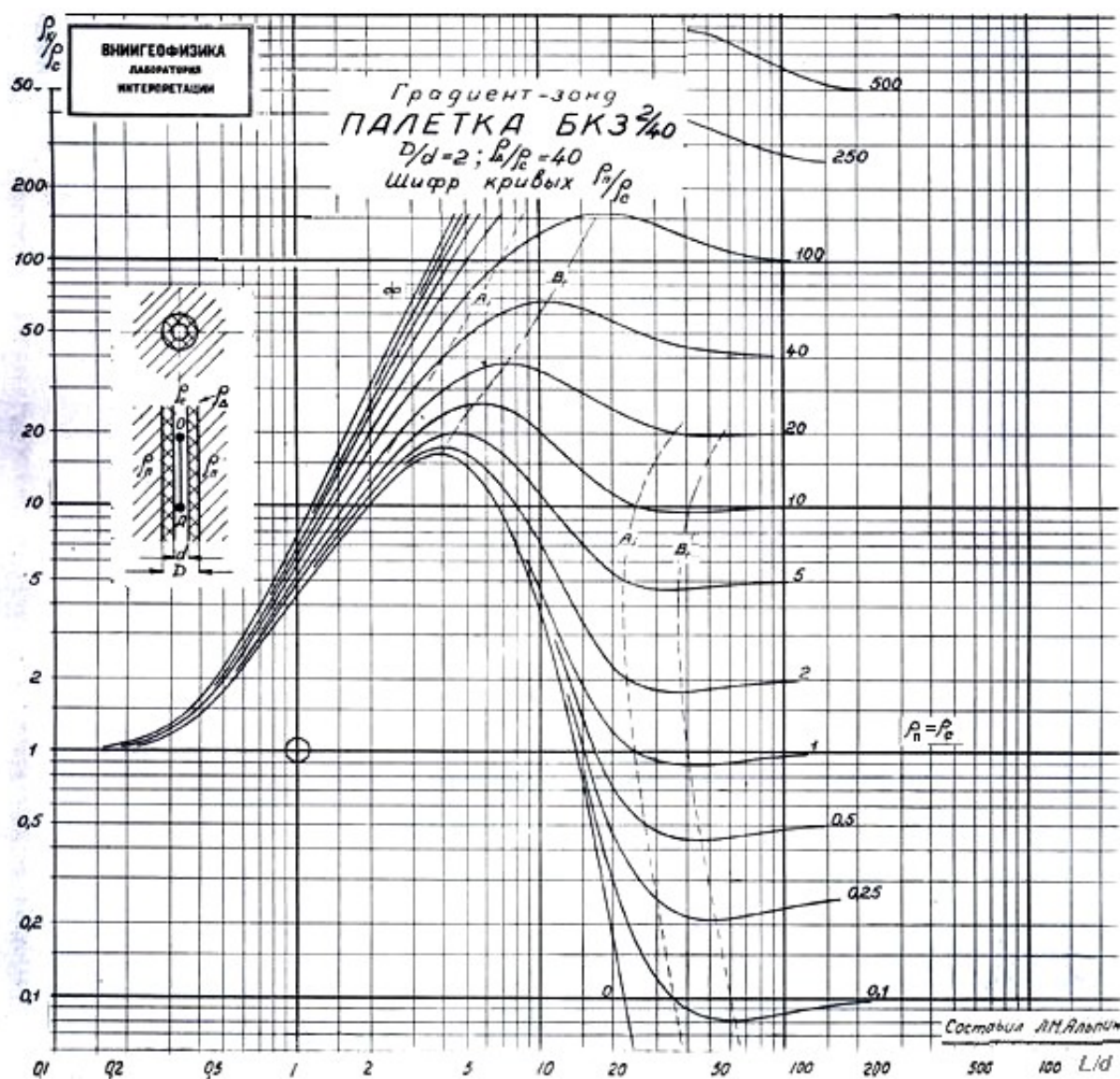


Рисунок 4.3 – Вид трёхслойной палетки БКЗ

A – кривая правых асимптотических кривых, B – кривая $\max$ и $\min$ кривых

В интервале проведения БКЗ необходимо определять ρ_c и d_c . Кроме того, выполняют измерения микрозондами.

Обработка диаграмм заключается в выделении границ пластов, отсчете существенных значений ρ_k и построении кривых БКЗ. Пластами большой мощности считаются пласты с $h > 15 - 20$ м, а малой мощности – пласты с $h < 6$ м. Если пласты большой мощности, то снимают средние или оптимальные

значения ρ_k . Для пластов средней мощности и являющихся высокоомными используют $\rho_k^{сред}$ и ρ_k^{max} . Для пластов малой мощности с высокими значениями ρ_k снимают экстремальные значения. Кривые БКЗ, зарегистрированные в пластах средней и малой мощности, которые, как правило, преобладают в разрезах, приводят к кривым ρ_k для пластов неограниченной мощности.

Фактические кривые БКЗ строятся в том же масштабе что и теоретические. Процесс ручной количественной интерпретации заключается в следующем: кривую ρ_k вначале накладывают и перемещают по 2-х-слойной палетке БКЗ, соблюдая параллельность осей координат. Если фактическая кривая совпадает с 2-х-слойной теоретической, или укладывается между двумя соседними расчетными кривыми БКЗ, повторяя их форму, то делается заключение, что анализируемый пласт непроницаемый. В случае наличия повышающего или понижающего проникновения, фактические кривые не совпадают с теоретическими 2-х-слойной палетки. В первом случае отмечается крутой спад фактической кривой, а во втором нарастающий подъём (рисунок 4.4).

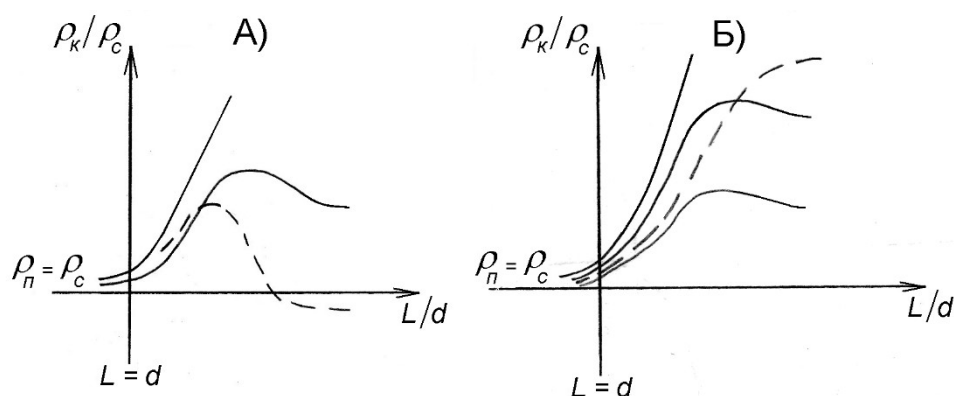


Рисунок 4.4 – Пример сопоставления наблюждённой и теоретической кривых БКЗ на 2-х-слойной палетке

А), Б) – случаи повышающего и понижающего проникновения фильтра бурового раствора в пласт

Как и для стандартных зондов КС, неблагоприятными условиями для использования БКЗ являются: 1) неоднородность разреза (тонкое чередование прослоев с различным ρ_n), 2) очень высокое или очень низкое ρ_n пластов.

На рисунке 3.5 приведено сопоставление кривых БКЗ с диаграммами кавернометрии и резистивиметрии в нефтегазовой скважине. Пример

количественной интерпретации приводится для интервалов продуктивных пластов (2510-2575 м), которыми являются песчаники. Им присвоены индексы 1 и 2. Интерпретация выполнялась в следующей последовательности:

1) Снимались оптимальные значения ρ_k , ρ_c , d_c , L и вычислялись параметры ρ_k/ρ_c и L/d_c (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Данные для построения фактических кривых зондирования

№п/п	L	d	ρ_k	ρ_c	L/d	ρ_k/ρ_c
1	0,45	0,22	12	37	2,05	0,32
	1,05	0,22	14	37	4,77	0,38
	2,25	0,22	5,2	37	10,23	0,14
	4,25	0,22	2,7	37	19,32	0,07
	8,5	0,22	4	37	38,64	0,11
2	0,45	0,21	13	35	2,14	0,37
	1,05	0,21	19	35	5,00	0,54
	2,25	0,21	8,5	35	10,71	0,24
	4,25	0,21	4,8	35	20,24	0,14
	8,5	0,21	4	35	40,48	0,11

2) Строились в билогарифмическом масштабе фактические кривые БКЗ (рисунок 4.5).

3) Сопоставлялись фактические кривые с теоретическими 2-х слойной палетки БКЗ и выполнялась оценка пластов на предмет проницаемости (рисунок 4.6).

В результате сопоставления установлено:

Пласт 1. Имеет место расхождение фактической кривой с двухслойной палеточной. Правая ветвь сечёт теоретические кривые и уходит вниз, что указывает на повышающее проникновение. Следовательно, пласт проницаемый. По сопоставлению левой ветви с теоретическими оценена зона проникновения, которая имеет параметры $\rho_n/\rho_c = 5$, что является основой для дальнейшей интерпретации кривой по трёхслойной палетке.

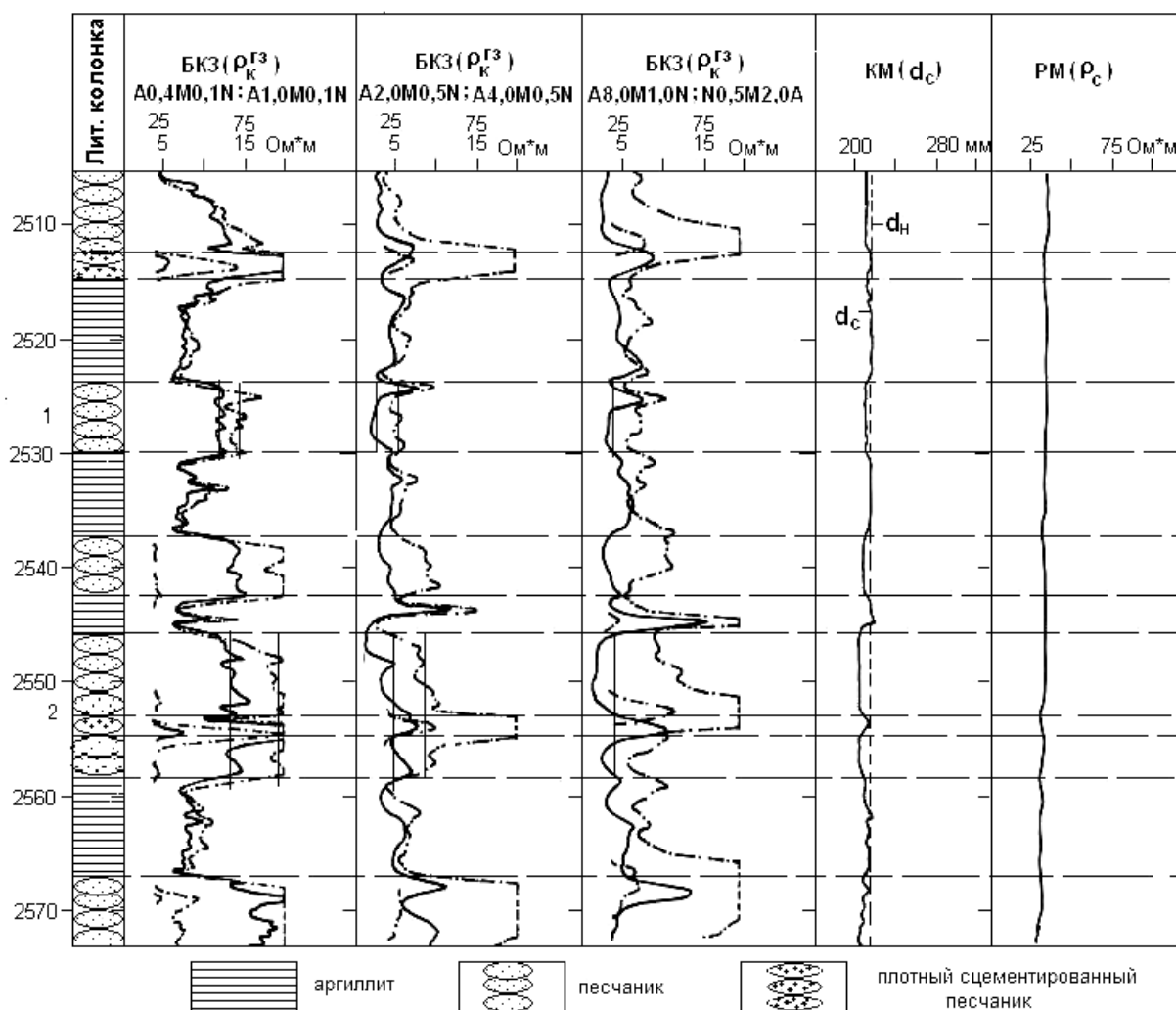


Рисунок 4.4 – Сопоставление каротажных диаграмм БКЗ в разрезе нефтегазовой скважины (Западная Сибирь)

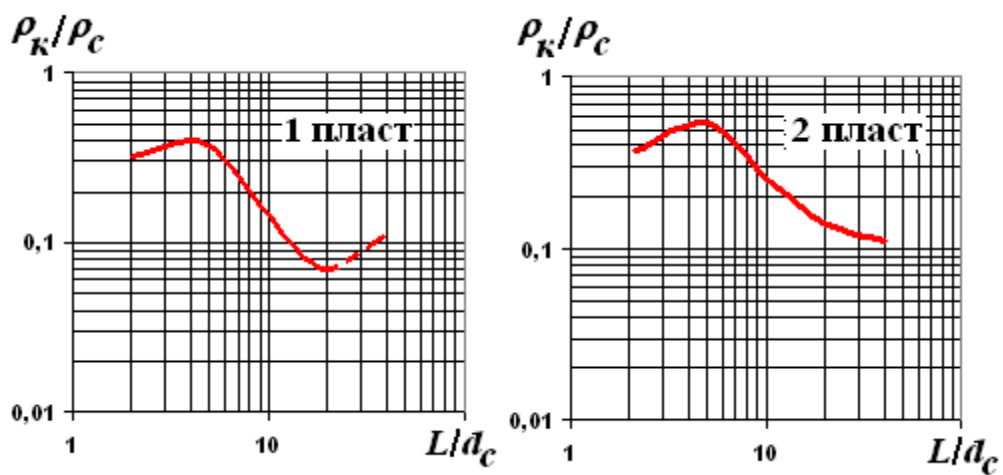


Рисунок 4.5 – Фактические кривые БКЗ

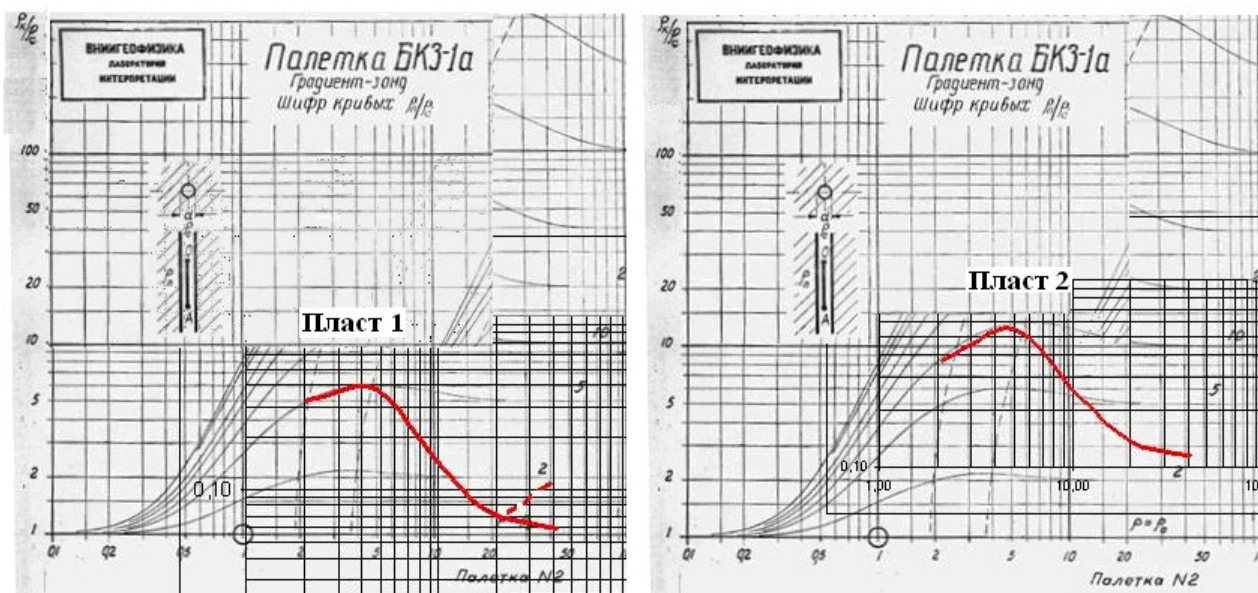


Рисунок 4.6 – Сопоставление фактических кривых БКЗ для пластов 1 и 2 с теоретическими двухслойной палетки 1А

Пласт 2. Наблюдается также несоответствие фактической кривой с теоретической 2-х слойной палетки. Правая ветвь сечёт теоретические кривые и уходит вниз, что указывает на повышающее проникновение. Левая ветвь совпадает с теоретической двухслойной. Зона проникновения имеет параметры $\rho_n/\rho_c = 10$.

4) Производилось сопоставление фактических кривых с теоретическими трёхслойных палеток, для чего из набора существующих выбраны трёхслойные палетки с параметрами:

- пласт 1 - $D/d_c = 2$; $\rho_n/\rho_c = 5$;
- пласт 2 - $D/d_c = 2$; $\rho_n/\rho_c = 10$.

Результаты сопоставления представлены на рисунке 4.7.

Получены следующие количественные показатели:

- пласт 1 - $\rho_n/\rho_c = 0,5$; $\rho_n/\rho_c = 5$; $D/d_c = 2$; $\rho_n = 18,5 \text{ Ом*м}$, $\rho_n = 185 \text{ Ом*м}$, $D = 0,43 \text{ м}$ и $h = 7 \text{ м}$;
- пласт 2 - $\rho_n/\rho_c = 1$; $\rho_n/\rho_c = 10$; $D/d_c = 2$; $\rho_n = 35,0 \text{ Ом*м}$, $\rho_n = 350 \text{ Ом*м}$, $D = 0,42 \text{ м}$ и $h = 9 \text{ м}$.

Искомые значения ρ_n и h сведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты количественной интерпретации данных БКЗ

№ пласта	ρ_n	h
1	18,5	7
2	35,0	9

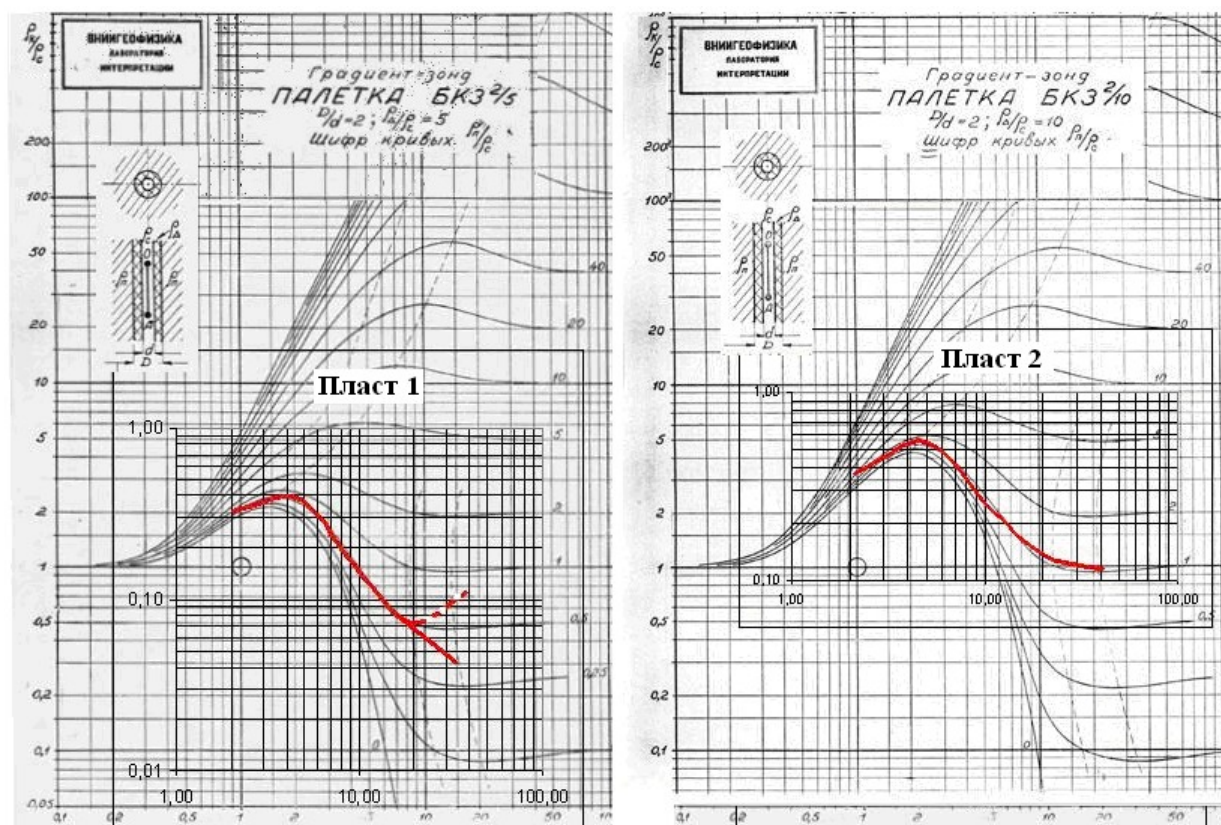


Рисунок 4.7 – Сопоставление фактических кривых БКЗ для пластов 1 и 2 с теоретическими трехслойными палетками 4А и 5А

Рассмотрение данных таблицы 4.2 показывает, что для пласта 1 $\rho_n = 18,5$ Ом*м соответствует УЭС водо-нефтенасыщенных пластов, а для пласта 2 $\rho_n = 35,0$ Ом*м - УЭС нефтенасыщенных пластов.

Геологическая интерпретация заключается в определении геологических характеристик разреза. Используются обе модификации КС: электропрофилирование одиночными зондами и электрозондирование, то есть БКЗ. Электропрофилирование применяют для нахождения границ пластов, а также в благоприятных условиях для литологического расчленения разрезов, выявления целевых объектов (нефте-, газо-, водоколлекторов, пластов угля, руд

и т. д.). БКЗ используют для оценки проницаемости (наличие или отсутствие зоны проникновения) и определения количественных характеристик (коэффициентов пористости, нефтегазонасыщенности, зольности и т. д.).

Ограничения метода КС:

- большое шунтирующее влияние скважины при $\rho_n/\rho_c > 200$ (столб бурового раствора служит шунтом);
- высокая погрешность в определении ρ_n пластов малой мощности при $\rho_n/\rho_{вм} > 20$ (ток ответвляется во вмещающие породы).

Оборудование и материалы

1. Карандаш, ластик, линейка, билогарифмический бланк.
2. Номограммы 2-х и 3-х слойные.
3. Диаграмма с кривыми БКЗ (выдаётся преподавателем).

Указания по технике безопасности

1. Перед включением ПЭВМ пользователь должен проверить отсутствие посторонних предметов на клавиатуре, в том числе и влаги.
2. Включение ПЭВМ производится на мониторе, а затем на системном блоке.
3. Персональный компьютер (ПК) подключается в трех полюсную розетку электрической сети 220 В.
4. Рабочие места с ПК по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку преимущественно слева.
5. Искусственное освещение в помещениях с ПК осуществляется системой общего равномерного освещения с использованием светильников местного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне рабочего документа должна быть 300 - 500 лк.
6. При возгорании ПК и его периферийных устройств их надлежит немедленно отключить от розетки. Тушение ПК осуществляется только с

помощью углекислого или порошкового огнетушителей.

Задание

1. По кривым БКЗ выделить пласт высокого сопротивления.
2. Снять значения ρ_k с кривых в этом пласте.
3. Определить истинное удельное электрическое сопротивление пласта $\rho_{\text{п}}$.
4. Оформить работу на ПК.

Порядок выполнения:

1. Найти границы пластов высокого и низкого сопротивлений по диаграммам ρ_k (выдается преподавателем). Выделить переходные зоны (зона постепенного изменения сопротивления).
2. Построить фактическую кривую зависимости $\rho_k = f(AO)$ на билогарифмическом бланке.
3. Установить тип кривой зондирования.
4. Интерпретировать двухслойную кривую зондирования в пластах большой толщины ($h > 5,6$ м).
5. Интерпретировать трехслойную кривую зондирования в случае проникновения, понижающего сопротивления пласта; повышающего сопротивления пласта.

Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- диаграмму кривой;
- полученные результаты, внести в таблицы 4.1 и 4.2;
- выводы, вытекающие из результатов работы.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Контрольные вопросы

1. Для чего используют 2-х слойную палетку, а потом только 3-х слойную.
2. Какое сопротивление измеряют зонды малой длины?
3. Истинное УЭС пласта по своему значению приближено к значению сопротивления какого зонда?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Основная литература:

1. Фоменко, Н.Е. Курс лекций учебной дисциплины «Геофизические исследования скважин» / Н.Е. Фоменко, – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2009. – 121 с.
2. Лукьянов, Э. Е. Информационно-измерительные системы геолого-технологических и геофизических исследований в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2010. – 816 с.
3. Лукьянов, Э. Е. Геолого-технологические исследования и геофизические исследования в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2009. – 752 с.

2. Дополнительная литература:

1. Жданов, М. С. Геофизическая электромагнитная теория и методы. – М. С. Жданов. Монография. – М.: Науч. мир, 2012. – 679 с.
2. Стрельченко, В. В. Геофизические исследования скважин: учебник / В. В. Стрельченко. - М.: Недра, 2008. - 551 с. : ил. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). - Библиогр.: с. 541. - Прил.: с. 542-548. - ISBN 978-5-8365-0314-7.
3. Геофизические исследования скважин / Под редакцией В. М.

Добрынина, Б. Ю. Вендельштейна, Р. А. Резванова, А. Н. Африкяна. Учебное пособие для ВУЗа – М.: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М Губкина, 2004. – 400 с.

4. Латышова М.Г. Практическое руководство по интерпретации диаграмм геофизических методов. – М.: Недра, 1966. – С. 23-74.

5. Электронный курс лекций.

3. Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Тромсё (Universiti of Tromsø), Норвегия.

2. <http://www.gtokniga.org/inboles> - Геологический портал GeoKniga.

3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.

Лабораторная работа № 5

Тема: Расчет и анализ интегральных геометрических факторов бокового каротажа (БК).

Цель работы

- Закрепление теоретических знаний лекционного материала.
- Определение УЭС пластов-коллекторов по данным БК.
- Приобретение навыков работы с каротажными диаграммами и палетками.

Теоретическая часть

В рамках данной лабораторной работы необходимо определить сопротивление (ρ_n) каждого выделенного прослоя, по данным БК. Значение ρ_n будет определяться путем решения обратной задачи каротажа – сняв значения кажущегося удельного электрического сопротивления с диаграмм БК и зная уравнение интегрального геометрического фактора, необходимо рассчитать величину ρ_n .

Правило снятия отсчетов ρ_k с диаграмм бокового каротажа:

- если мощность исследуемого пласта меньше 2 – 3 метров, снимается максимальное значение;
- если мощность пласта больше 2 – 3 метров, снимается среднее значение.

Уравнение интегрального геометрического фактора:

На величину кажущегося удельного электрического сопротивления (ρ_k) регистрируемую против исследуемого пласта, оказывают влияние: скважина (ρ_c), зона проникновения (ρ_{zn}) и неизменная часть пласта (ρ_n). Эту зависимость и отражает уравнение интегрального геометрического фактора, которое в общем случае имеет вид:

$$\frac{\rho_k}{2\pi L} \cdot \int_0^r b_{i\varphi} = \frac{\rho_c}{2\pi L} \cdot \int_0^{dc} b_{ic} + \frac{\rho_{zn}}{2\pi L} \cdot \int_{dc}^D b_{izn}, \quad (5.1)$$

где b_i – дифференциальный геометрический фактор.

$$b_i = \frac{\Delta r}{r_i}, \quad (5.2)$$

где Δr – это горизонтальная мощность элементарного цилиндрического слоя; r_i – это расстояние от электрода A_0 , до i -го цилиндрического слоя.

Преобразовав уравнение интегрального геометрического фактора и выразив из него величину ρ_k получим:

$$\rho_k = \rho_c \frac{\int_0^{dc} b_{ic}}{\int_0^r b_{i\varphi}} + \rho_{zn} \frac{\int_{dc}^D b_{izn}}{\int_0^r b_{i\varphi}} + \rho_n \frac{\int_D^r b_{in}}{\int_0^r b_{i\varphi}}, \quad (5.3)$$

или в упрощенном виде: $\rho_k = \rho_c B_c + \rho_{zn} B_{zn} + \rho_n B_n$,

$$B_c = \frac{\int_0^{dc} b_{ic}}{\int_0^r b_{i\varphi}}$$

где $\int_0^r b_{i\varphi}$ – геометрический фактор скважины;

$$B_{zn} = \frac{\int_{dc}^D b_{izn}}{\int_0^r b_{i\varphi}}$$

– геометрический фактор зоны проникновения;

$$B_n = \frac{\int_D^r b_{in}}{\int_0^r b_{i\varphi}}$$

– геометрический фактор неизменной части пласта;

$\int_0^r b_{i\varphi}$ – интегральный геометрический фактор всей среды в целом.

Исходя из приведенных выше формул, необходимо рассчитать значения

$\int_0^r b_{i\varphi}$, B_c , B_{zn} и B_n – для каждого исследуемого объекта.

Все расчеты производятся в пределах горизонтальной мощности элементарного цилиндрического слоя, от 0,05 м до расстояния r равного $25d_c$. При расчетах также используются, известные для скважин Советского месторождения, значения диаметра скважины (d_c) и сопротивления бурового

раствора (ρ_c). Значения сопротивления зоны проникновения ($\rho_{зп}$) определяются по результатам обработки и интерпретации диаграмм БКЗ, значения кажущегося сопротивления (ρ_k) снимаются напротив каждого выделенного объекта по диаграммам БК.

Пример расчета геометрических факторов:

Для разведочной скважины №1 известно: $d_c = 0.1$ м, $D/d_c = 2$.

Тогда:

$$\int_0^r b_{i\varphi} = \int_{0,05}^{2,5} \frac{1}{r} dr = \ln r \Big|_{0,05}^{2,5} = 3.912 ;$$

$$B_c = \frac{\int_0^{d_c} b_{ic}}{\int_0^r b_{i\varphi}} = \frac{\int_{0,05}^{0,1} b_{ic}}{\int_{0,05}^{2,5} b_{i\varphi}} = 0.177 ;$$

$$B_{зп} = \frac{\int_{d_c}^D b_{izm}}{\int_0^r b_{i\varphi}} = \frac{\int_{0,1}^{0,2} b_{i_{зп}}}{\int_{0,05}^{2,5} b_{i\varphi}} = 0.177 ;$$

$$B_n = \frac{\int_D^r b_{in}}{\int_0^r b_{i\varphi}} = \frac{\int_{0,2}^{2,5} b_{in}}{\int_{0,05}^{2,5} b_{i\varphi}} = 0.646 .$$

Примечание: каждый выделенный объект имеет разные размеры зоны проникновения, следовательно значения $B_{зп}$ и B_n для каждого выделенного объекта будут свои.

После того, как все неизвестные найдены, из уравнения $\rho_k = \rho_c B_c + \rho_{зп} B_{зп} + \rho_n B_n$, вычисляется значение сопротивления неизменной части пласта (ρ_n) для каждого выделенного объекта.

По полученным результатам и учитывая данные полученные в ходе выполнения лабораторной работы, составляется интерпретационная таблица 5.1.

Таблица 5.1 – Форма интерпретационной таблицы данных БК

№№ прослая	Кровля, м	Подошва, м	Н, м	ρ_k , Омм (по БК)	V_c	$V_{зп}$	$V_{п}$	$\rho_{п}$, Омм (по БК)
1	2	3	4	5	6	7	8	8

Оборудование и материалы

1. Карандаш, ластик, линейка.
2. Персональный компьютер, программа Microsoft Excel.
3. Диаграмма с кривой БК (выдаётся преподавателем).

Указания по технике безопасности

1. Перед включением ПЭВМ пользователь должен проверить отсутствие посторонних предметов на клавиатуре, в том числе и влаги.
2. Включение ПЭВМ производится на мониторе, а затем на системном блоке.
3. Персональный компьютер (ПК) подключается в трех полюсную розетку электрической сети 220 В.
4. Рабочие места с ПК по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку преимущественно слева.
5. Искусственное освещение в помещениях с ПК осуществляется системой общего равномерного освещения с использованием светильников местного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне рабочего документа должна быть 300 - 500 лк.
6. При возгорании ПК и его периферийных устройств их надлежит немедленно отключить от розетки. Тушение ПК осуществляется только с помощью углекислого или порошкового огнетушителей.

Задание

- По кривым БК выделить пласт высокого сопротивления.
- Снять значения ρ_k с кривых в этом пласте.

- Определить истинное удельное электрическое сопротивление пласта $\rho_{\text{п}}$.

- Заполнить таблицу 5.1.
- Оформить работу на ПК.

Порядок выполнения:

1. Найти границы пластов высокого и низкого сопротивлений по диаграммам $\rho_{\text{к}}$ (выдается преподавателем). Выделить прослой в пласте.
2. Снять значения $\rho_{\text{к}}$ в каждом прослое.
3. Рассчитать последовательно параметры $V_{\text{с}}$, $V_{\text{зп}}$, $V_{\text{п}}$ и истинное удельное сопротивление пласта.

Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- диаграмму кривой;
- полученные результаты, внести в таблицу 5.1;
- выводы, вытекающие из результатов работы.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Контрольные вопросы

1. Преимущество метода БК по сравнению с другими методами сопротивления.
2. Фокусированным ли является метод БК?
3. Объяснить понятие «фокусированный» зонд.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Основная литература:

1. Лукьянов, Э. Е. Информационно-измерительные системы геолого-технологических и геофизических исследований в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2010. – 816 с.

2. Учебно-методическое пособие по дисциплинам «Геофизические исследования скважин», «Интерпретация данных геофизических исследований скважин» для студентов специальностей 130201 «Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых», 130202 «Геофизические методы исследования скважин» и 130304 «Геология нефти газа» / Авторы-составители Ф.А. Бурков, В.И. Исаев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 86 с.

2. Дополнительная литература:

1. Золоева Г.М., Лазуткина Н.Е. Комплексная интерпретация геофизических данных с целью оценки параметров коллекторов: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2009. – 148 с.

2. Золоева Г.М., Петров Л.М., Хохлова М.С. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин: Учебное пособие по дисциплине «Геофизические исследования скважин». – М.: МАКС Пресс, 2009. – 180 с.

3. Итенберг С.С. Интерпретация результатов геофизических исследований скважина. М.:Недра, 1987. – 372 с.

4. Электронный курс лекций.

3. Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Тромсё (Universiti of Tromsø), Норвегия.

2. <http://www.gtokniga.org/inboles> - Геологический портал GeoKniga.

3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.

Лабораторная работа № 6

Тема: Физические основы высокочастотного индукционного каротажа изопараметрических зондирований (ВИКИЗ).

Цель работы

- Закрепление теоретических знаний лекционного материала.
- Определение УЭС пластов-коллекторов по данным БКЗ и ВИКИЗ.
- Приобретение навыков работы с каротажными диаграммами и палетками.

Теоретическая часть

Боковое электрическое зондирование (БКЗ) представляет собой метод исследования геологоразведочных скважин серией зондов различных размеров, от которых зависит глубина исследования.

В комплект зондов БКЗ, проводимого последовательными градиент-зондами, включается один обращенный градиент-зонд, как правило, зонд стандартного каротажа КС.

Первичная оценка данных БКЗ заключается в выделении интервалов продуктивных пластов, для которых возможна количественная интерпретация. Границы пластов и их литологическая принадлежность определяются по диаграммам стандартного поискового комплекса. В сложных случаях границы уточняются по сочетанию диаграмм последовательного и обращенного зондов, микрозондов, каверномера, потенциалов собственной поляризации и др. методов. По результатам качественной интерпретации диаграмм БКЗ с привлечением комплекса других геофизических методов делают заключение о строении прискважинной зоны, ее электрических и геометрических параметрах и степени флюидонасыщенности.

Каротаж ВИКИЗ (высокочастотный индукционный каротаж изопараметрических зондирований) – более совершенная модификация бокового зондирования. Сущность ВИКИЗ – в использовании

многокомпонентного зонда индукционного каротажа с записью не только амплитудных, но и фазовых характеристик. При этом измеряется разность фаз между двумя сближенными катушками, и соответственно этот показатель слабо зависит от скважинных условий, что позволяет получать информацию непосредственно о породах, пересекаемых скважиной. Разработаны автоматизированные программы обработки данных ВИКИЗ.

Качественная интерпретация результатов БКЗ и ВИКИЗ предусматривает:

- 1) разделение продуктивных пластов по степени дифференцированности кривых, зарегистрированных зондами различной длины;
- 2) оценку толщин и разделение пластов на тонкие, средние и мощные;
- 3) сравнение кривых ВИКИЗ и БКЗ по соотношению электрических параметров на предмет пониженного или повышенного проникновения;
- 4) принятие решений по количественной интерпретации пластов, толщины которых сопоставимы с длинами зондов БКЗ.

При *количественной интерпретации* БКЗ используются двухслойная и трехслойная палетки. Двухслойные палетки построены для одной цилиндрической границы раздела, моделирующей скважину и пласт бесконечной мощности. Они представляют собой семейство кривых $\rho_k/\rho_c = f(L/d_c)$. Модулем каждой кривой является отношение $\mu = \rho_n/\rho_c$.

Количественная интерпретация включает несколько этапов:

- 1) *Построение фактической кривой зависимости ρ_k/ρ_c от $f(L/d_c)$.*

Первоначально заполняется таблица (табл. 6.1). Значения ρ_k снимаются с диаграмм, записанных зондами БКЗ разной длины. По полученным данным для каждого исследуемого пласта строится фактическая кривая в билогарифмическом масштабе (рис. 6.1).

Таблица 6.1 – Данные для построения фактических кривых зондирования

№п/п	L	d	ρ_k	ρ_c	L/d	ρ_k/ρ_c
1	0,45					
	1,05					
	2,25					
	4,25					
	8,5					
2	0,45					
	1,05					
	2,25					
	4,25					
	8,5					

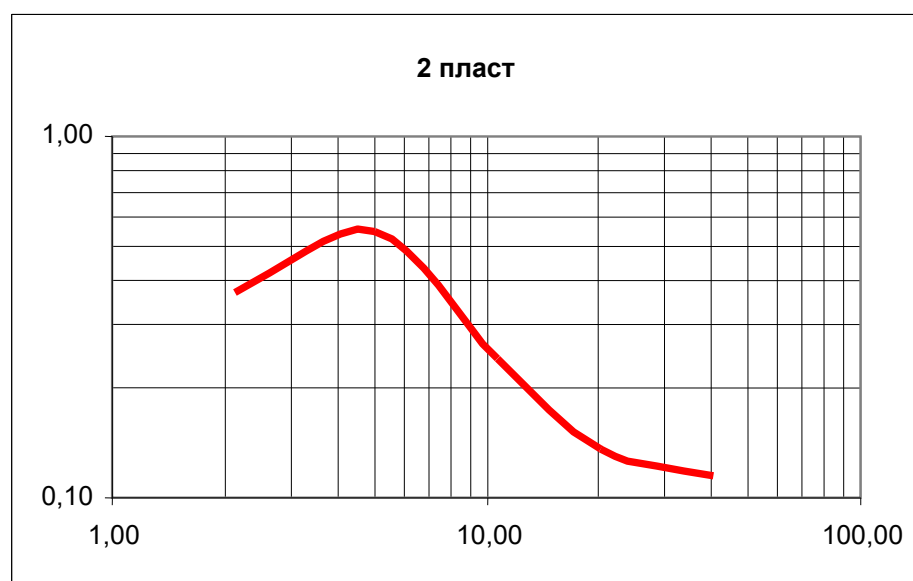


Рисунок 6.1 – Фактическая кривая зависимости ρ_k/ρ_c от $f(L/d_c)$

2) Установление типа фактической кривой зондирования.

Используется прием совмещения фактической кривой зондирования с палеточными (расчетными) кривыми, подходящими для интерпретируемого случая. Первоначально тип кривой определяют после сопоставления фактической кривой зондирования с двухслойной палеткой. Далее оценивают значения D/d_c и ρ_k/ρ_c и по ним выбирают тип трехслойной палетки.

2) Совмещение фактической кривой с одной из трехслойных палеток и по лучшему совпадению выбор палетки с наиболее близкими значениями модуля D/d_c .

ρ_n пласта определяется по точке пересечения фактической кривой зондирования с кривой АА палетки либо по шифру палеточной кривой, с

которой совпала фактическая кривая. Параметры зоны проникновения ρ_{zn} и D_{zn} определяются по модулям выбранной трехслойной палетки ρ_{zn}/ρ_p и D/d_c . Полученные результаты заносятся в таблицу БКЗ (табл. 6.2)

Таблица 6.2 – Результаты количественной интерпретации

№ пласта	Интервал прослая, м	Н, м	$\rho_p^{БКЗ}$, Ом	$\rho_p^{ВИКИЗ}$, Ом
1				
2				

Оборудование и материалы

1. Персональный компьютер.
2. Диаграммы БКЗ и ВИКИЗ.
3. Набор палеток БКЗ (графическое отображение).

Указания по технике безопасности

1. Перед включением ПЭВМ пользователь должен проверить отсутствие посторонних предметов на клавиатуре, в том числе и влаги.
2. Включение ПЭВМ производится на мониторе, а затем на системном блоке.
3. Персональный компьютер (ПК) подключается в трех полюсную розетку электрической сети 220 В.
4. Рабочие места с ПК по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку преимущественно слева.
5. Искусственное освещение в помещениях с ПК осуществляется системой общего равномерного освещения с использованием светильников местного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне рабочего документа должна быть 300 - 500 лк.
6. При возгорании ПК и его периферийных устройств их надлежит немедленно отключить от розетки. Тушение ПК осуществляется только с помощью углекислого или порошкового огнетушителей.

Задание

1. Найти границы прослоев низкого и высокого сопротивления по диаграммам БКЗ и ВИКИЗ.
2. Снять значения ρ_k с каждой кривой методов.
3. Построить теоретические кривые кажущегося сопротивления от длины зонда.
4. Определить истинное значение сопротивления пласта $\rho_p^{\text{БКЗ}}$ и $\rho_p^{\text{ВИКИЗ}}$.

Порядок выполнения

1. Изучение сущности и физико-геологических основ методов БКЗ и ВИКИЗ.
2. Качественная оценка продуктивных горизонтов на предмет наличия зоны проникновения и флюидонасыщенности. Снятие на диаграммах БКЗ значений кажущихся удельных электрических сопротивлений (ρ_k), выполнение графических построений.
3. Компьютерное сопоставление кривых бокового зондирования с палеточными, определение количественных показателей (истинного сопротивления (ρ_n) и толщины (h)) продуктивных пластов. Формулирование выводов.

Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- диаграммы кривых;
- полученные результаты, внести в таблицу 6.2;
- выводы, вытекающие из результатов работы.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Контрольные вопросы

1. Одинаковы ли полученные истинные значения сопротивления по методам БКЗ и ВИКИЗ?
2. По каким причинам значения $\rho_{\text{п}}^{\text{БКЗ}}$ и $\rho_{\text{п}}^{\text{ВИКИЗ}}$ могут отличаться?
3. Значения какого метода более достоверны?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Основная литература:

1. Богданович, Н. Н., Десяткин, А. С., Добрынин В. М. Геофизические исследования скважин: справочник мастера по промысловой геофизике / Н. Н. Богданович и др., М.: Инфра-Инженерия, 2009. – 958 с.
2. Фоменко, Н.Е. Лабораторный практикум по дисциплине «Геофизические исследования в скважинах» / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2011. – 24 с.

2. Дополнительная литература:

1. Жданов, М. С. Геофизическая электромагнитная теория и методы. – М. С. Жданов. Монография. – М.: Науч. мир, 2012. – 679 с.
2. Боровик Н.Ю. Практикум по курсу «Геофизические исследования скважин» /Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2002. С. 26-33.
3. Боровик Н.Ю, Паршин А.Е., Дубровский Ю.В. Геофизические исследования скважин: лабораторный практикум /М-во образования и науки РФ, Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. С. 12-18.
4. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом / под редакцией В.И. Петерсилье, В.И. Пороскуна, Г.Г. Яценко. – Москва-Тверь: ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003. – 260 с.
5. Латышова М.Г., Вендельштейн Б.Ю., Тузов В.П. Обработка и интерпретация материалов геофизических исследований скважин. – М.: Недра, 1990. - 312 с.

6. Электронный курс лекций.

3. Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Тромсё (Universiti of Tromsø), Норвегия.
2. <http://www.gtokniga.org/inboles> - Геологический портал GeoKniga.
3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.

Лабораторная работа № 7

Тема: Физические основы гамма-каротажа (ГК).

Цель работы

- Закрепление теоретических знаний лекционного материала.
- Определение радиоактивности пород по данным гамма-каротажа.
- Выделение в разрезе глинистых и «чистых» пластов.
- Приобретение навыков работы с каротажными диаграммами и палетками.

Теоретическая часть

Гамма метод (гамма каротаж) – это радиоактивный метод геофизического исследования скважин, позволяющий изучать естественную радиоактивность горных пород.

Явление радиоактивности. Радиоактивность – это свойство ядер некоторых элементов самопроизвольно превращаться в ядра изотопов или ядра других элементов.

Ядро состоит из протонов и нейтронов. Протоны – положительно заряженные частицы, масса которых равна 1. Их количество определяет заряд ядра и порядковый номер в периодической системе. Нейтроны – электрически нейтральные частицы с массой равной 1. Количество протонов и нейтронов определяет массу элемента или атомный вес.

Если в ядре число протонов (p) равно числу нейтронов (n), то такое ядро устойчиво. Если для двух атомов число протонов одного атома, равно числу протонов другого атома, а число нейтронов этих атомов не равно, такие атомы называются изотопами. Образование изотопов происходит в результате радиоактивного превращения.

Таблица 7.1 – Форма интерпретационной таблицы данных ГМ

N пл	Кровля, м	Подолош, м	h, м	I_γ , у.е.	$I_{\gamma\text{вм}}$, у.е.	ν_γ , о.е.	$I_{\gamma\infty}$, у.е.	$I_{\gamma\infty\text{оп1}}$, у.е.	$I_{\gamma\infty\text{оп2}}$, у.е.	ΔI_γ , у.е.	Кгл ГМ, о.е.	Кгл ПС, о.е.	Литология
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Общепринятые обозначения:

I_γ – гамма активность; $I_{\gamma\text{вм}}$ – гамма активность вмещающих пород; ν_γ – коэффициент ослабления гамма активности; $I_{\gamma\infty}$ – значение гамма активности, приведенное к условиям пласта бесконечной мощности и учитывающее инерционность аппаратуры; $I_{\gamma\infty\text{оп1}}$ – приведенное значение гамма активности для первого опорного пласта; $I_{\gamma\infty\text{оп2}}$ – приведенное значение гамма активности для второго опорного пласта; ΔI_γ – значение двойного разностного параметра.

Виды излучений, сопровождающих естественные радиоактивные превращения:

α -излучение – это поток ядер атомов гелия (поглощается листом писчей бумаги). В сравнении с другими видами излучения α -излучение характеризуется большей энергией – это высокочастотное, электромагнитное излучение большой энергии – подобно свету, но с большей длиной волны.

β -излучение – это поток электронов (полностью поглощается слоем горной породы толщиной в несколько мм).

γ -излучение – распространяется в осадочных горных породах на 40 – 80 см, поэтому в радиоактивных методах каротажа и изучается именно γ -излучение.

Радиоактивность осадочных горных пород более низкая, чем у магматических – это связано с рассеянием радиоактивного вещества при денудации и осадконакоплении.

Основной закономерностью осадочных пород является более низкая радиоактивность карбонатных пород по сравнению с терригенными. Из терригенных пород наиболее низкую радиоактивность имеют известняки, затем песчаники, еще большую алевролиты и максимальную – глины (рис. 7.1).

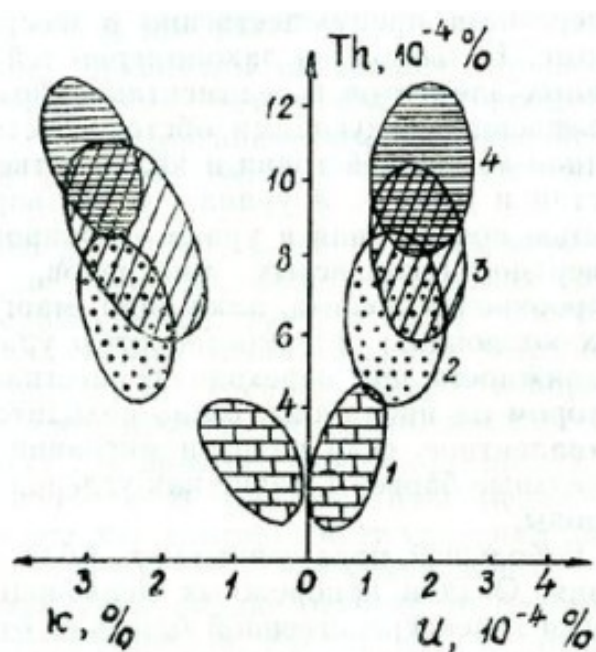


Рисунок 7.1 – Содержание радиоактивных элементов в сеноманских отложениях Амударьинского нефтегазоносного бассейна (по материалам Р.А. Алексеева и др., 1973): 1 – известняки; 2 – песчаники; 3 – алевролиты; 4 – глины

Особенно сильно перечисленные литологические разности различаются по содержанию Th.

Наблюдаемое в карбонатных и кремнистых породах повышенное содержание урана, связано с их битуминозностью (примером таких отложений может служить баженовская свита).

Повышенной радиоактивностью могут характеризоваться песчаные пласты, при их обводнении в процессе разработки месторождения.

Взаимодействие гамма-излучения с веществом горных пород

Выделяют следующие виды взаимодействия гамма-излучения с веществом горных пород (рис. 7.2):

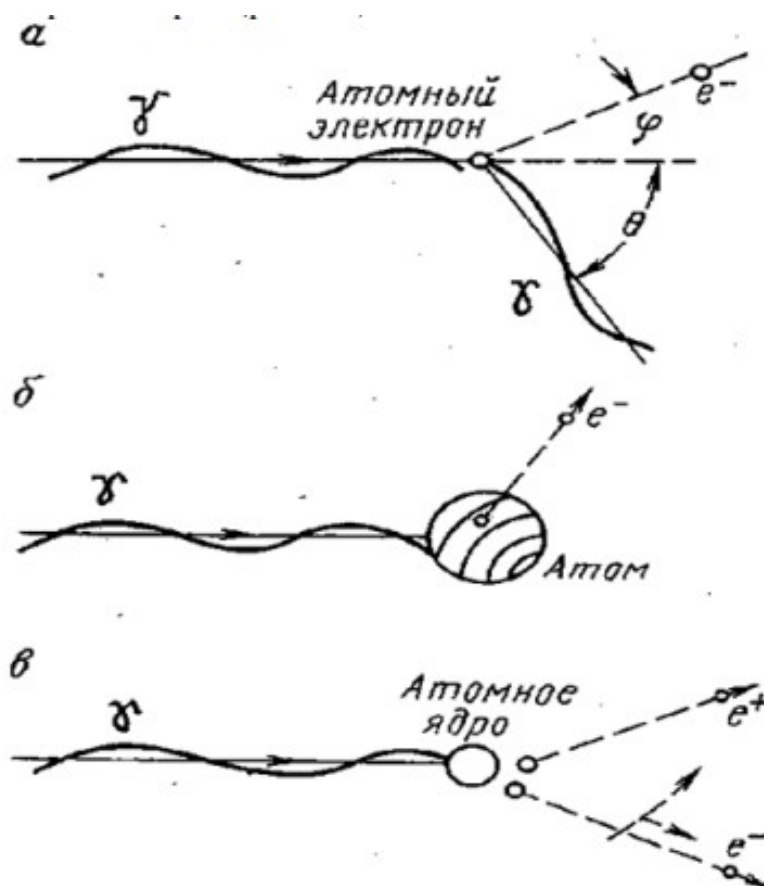


Рисунок 7.2 – Схемы процессов взаимодействия γ -квантов с веществом: а – комптоновское рассеяние; б – фотоэффект; в – эффект образования пар

а) Комптоновское рассеивание ($E_\gamma > 0.5 \text{ МэВ}$)

Особенности комптоновского рассеивания:

- 1) Энергия гамма-квантов $E_\gamma > 0.5 \text{ МэВ}$;
- 2) Взаимодействие происходит с электроном;
- 3) Часть энергии гамма-кванта передается электрону;
- 4) Гамма-квант теряет часть энергии и отклоняется (рассеивается).

Коэффициент ослабления рассеянного гамма-излучения равен:

$$\mu = B \cdot \sigma_b, \quad (7.1)$$

где σ_b – электронная плотность;

B – константа.

Известно, что $\sigma_b \approx \sigma_m$, где σ_m – обычная, объемная плотность вещества, т.е. плотность горных пород. Поэтому изучение рассеянного гамма-излучения является основой метода ГГК-П.

б) Фотоэффект ($E_\gamma < 0.5 \text{ МэВ}$)

Особенности взаимодействия при фотоэффекте:

- 1) Энергия падающих гамма-квантов $E_\gamma < 0.5 \text{ МэВ}$ (мягкое излучение);
- 2) Взаимодействие происходит в целом с атомом. Поглощается вся энергия гамма-квантов.

Фотоэлектрон уносит часть энергии. Фотоэффект проявляется при взаимодействии с тяжелыми элементами (U, Th, K). Изучение фотоэффекта – это основа метода ГГК-С.

в) Эффект образования пар ($E_\gamma > 4 \text{ МэВ}$)

Особенности взаимодействия эффекта образования пар:

- 1) Энергия гамма-квантов $E_\gamma > 4 \text{ МэВ}$ (жесткое излучение);
- 2) Гамма-квант взаимодействует с ядром атома, энергия гамма-кванта полностью поглощается и образуется пара частиц – электрон и позитрон. Через короткий промежуток времени электрон и позитрон взаимодействуют и получают два гамма-кванта. Изучение этого вторичного гамма-излучения является основой метода Гамма активационного каротажа.

Аппаратура измерения гамма-излучения

- 1) Газоразрядные счетчики (Гейгера-Мюллера, непропорциональные E_γ , регистрируют 1 – 2 % гамма-квантов);
- 2) Сцинтилляционные счетчики (пропорциональные E_γ , регистрируют до 30 % гамма-квантов).

При исследовании γ -методом в составе скважинного прибора имеется зонд, который содержит детектор γ -излучения и интегрирующую ячейку.

Постоянная времени интегрирующей ячейки:

$$\tau = C \cdot R, \quad (7.2)$$

где τ – время накопления разрядов (сигнала) – дискретность записи диаграммы;

C – емкость; R – сопротивление.

В качестве детектора могут выступать газоразрядные и сцинтилляционные счетчики.

Постоянная времени интегрирующей ячейки τ – определяет время накопления импульсов при записи каротажных диаграмм. Таким образом, интегрирующая ячейка вносит инерцию в процесс регистрации. Т.е. процесс регистрации происходит с некоторым запаздыванием. Иначе говоря, данные поступают со всего интервала регистрации за время τ , а запись происходит только в одной точке интервала.

Также процесс регистрации характеризуется осреднением. Радиус сферы, из которой поступает на детектор до 95% излучения, называется радиусом зоны исследования. Считается, что этот радиус составляет порядка 30 – 40 см. Т.е. осредненный сигнал характеризуется интервалом 60 – 80 см.

Форма кривых гамма метода

Форма диаграммы ГМ определяется следующими факторами:

1) Влиянием осреднения радиоактивности в интервале зоны исследования – результаты замера в каждой точке относятся к интервалу разреза 60 – 80 см.

2) Влияние инерционности интегрирующей ячейки. Если измерения производятся при нулевой скорости подъема (важный параметр $V \cdot \tau$, где V – скорость подъема, следовательно, $V \cdot \tau = 0$, при $V = 0$), то аномалия напротив одиночного мощного пласта повышенной радиоактивности будет симметрична. Если же $V \cdot \tau \neq 0$, то экстремум аномалии сдвигается по направлению движения зонда, т.е. к кровле. А значит, амплитуда аномалии уменьшается, и аномалия становится ассиметричной.

3) Влияние мощности пласта. Если мощность пласта больше 1 м и более, то амплитуда аномалии уже не будет зависеть от мощности пласта. Для «идеальных» условий, когда пласт мощный и $V = 0$, границы пласта определяются по правилу половины аномалии. При малой мощности пласта ($h < 1$ м) происходит уменьшение амплитуды. И происходит это тем сильнее, чем

меньше отношение
$$- \frac{h}{V \cdot \tau}.$$

Оборудование и материалы

1. Палетки, номограммы.
2. Линейка, карандаш, ластик.
3. Диаграмма ГК (выдается преподавателем).
4. Персональный компьютер для оформления работы.

Указания по технике безопасности

1. Перед включением персонального компьютера (ПК) пользователь должен проверить отсутствие посторонних предметов на клавиатуре, в том числе и влаги.
2. Включение ПК производится на мониторе, а затем на системном блоке.
3. Персональный компьютер подключается в трех полюсную розетку электрической сети 220 В.
4. Рабочие места с ПК по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку преимущественно слева.
5. Искусственное освещение в помещениях с ПК осуществляется системой общего равномерного освещения с использованием светильников местного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне рабочего документа должна быть 300 - 500 лк.
6. При возгорании компьютера и его периферийных устройств их надлежит немедленно отключить от розетки. Тушение ПК осуществляется только с помощью углекислого или порошкового огнетушителей.

Задание

1. Выделить в разрезе слабоглинистые и глинистые пласты по гамма-каротажу.
2. Снять значения с кривых ПС и ГК.
3. Определить глинистость и литологию пород.

Таблица 7.2 – Пример результатов интерпретации данных ГК

№ пп	Кровля, м	Подошва, м	h, м	l _γ , у.е.	l _{γвм} , у.е.	l _{γγ} , о.е.	l _{γю} , у.е.	l _{γюп1} , у.е.	l _{γюп2} , у.е.	Δl _γ , у.е.	Кгл, о.е.	Кгл ПС, о.е.	Литология
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	2680,6	2681,8	1,2	24	24,8	0,97	23,98	7,70	15,57	2,07	1	0,81	Аргиллит
2	2681,8	2683,2	1,4	24,8	17,8	0,99	24,87			2,18	1	0,18	Аргиллит
3	2683,2	2684,7	1,5	11,6	18,8	1	11,60			0,50	0,33	0,18	ТЗП
4	2684,7	2685,7	1	12,8	10,6	0,94	12,94			0,67	0,56	0,66	СЗА
5	2685,7	2687,1	1,4	9,6	12,75	0,99	9,57			0,24	0,155	0,66	СЗП
6	2687,1	2688,3	1,2	12,7	11,4	0,97	12,74			0,64	0,49	0,40	КЗА
7	2688,3	2689,9	1,6	13,2	13,15	1	13,20			0,70	0,6	0,40	СЗА
8	2689,8	2690,8	1	13,6	13,85	0,94	13,58			0,75	0,65	0,65	МЗА
9	2690,8	2692	1,2	14,5	9,4	0,97	14,66			0,88	0,93	0,08	Аргиллит
10	2692	2694,1	2,1	5,2	11,4	1	5,20			-0,32	-	0,08	Уголь
11	2694,1	2695,1	1	8,3	6,8	0,94	8,40			0,09	0,05	0,14	КЗП
12	2695,1	2696,1	1	8,4	8	0,94	8,43			0,09	0,05	0,00	КЗП
13	2696,1	2698,4	2,3	7,7	9,55	1	7,70			0,00	0	0,30	КЗП
14	2698,4	2699,6	1,2	10,7	10,25	0,97	10,71			0,38	0,25	0,02	МЗП
15	2699,6	2700,9	1,3	12,8	10,95	0,98	12,84			0,65	0,53	0,02	СЗА
16	2700,9	2701,9	1	11,2	12,7	0,94	11,10			0,43	0,3	0,27	МЗП
17	2701,9	2702,9	1	12,6	11,1	0,94	12,70			0,63	0,48	0,27	КЗА
18	2702,9	2704,2	1,3	11	12,4	0,98	10,97			0,42	0,29	0,13	МЗП
19	2704,2	2705,2	1	12,2	11,45	0,94	12,25			0,58	0,44	0,50	КЗА
20	2705,2	2706,2	1	11,9	12,1	0,94	11,89			0,53	0,38	0,50	ТЗП
21	2706,2	2707,7	1,5	12	12,65	1	12,00			0,55	0,4	0,47	КЗА
22	2707,7	2708,7	1	13,4	12,6	0,94	13,45			0,73	0,61	0,65	МЗА
23	2708,7	2709,8	1,1	13,2	12,5	0,95	13,24			0,70	0,6	0,66	МЗА
24	2709,8	2711,8	2	11,6	13,4	1	11,60			0,50	0,33	0,66	ТЗП
25	2711,8	2712,8	1	13,6	12,35	0,94	13,68			0,76	0,65	0,45	МЗА
26	2712,8	2713,8	1	13,1	13,15	0,94	13,10			0,69	0,59	0,66	СЗА
27	2713,8	2714,9	1,1	12,7	14,25	0,95	12,62			0,62	0,47	0,66	КЗА
28	2714,9	2715,9	1	15,4	12,7	0,94	15,57			1,00	1	0,83	Аргиллит

Порядок выполнения

1) Расчленение разреза на пласты.

Расчленение разреза на пласты, по показаниям ГМ производятся «снизу – вверх» (от забоя скважины к устью).

Границы пластов по показаниям гамма метода отбиваются по точкам перегиба кривой, так например, для пласта повышенной радиоактивности, подошва пласта будет выделяться по началу роста кривой, а кровля пласта по началу ее спада. Пласты мощностью менее одного метра, в ходе выполнения данной работы, выделяться не будут.

Так же при разбивке на пласты по показаниям ГМ, необходимо обращать внимание на разбивки по показаниям методов ПС и БЭЗ и в случае небольшого несоответствия, границы пластов будут приниматься по показаниям методов ПС и БЭЗ.

2) Снятие значений гамма-активности.

Значение гамма-активности снимают в кровельной части пласта – это значение будет экстремальным, т.к. вследствие инерционности зонда ГМ, гамма-активность относящаяся к исследуемому пласту будет относиться именно к кровле пласта.

3) Приведение к условиям пласта бесконечной мощности (поправка за инерционность регистрации и мощность пласта).

Расчеты интенсивности гамма-излучения предполагают, что отчеты делаются дискретно, т.е. при скорости подъема $V = 0$ м/ч, на самом же деле гамма-излучение регистрируется в движение, при подъеме прибора, поэтому кривые гамма метода будут искажаться (из-за инерционности аппаратуры), а значит необходимо вводить поправку за это смещение. Вдобавок к этому, для того чтобы учесть показания снятые напротив мало мощных пластов, также необходимо вводить поправку – поправку за мощность пласта. Для того чтобы учесть влияние инерционности аппаратуры и мощности пласта, все снятые показания приводят к условиям пласта бесконечной мощности, иначе говоря, находят коэффициент снижения регистрируемой амплитуды гамма

активности (v). Определяют его по номограмме (рис. 7.3), отражающей зависимость между мощностью пласта и коэффициентом снижения регистрируемой амплитуды гамма активности. Шифром кривых на данной палетке является величина произведения $V \cdot \tau$.

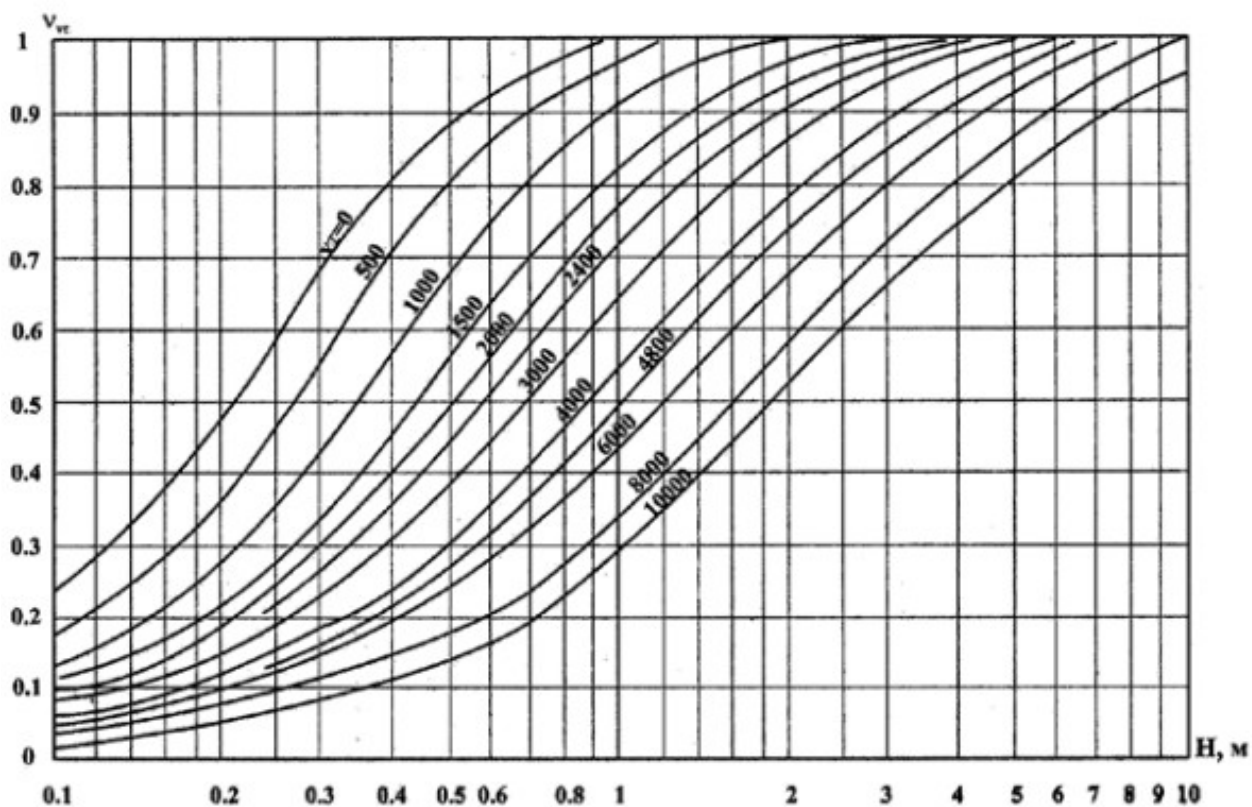


Рисунок 7.3 – Номограмма для определения коэффициента снижения регистрируемой амплитуды гамма активности

Зная коэффициент снижения регистрируемой амплитуды гамма-активности, мы можем получить интенсивность гамма-излучения, приведенную к условиям пласта бесконечной мощности: кровля подошва

$$I_{\gamma \infty} = \frac{I_\gamma - I_{\gamma \text{ВМ}}}{v_\gamma} + I_{\gamma \text{ВМ}}, \quad (7.3)$$

где
$$I_{\gamma \text{ВМ}} = \frac{I_{\gamma \text{ВМ. кровля}} - I_{\gamma \text{ВМ. подошва}}}{2}.$$

4) Выбор опорных пластов (определение «линии глин» и «линии песков»).

При выборе опорных пластов выбирают:

$I_{\gamma\infty}^{оп1}$ – минимальное значение в рамках исследуемого интервала, но не относящееся к угольному пласту, т.е. показание в пределах пласта песчаника. По значению проводят «линию песков».

$I_{\gamma\infty}^{оп2}$ – это максимальное значение, но не относящееся к баженовской свите. По этому значению проводят «линию глин».

5) Расчет двойного разностного параметра.

Двойной разностный параметр рассчитывается по формуле:

$$\Delta I_{\gamma} = \frac{I_{\gamma\infty} - I_{\gamma\infty}^{он1}}{I_{\gamma\infty}^{он2} - I_{\gamma\infty}^{он1}}. \quad (7.4)$$

Расчетом двойного разностного параметра мы исключаем влияние скважины, влияние общего радиоактивного фона, и если скважина обсажена – влияние цементного кольца и обсадной трубы.

6) Определение коэффициента глинистости (Кгл).

Зная величину двойного разностного параметра, для каждого из выделенных пластов, мы можем определить значение коэффициента глинистости. Определяется Кгл по номограмме (рис. 7.4).

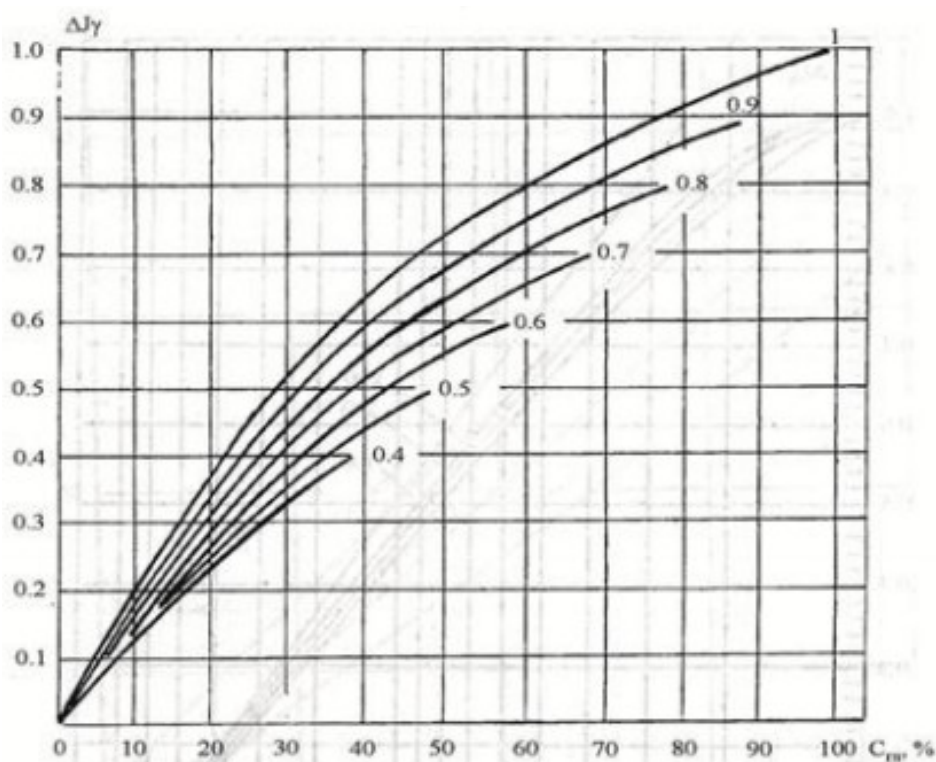


Рисунок 7.4 – Номограмма для определения коэффициента глинистости по величине двойного разностного параметра. Шифр кривых – величина $K_{гл}^{оп2}$

– определяется по методу ПС

7) Определение литологии пласта.

Зная величину $K_{гп}$, мы можем сделать вывод о принадлежности выделенного по показаниям ГМ пласта, к той или иной литологической разности – определить литологию пласта (см. таблицу 7.3).

Таблица 7.3 – Определение литологии пласта

№п/п	$K_{гп}$	Литология
1	0 – 0.1	Крупнозернистый песчаник (КЗП)
2	0.1 – 0.2	Среднезернистый песчаник (СЗП)
3	0.2 – 0.3	Мелкозернистый песчаник (МЗП)
4	0.3 – 0.4	Тонкозернистый песчаник (ТЗП)
5	0.4 – 0.5	Крупнозернистый алевролит (КЗА)
6	0.5 – 0.6	Среднезернистый алевролит (СЗА)
7	0.6 – 0.7	Мелкозернистый алевролит (МЗА)
8	0.7 – 0.8	Тонкозернистый алевролит (ТЗА)
9	больше 0.8	Аргиллит

Результатом проведения литологического расчленения разреза является построение литологической колонки (рисунок 7.5).

Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- диаграмму кривой;
- полученные результаты, внести в таблицу 7.1;
- выводы, вытекающие из результатов работы.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Контрольные вопросы

1. Как выделить пласты глин и песчаников по данным ГК?

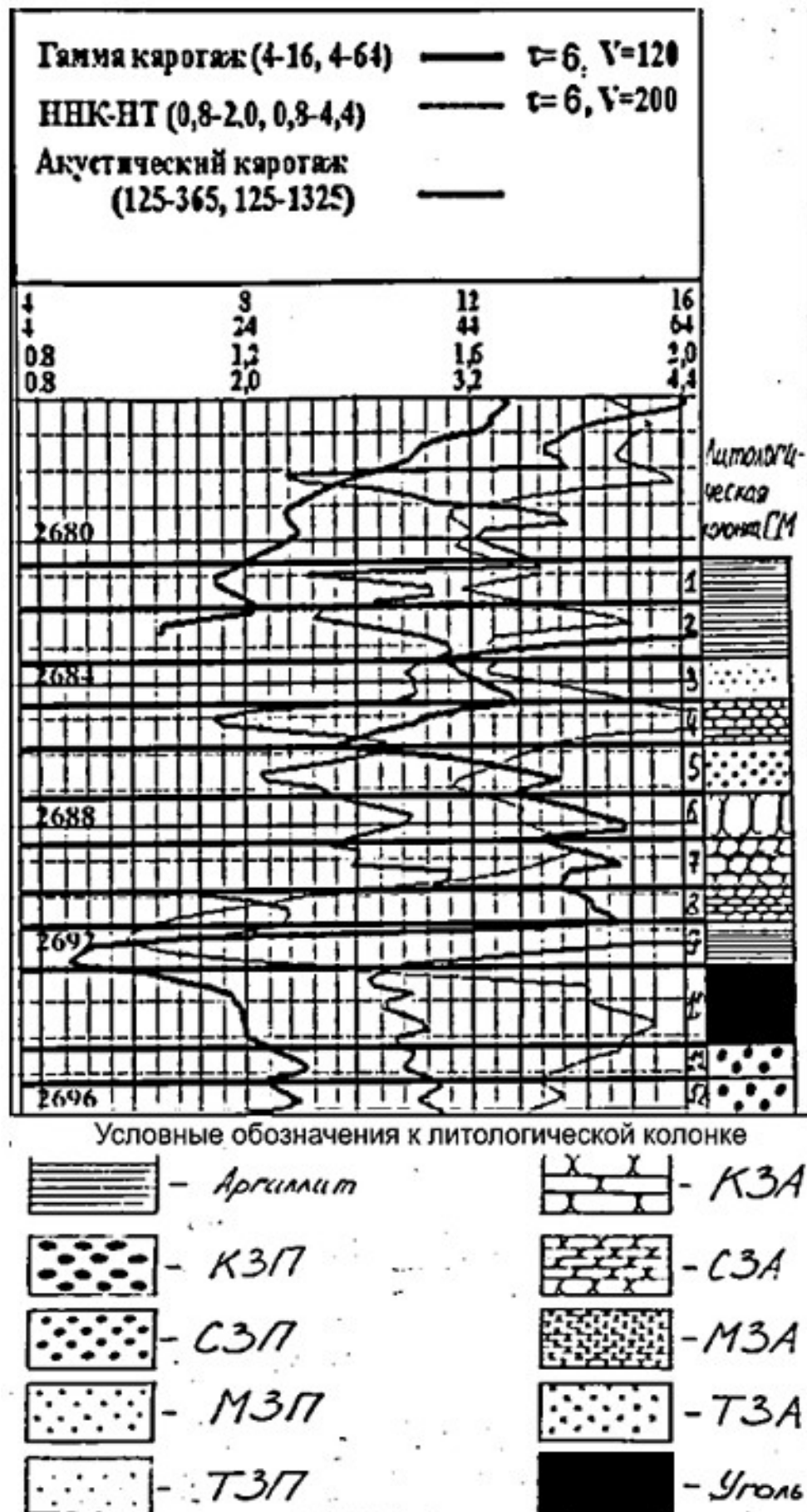


Рисунок 7.5 – Пример расчленения разреза на пласты и определения литологии по данным гамма метода

2. Какие процессы протекают при взаимодействии γ -кванта с породой?
3. Как определяется двойной разностный параметр ГК? Для чего он нужен?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Основная литература:

1. Богданович, Н. Н., Десяткин, А. С., Добрынин В. М. Геофизические исследования скважин: справочник мастера по промышленной геофизике / Н. Н. Богданович и др., М.: Инфра-Инженерия, 2009. – 958 с.
2. Учебно-методическое пособие по дисциплинам «Геофизические исследования скважин», «Интерпретация данных геофизических исследований скважин» для студентов специальностей 130201 «Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых», 130202 «Геофизические методы исследования скважин» и 130304 «Геология нефти газа» / Авторы-составители Ф.А. Бурков, В.И. Исаев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 86 с.

2. Дополнительная литература:

1. Золоева Г.М., Лазуткина Н.Е. Комплексная интерпретация геофизических данных с целью оценки параметров коллекторов: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2009. – 148 с.
2. Стрельченко, В. В. Геофизические исследования скважин: учебник / В. В. Стрельченко. - М.: Недра, 2008. - 551 с. : ил. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). - Библиогр.: с. 541. - Прил.: с. 542-548. - ISBN 978-5-8365-0314-7.
3. Геофизические исследования скважин / Под редакцией В. М. Добрынина, Б. Ю. Вендельштейна, Р. А. Резванова, А. Н. Африкяна. Учебное пособие для ВУЗа – М.: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004. – 400 с.

4. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом / под редакцией В.И. Петерсилье, В.И. Пороскуна, Г.Г. Яценко. – Москва-Тверь: ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003. – 260 с.

5. Ерофеев Л.Я., Вахромеев Г.С., Зинченко В.С., Номоконова Г.Г. Физика горных пород: учебник для вузов. – Томск: Издательство ТПУ, 2006. – 520 с.

6. Итенберг С.С. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. М.: Недра, 1987. – 372 с.

7. Электронный курс лекций.

3. Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Тромсё (Universiti of Tromsø), Норвегия.

2. <http://www.gtokniga.org/inboles> - Геологический портал GeoKniga.

3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.

Лабораторная работа № 8

Тема: Взаимодействие гамма-квантов с породой.

Цель работы

- Закрепление теоретических знаний лекционного материала.
- Изучение законов взаимодействия γ -излучения с горной породой.

Теоретическая часть

Гамма кванты взаимодействуют с ядрами, атомами и электронами. В качестве количественной характеристики эффекта взаимодействия гамма квантов и нейтронов используется параметр, называемый *эффективным сечением взаимодействия*. Этот параметр характеризует вероятность взаимодействия гамма кванта с ядром (электроном) атома при прохождении кванта через единицу площади (м^2).

Гамма-излучение относится к сильнопроникающему излучению. Для практически полного его поглощения требуется слой горных пород толщиной в несколько десятков сантиметров. Хотя γ -кванты испытывают различные типы взаимодействий, однако вероятность большинства из них мала и ослабление потока γ -квантов в веществе происходит в основном за счет трех процессов: фотоэффекта, комптон-эффекта и эффекта образования пар.

Вероятность возникновения каждого из этих трех процессов зависит от энергии излучения, а также от типа вещества (его плотности и атомного номера элементов составляющих вещество), с которым взаимодействует это излучение. При малых энергиях гамма кванты взаимодействуют с веществом в основном вследствие фотоэффекта, при средних энергиях преобладает комптоновское рассеяние и, наконец, при больших энергиях гамма квантов основной процесс взаимодействия – образование пары электрон-позитрон.

Фотоэффектом называется такое взаимодействие, при котором γ -квант поглощается (исчезает), а его энергия E_γ расходуется на отрыв и на передачу кинетической энергии одному из электронов атома (рисунок 8.1, а):

$$E_\gamma = E_{св} + E_k, \quad (8.1)$$

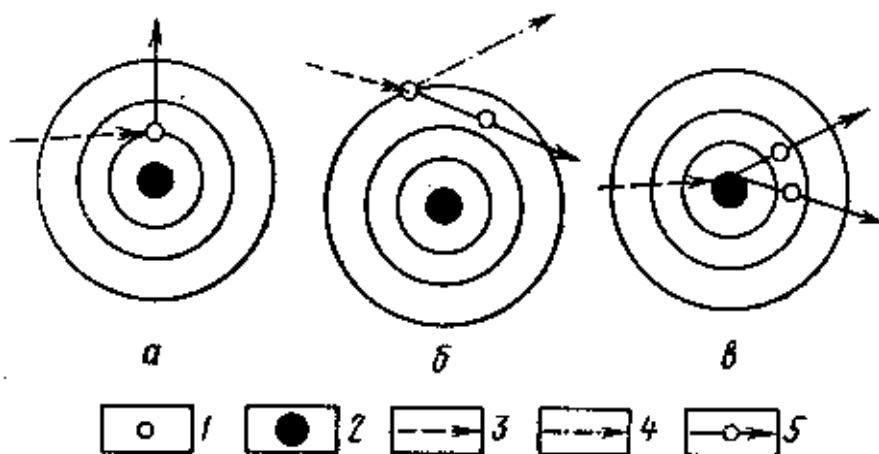
где $E_{св}$ – энергия связи электрона в атоме;

E_k – кинетическая энергия, передаваемая фотоэлектрону.

При фотоэффекте γ -квант может выбить связанные электроны, энергия связи $E_{св}$, которых меньше энергии самого γ -кванта E_γ . Такой процесс вырывания электрона из атома фотоном называется фотоэффектом, а вырывающиеся электроны – фотоэлектронами. Фотоэлектрический эффект представляет собой процесс взаимодействия гамма-квантов с веществом, при котором вся энергия гамма-кванта передается электрону. При этом гамма-квант исчезает, а возбужденный электрон покидает электронную оболочку атома. Атом, потерявший электрон, оказывается в возбужденном состоянии. Освободившийся уровень энергии в атоме заполняется одним из *наружных электронов*, при этом испускается квант характеристического (рентгеновского) излучения, т.е. фотоэффект сопровождается характеристическим излучением.

Фотоэлектроны вылетают преимущественно в направлении, перпендикулярном к распространению поляризованного пучка гамма-лучей малой энергии (рисунок 8.1, а), под углом $\varphi \approx 90^\circ$.

Этот эффект также называют фотоэлектрическое поглощение γ -квантов, (γ, e^-) . Происходит этот эффект при энергиях γ -квантов (в эВ), когда $E_\gamma > \varepsilon$, где ε – энергия связи электрона, равная для К-оболочки $13,6 Z^2$. Эффект сопровождается характеристическим рентгеновским излучением, возникающим при переходе атома в основное состояние. Фотоэффект является преобладающим при энергиях ниже **десятков кэВ** для легких элементов и ниже **сотен кэВ** для тяжелых элементов.



a – фотоэффект; $б$ – комптон-эффект; $в$ – эффект образования пар
 1 – электрон; 2 – ядро; 3 – γ -квант до взаимодействия; 4 – рассеянный γ -квант; 5 – электрон или позитрон

Рисунок 8.1 – Схема основных типов взаимодействия γ -квантов с веществом

Гамма-кванты малой энергии способны выбивать из атома лишь оптические электроны, обладающие *малой энергией связи*. Гамма-кванты большой энергии могут выбивать электроны из более глубоких электронных слоев.

Наибольшая вероятность возникновения фотоэффекта, например, для свинца возникает при энергии гамма-квантов **менее 0,5 МэВ**, для Al – 50 кэВ.

Вероятность фотоэффекта резко уменьшается с увеличением энергии кванта. Для характеристики многокомпонентной горной породы используется величина $Z_{\text{эф}}$ – эффективный порядковый номер. Вероятность фотоэффекта $\mu_{\text{ф}}$ зависит от присутствия и содержания в породе тяжелых элементов (рудных элементов): железа с $Z = 26$, свинца с $Z = 82$, ртути с $Z = 80$. В то время как породообразующие минералы и горные породы обладают значениями $\mu_{\text{ф}}$ порядка 12 – 15. Указанная особенность гамма излучения позволяет использовать фотоэффект для *количественного определения* содержания тяжелых элементов в горных породах.

Комптон-эффект заключается в рассеянии γ -кванта электроном. Это рассеяние – неупругое рассеяние, подобно столкновению двух упругих шаров (рисунок 8.1, б) с массами m_e и $m_{\gamma} = E_{\gamma}/c^2$. В соответствии с законами упругого соударения энергия γ -кванта E_{γ} распределяется между рассеянным

(отклоненным от своей прямолинейной траектории) квантом E'_γ и электроном отдачи E_e .

В области, где комптон-эффект является преобладающим ($0,05 \leq E_\gamma \leq 15$ МэВ), энергия γ -кванта больше энергии связи электронов в большинстве веществ и потому связь электрона с ядром практически не сказывается на закономерностях комптоновского рассеяния. При энергиях γ -квантов от 0,5 до 5 МэВ комптон-эффект (γ, γ) возникает для тяжелых ядер, а при энергиях от 0,05 до 15 МэВ для легких ядер.

Комптоновское рассеяние – взаимодействие гамма-квантов с электронными оболочками атомов окружающей среды. Один и тот же квант может взаимодействовать с атомами вещества многократно, и каждый раз теряет часть своей энергии и затем поглощается. Вероятность комптоновского рассеяния зависит от первоначальной энергии кванта и плотности вещества. Чем больше плотность вещества (чем выше атомный номер элемента – заряд его ядра), тем быстрее в нем рассеиваются и поглощаются гамма-кванты.

При энергии гамма-квантов от 0,5 до 4,7 МэВ, и при взаимодействии их, например, со свинцом преобладает комптоновское рассеяние, для Al – диапазон энергий гамма квантов для возникновения комптоновского эффекта изменяется от 50 кэВ до 15 МэВ.

Для *легких элементов* (кроме H_2) коэффициент поглощения не зависит от атомного номера вещества и, следовательно, от химического состава. Поэтому при взаимодействии гамма квантов средних энергий с веществом (комптоновский эффект) определяется плотность многокомпонентной среды – горной породы.

Образование пары наблюдается при взаимодействии γ -кванта с полем ядра. При этом взаимодействии γ -квант исчезает, а за счет его энергии образуется пара частиц, вернее, частица и античастица – электрон и позитрон (рисунок 8.1, в). Такое взаимодействие (γ, e^+e^-) имеет место при энергии γ -кванта **не менее 1 МэВ**. В дальнейшем позитрон аннигилирует, образуя два γ -кванта. Процесс рождения пары превалирует при высоких энергиях кванта –

выше нескольких МэВ для тяжелых элементов и выше 10 –20 МэВ для легких элементов.

Процесс рождения пары электрон-позитрон, возникает при взаимодействии высоких энергий гамма-квантов **более 4,7 МэВ**, например, со свинцом, и более 15 МэВ для Al.

Поскольку энергия гамма излучения естественных радиоактивных элементов обычно не превышает 3 МэВ, эффектом образования пар можно пренебречь.

Для большинства породообразующих элементов – $Z = 6-20$, преобладающим эффектом взаимодействия гамма излучения средних энергий с веществом является комптоновское рассеяние.

Таким образом, при прохождении через любое вещество (в нашем случае – через горную породу) гамма-кванты за счет многократного комптоновского рассеяния теряют часть своей энергии, а затем в результате фотоэлектрического эффекта поглощаются.

Оборудование и материалы

1. Функциональные схемы основных типов взаимодействия γ -квантов с веществом.
2. Аналитические формулы и рисунки газоразрядного, сцинтилляционного и пропорционального счетчиков.
3. Первичные преобразователи – детекторы радиоактивного каротажа.

Указания по технике безопасности

При работе следует помнить, что детекторы радиоактивного каротажа хрупкие, стеклянные изделия.

В случае включения детекторов в скважинный прибор следует заземление осуществлять электрическим соединением клеммы заземления, с контуром заземления лаборатории. Заземление должно быть выполнено медным проводом, сечением не менее 1,5 мм².

Задание

Изучить конструктивные особенности и принцип работы газоразрядного счетчика.

Изучить конструктивные особенности и принцип работы сцинтилляционного счетчика.

Порядок выполнения

Вначале изучаются конструктивные особенности детекторов.

В металлический защитный кожух вставляется сцинтилляционный счетчик, состоящий из фосфора и фотоэлектронного умножителя.

Газоразрядный счетчик изучается конструктивно: как располагаются анод и катод друг относительно друга, какой газ заполняется в детектор для индикации гамма-квантов, какое напряжение подается на электроды.

Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- схема основных типов взаимодействия γ -квантов с веществом.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Контрольные вопросы

1. Что называется интенсивностью излучения?
2. Что называется сечением реакции?
3. Фотоэффект и при каких энергиях гамма-квантов он возникает?
4. Комптон-эффект и при каких энергиях гамма-квантов он возникает?
5. Образование пары и при каких энергиях гамма-квантов он возникает?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Основная литература:

1. Богданович, Н. Н., Десяткин, А. С., Добрынин В. М. Геофизические исследования скважин: справочник мастера по промышленной геофизике / Н. Н. Богданович и др., М.: Инфра-Инженерия, 2009. – 958 с.

2. Лукьянов, Э. Е. Геолого-технологические исследования и геофизические исследования в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2009. – 752 с.

2. Дополнительная литература:

1. Стрельченко, В. В. Геофизические исследования скважин: учебник / В. В. Стрельченко. - М.: Недра, 2008. - 551 с. : ил. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). - Библиогр.: с. 541. - Прил.: с. 542-548. - ISBN 978-5-8365-0314-7.

2. Геофизические исследования скважин / Под редакцией В. М. Добрынина, Б. Ю. Вендельштейна, Р. А. Резванова, А. Н. Африкяна. Учебное пособие для ВУЗа – М.: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М Губкина, 2004. – 400 с.

3. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах / под редакцией Козяра В.Ф. – Тверь: ГЕРС, 2002. – 280 с.

4. Скважинные геофизические информационно-измерительные системы / В. Н. Широков, Е.М. Митюшин, В. Д. Неретин и др. Учебное пособие для ВУЗа. – М.: Недра, 1996. – 317 с.

5. Применение геофизических методов в процессе эксплуатации скважин. – В. Н. Моисеев. Учебное пособие. – М.: Недра, 1990. – 240 с.

6. Ларионов, В. В. Ядерная геофизика и радиометрическая разведка: учебник для вузов изд. 2-е, переработанное / В. В. Ларионов, Р.А. Резванов – М.: Недра, 1976, – 301 с.

7. Электронный курс лекций.

3. Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Тромсё (Universiti of Tromsø), Норвегия.
2. <http://www.gtokniga.org/inboles> - Геологический портал GeoKniga.
3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.

Лабораторная работа № 9

Тема: Взаимодействие быстрых нейтронов с породой.

Цель работы

- Закрепление теоретических знаний лекционного материала.
- Изучение законов взаимодействия нейтрона с горной породой.

Теоретическая часть

Взаимодействие нейтронов с веществом

Вторым видом ядерных частиц, имеющим важнейшее значение при исследовании скважин, являются нейтроны.

Не обладая электрическим зарядом, нейтроны не испытывают действия электронных оболочек и не отталкиваются кулоновским полем ядра, поэтому обладают большой проникающей способностью. Кроме того, при соударении с ядрами они вызывают разнообразные ядерные реакции, что делает их весьма полезными при изучении ядерного, а, следовательно, и химического состава горных пород.

В свободном состоянии нейтрон распадается ($T = 11,77$ сек) на протон, нейтрино и электрон с выделением энергии 0,782 МэВ: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu} + 0,782$ МэВ.

Способность горных пород рассеивать и поглощать (захватывать) нейтроны характеризуется макроскопическими, эффективными сечениями рассеяния и захвата.

Нейтроны в зависимости от своей энергии E подразделяются на:

быстрые: быстрые со скоростями $v > 10^9$ см/с и энергиями $0,1 < E < 14$ МэВ и промежуточные $1 < E < 100$ кэВ.

медленные: надтепловые $0,5 < E < 1$ кэВ, тепловые $0,025 < E < 0,5$ эВ, холодные $E < 0,025$ эВ и ультрахолодные $E < 10^{-7}$ эВ.

Реакции с участием нейтронов разделяются на две группы: рассеяние и поглощение нейтронов. Рассеяние бывает упругое и неупругое.

Упругое рассеяние (n, n) аналогично столкновению двух идеально упругих шаров, ядерная реакция при которой меняется лишь кинетические энергии и направления движения нейтронов. Сечение упругого рассеяния большинства ядер при $E < 1 \text{ МэВ}$ почти постоянно, а при большей энергии нейтронов существенно зависит от энергии последних. Из основных элементов горных пород наибольшее сечение упругого рассеяния $(20 - 80) \cdot 10^{-26} \text{ м}^2$ характерно для *водорода*.

Упругое рассеяние является универсальным процессом, который протекает на всех ядрах независимо от величины энергии нейтронов. При упругом рассеянии нейтрон отклоняется от первоначального направления движения и часть его кинетической энергии передается ядру.

Потеря энергии нейтрона при его упругом соударении зависит от массы ядра. Наибольшее изменение энергии достигается при соударении с ядром водорода, масса которого наиболее близка к массе нейтрона. При столкновении с ядром водорода нейтрон в среднем уменьшает свою энергию в 2 раза, а например, для ядер кислорода и кремния это уменьшение составляет всего 11 и 6%. Благодаря высокому сечению рассеяния и большой потере энергии при соударении *водород является аномальным замедлителем нейтронов*, поэтому водородосодержащие среды (вода, парафин, органические жидкости, а также бериллий и углерод) являются сильными замедлителями нейтронов.

При **неупругом рассеянии** (n, n^*) энергия нейтрона расходуется не только на создание кинетической энергии ядра, но и на **его возбуждение**, т. е. увеличение его внутренней энергии. Пороговая реакция $n + X \rightarrow X^* + n$, $X^* \rightarrow X + \gamma$, при которой ядро оказывается в возбужденном состоянии и энергия возбуждения снимается путем излучения γ -квантов неупругого рассеяния. *Потеря энергии в среднем больше*, чем при упругом рассеянии. Однако неупругое рассеяние на легких элементах происходит лишь при **больших**

энергиях нейтронов и в радиометрии скважин играет меньшую роль, чем упругое рассеяние. Спектр γ -излучения неупругого рассеяния является индивидуальной характеристикой ядра, поэтому измерение спектра гамма излучения позволяет определить природу ядер, особенно *легких*. Энергия рассеянных нейтронов n^* примерно равна разности энергий первичного нейтрона n и испущенного гамма кванта γ . С увеличением атомного веса ядра и энергии нейтрона сечение неупругого рассеяния увеличивается. Поэтому неупругое рассеяние происходит только с **быстрыми нейтронами** и преимущественно на тяжелых ядрах. Измерение *спектра гамма излучения позволяет определять природу ядер элементов, неупруго рассеивающих нейтроны*.

Поглощение нейтронов сопровождается испусканием какой-либо ядерной частицы. Это может быть протон, альфа-частица (α), один или несколько гамма-квантов и т. д. Соответствующие ядерные реакции принято обозначать (n, p) , (n, α) и (n, γ) . Последняя реакция с испусканием гамма-квантов называется *радиационным захватом нейтрона*.

Реакция радиационного захвата с заметной вероятностью происходит лишь **при малой энергии нейтрона** (для легких ядер менее 1 – 10 эВ). Сечение этой реакции убывает обратно пропорционально скорости нейтронов. Реакции (n, p) и (n, α) , наоборот, происходят обычно лишь при очень высокой энергии нейтронов (как правило, **выше 5 МэВ**) и при радиометрии скважин имеют ограниченное значение. Исключение составляет реакция (n, α) на некоторых легких элементах (бор, литий), реакция (n, p) на очень редком изотопе гелия ${}^3_2\text{He}$ и некоторых др. Они аналогично реакции (n, γ) наиболее интенсивно протекают с медленными нейтронами.

Нейтроны, испущенные источником и попавшие в горную породу, относительно быстро замедляются в результате упругих и частично неупругих соударений. Поэтому большинство из них избегает поглощения в области высокой энергии и захватывается ядрами по реакции радиационного захвата, уже имея очень малую энергию, близкую к энергии теплового движения атомов

среды (порядка 1 – 40 эВ), за исключением пород, богатых бором и литием, где кроме гамма-квантов образуются также альфа-частицы.

Спектр гамма-излучения радиационного захвата различен для разных элементов. Это различие может быть использовано для определения элементного состава горных пород.

При поглощении нейтронов ядрами некоторых изотопов они становятся радиоактивными. Поэтому кроме гамма-излучения радиационного захвата, испускаемого практически в момент захвата и потому наблюдаемого лишь одновременно с облучением породы нейтронами, существует еще гамма-излучение активированных ядер, которое можно наблюдать и после выключения или удаления источника нейтронов.

Различают упругое и неупругое рассеяние нейтронов. В первом случае при столкновении нейтрона с ядром скорость его (следовательно, энергия) уменьшается, а направление движения отклоняется от первоначального. Весь процесс определяется законами сохранения энергии и моментов, а также первоначальной скоростью (энергией) нейтрона. Упругое рассеяние преобладает при энергиях нейтронов менее 1 МэВ. При больших энергиях нейтронов (несколько МэВ) происходит процесс неупругого рассеяния. При этом значительная часть энергии нейтрона передается ядру, которое переходит в возбужденное состояние. Неупругое рассеяние нейтронов сопровождается гамма-излучением, возникающим при возвращении ядра в нормальное состояние. *Наибольшую энергию нейтрон теряет при столкновении с ядром атома водорода, масса которого почти равна массе самого нейтрона.* В этом случае велика вероятность потери нейтроном всей его энергии.

В результате многократных столкновений с ядрами нейтроны быстро растрачивают энергию и замедляются до тепловых скоростей. Длина замедления нейтронов прежде всего зависит от содержания в окружающей среде водорода. Так, длина пути замедления нейтронов в воде составляет несколько сантиметров, а в горной породе – от 15 до 35 см (в зависимости от содержания в ней воды или нефти).

Итак, поскольку нейтрон электрически нейтрален, он не взаимодействует с электрическими зарядами атома и скорость его движения, а следовательно, энергия изменяется только в результате столкновений с ядрами атома.

Замедлившиеся до тепловых скоростей нейтроны вступают в диффузионную фазу движения, т. е. двигаются в среде, претерпевая столкновения с атомами, но сохраняя среднее значение своей энергии (0,025 эВ). Эта фаза характеризуется диффузионной длиной, т. е. расстоянием, которое проходит нейтрон с момента, когда он становится тепловым, до момента его поглощения (захвата) каким-либо ядром. Способность разных элементов захватывать медленные нейтроны различная. Среднее время жизни теплового нейтрона $10^{-3} - 10^{-4}$ с.

Наибольшим сечением захвата нейтрона характеризуются такие элементы, как хлор, бор, железо, марганец и некоторые другие.

Захватывая тепловой нейтрон, ядро возбуждается, а при возвращении в устойчивое состояние излучает один или несколько гамма-квантов. Это гамма-излучение называют радиационным, вторичным или вызванным. При захвате нейтрона атомом Cl испускается 2,37 гамма квантов ($E = 4 - 7$ МэВ). Возникновения гамма-лучей захвата в водородосодержащей среде происходит с испусканием одного гамма кванта по следующей реакции:



Каждый элемент (изотоп) обладает характерным спектром гамма-излучения, возникающего при радиационном захвате нейтрона. Это обстоятельство позволяет использовать гамма-спектрометрию для определения состава вещества с помощью реакции (n, γ) .

С удалением от источника плотность нейтронов (число нейтронов в единице объема) в среде уменьшается, и одновременно возрастает количество нейтронов с меньшей энергией. Плотность нейтронов зависит от замедляющих и поглощающих свойств среды, т.е. от водородосодержания, чем выше водородосодержание, тем быстрее убывает плотность нейтронов с удалением от источника.

В результате рассеяния быстрых нейтронов, испускаемых источником, происходит их замедление и превращение в надтепловые и тепловые, т.е. энергия нейтронов становится равной кинетической энергии атомов и молекул. Такие нейтроны участвуют в тепловом движении атомов и молекул, сталкиваясь с ними, не теряя и не приобретая энергии. Этот процесс получил название диффузией нейтронов. Для характеристики диффузии тепловых нейтронов в веществе используют такие параметры, как коэффициент диффузии D , среднее время жизни нейтрона τ и длина диффузии L .

D обратно пропорционален содержанию водорода в среде. Чем больше водонасыщенность среды, тем медленней рассеивается облако тепловых нейтронов (диффузия происходит в течение $10^2 - 10^4$ мкс).

Среднее время жизни нейтрона, т.е. время с момента начала диффузии нейтрона до момента его захвата:

$$\tau = \lambda_z / v = 1 / (v \cdot \Sigma_z), \quad (9.2)$$

где λ_z – путь нейтрона (по ломаной) от точки замедления до точки поглощения;

v – скорость движения тепловых нейтронов, равная 2200 м/с при $E = 20$ °С;

Σ_z – эффективное макроскопическое сечение захвата нейтронов, выражающее способность среды поглощать нейтроны.

Значение τ зависит от присутствия в породе элементов с высоким сечением поглощения тепловых нейтронов. В большинстве осадочных породах таким элементом является хлор, содержащийся в пластовых водах.

Другим основным параметром нейтронов является длина замедления нейтронов L_s – среднее расстояние по прямой линии от места вылета нейтрона до точки, в которой нейтрон становится тепловым. Величина L_s зависит от водородосодержания и при содержании воды и нефти в породах изменяется от 15 до 35 см, а в воде составляет несколько сантиметров.

Длина диффузии L (аналогично длине замедления) характеризует среднюю длину пути нейтрона от точки, в которой он стал тепловым (точка замедления), до точки захвата (поглощения).

Аномальное сечение замедления нейтронов водородом при распространении их в водонасыщенных породах обуславливает возможность количественной оценки влажности горных пород. В том случае, когда в составе пород отсутствуют элементы с аномальными поглотителями медленных нейтронов (CL, В, К, Мп, Fe), влагосодержание измеряют по эффекту замедления нейтронов до тепловых энергий.

Изучение водонасыщенности разрезов, содержащих высокоминерализованные поровые воды с NaCl, также глинистые породы с повышенным содержанием К, В, Fe, проводят по эффекту замедления нейтронов надтепловых энергий (0,5 – 1000эВ).

Оборудование и материалы

1. Функциональные схемы основных типов взаимодействия нейтронов с веществом.
2. Аналитические формулы и рисунки газоразрядного, сцинтилляционного и пропорционального счетчиков.
3. Первичные преобразователи – детекторы радиоактивного каротажа.

Указания по технике безопасности

При работе следует помнить, что детекторы радиоактивного каротажа хрупкие, стеклянные изделия.

В случае включения детекторов в скважинный прибор следует заземление осуществлять электрическим соединением клеммы заземления, с контуром заземления лаборатории. Заземление должно быть выполнено медным проводом, сечением не менее 1,5 мм².

Задание

Изучить конструктивные особенности и принцип работы газоразрядного счетчика.

Изучить конструктивные особенности и принцип работы сцинтилляционного счетчика.

Порядок выполнения

Вначале изучаются конструктивные особенности детекторов.

В металлический защитный кожух вставляется сцинтилляционный счетчик, состоящий из фосфора и фотоэлектронного умножителя.

Газоразрядный счетчик изучается конструктивно: как располагаются анод и катод друг относительно друга, какой газ заполняется в детектор для индикации нейтронов, какое напряжение подается на электроды.

Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- схема основных типов взаимодействия нейтронов с веществом.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Контрольные вопросы

1. Что происходит с быстрым нейтроном при попадании его в горную породу?
2. В зависимости от своей энергии как подразделяются нейтроны?
3. Упругое рассеяние нейтронов?
4. Неупругое рассеяние нейтронов?
5. Поглощение нейтронов?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Основная литература:

1. Богданович, Н. Н., Десяткин, А. С., Добрынин В. М. Геофизические исследования скважин: справочник мастера по промышленной геофизике / Н. Н. Богданович и др., М.: Инфра-Инженерия, 2009. – 958 с.

2. Лукьянов, Э. Е. Геолого-технологические исследования и геофизические исследования в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2009. – 752 с.

2. Дополнительная литература:

1. Стрельченко, В. В. Геофизические исследования скважин: учебник / В. В. Стрельченко. - М.: Недра, 2008. - 551 с. : ил. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). - Библиогр.: с. 541. - Прил.: с. 542-548. - ISBN 978-5-8365-0314-7.

2. Геофизические исследования скважин / Под редакцией В. М. Добрынина, Б. Ю. Вендельштейна, Р. А. Резванова, А. Н. Африкяна. Учебное пособие для ВУЗа – М.: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004. – 400 с.

3. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах / под редакцией Козяра В.Ф. – Тверь: ГЕРС, 2002. – 280 с.

4. Скважинные геофизические информационно-измерительные системы / В. Н. Широков, Е.М. Митюшин, В. Д. Неретин и др. Учебное пособие для ВУЗа. – М.: Недра, 1996. – 317 с.

5. Применение геофизических методов в процессе эксплуатации скважин. – В. Н. Моисеев. Учебное пособие. – М.: Недра, 1990. – 240 с.

6. Ларионов, В. В. Ядерная геофизика и радиометрическая разведка: учебник для вузов изд. 2-е, переработанное / В. В. Ларионов, Р.А. Резванов – М.: Недра, 1976, – 301 с.

7. Электронный курс лекций.

3. Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Трёмсё (Universiti of

Tromsø), Норвегия.

2. <http://www.gtokniga.org/inboles> - Геологический портал GeoKniga.
3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.

Тема: Физические основы нейтрон-нейтронного метода по надтепловым нейтронам

Цель работы

- Закрепление теоретических знаний лекционного материала.
- Определение водородосодержания пород.

Теоретическая часть

Поскольку нейтрон-нейтронный метод по надтепловым нейтронам относится к группе нейтронных методов, говоря о теории ННМ-НТ необходимо начать с некоторых общих теоретических аспектов нейтронного каротажа.

Таблица 10.1 – Форма интерпретационной таблицы данных ННМ-НТ

N пл	Кровля, м	Подолва, м	h, м	In, у.е.	In _{ам} , у.е.	v, о.е.	In _∞ , у.е.	In _{∞оп1} , у.е.	In _{∞оп2} , у.е.	ΔIn, у.е.	W, %	Кгл, о.е.			Кп _і , %	Кп _Σ , %
												ГМ	ПС	Кгл _{среднее}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

Общепринятые обозначения:

In – значение амплитуды ННК; In^{вм} – амплитуда In вмещающих пород; v – коэффициент ослабления; In_∞ – значение амплитуды In, приведенное к условиям пласта бесконечной мощности и учитывающее инерционность аппаратуры; In_{∞оп1} – приведенное значение амплитуды In для первого опорного пласта; In_{∞оп2} – приведенное значение амплитуды In для второго опорного пласта; ΔIn – значение разностного параметра (определяется в пределах пластов коллекторов выделенных по данным методов БЭЗ и ПС); W – индекс водородосодержания; Кгл_{среднее} – среднее арифметическое значение коэффициента глинистости, полученное по данным интерпретации ГМ и метода ПС; Кп_і – значение коэффициента пористости (для каждого пласта коллектора выделенного по данным методов БЭЗ и ПС); Кп_Σ – средневзвешенное значение коэффициента пористости для объектов выделенных по БЭЗ и ПС (рассчитывается с учетом мощности каждого пропластка, входящего в выделенные объекты; покрышки при этих расчетах не учитываются).

Энергетическая характеристика нейтронов

1. Тепловые нейтроны $E < 1$ эВ;
2. Надтепловые нейтроны $E = 1$ эВ – 100 МэВ;
3. Быстрые $E > 100$ МэВ.

Т.к. в ходе проведения ННМ-НТ регистрируется результат взаимодействия нейтронов с горной породой, рассмотрим **типы**

взаимодействия нейтронов с веществом горных пород (нейтроны во всех видах взаимодействия взаимодействуют только с ядрами):

Упругое рассеивание – с веществом взаимодействуют надтепловые нейтроны с $E = 1 \text{ эВ} - 100 \text{ МэВ}$. При взаимодействии с ядрами тяжелых элементов, энергия нейтрона практически не меняется. При взаимодействии с ядрами меньших размеров происходит потеря части энергии. При взаимодействии с ядрами атомов водорода может происходить полное поглощение энергии надтеплого нейтрона.

При рассмотрении упругого рассеивания вводится понятие параметра замедления (μ), как функция от массы ядра того элемента с которым взаимодействует нейтрон и угла рассеяния: $\mu = f(M; \theta)$.

Наибольшая потеря энергии происходит при соударении с ядрами легких элементов, т.е. максимальные потери энергии у надтеплого нейтрона будут наблюдаться при соударении с ядрами водорода.

Т.о. потеря энергии при взаимодействии с веществом горной породы в первую очередь будет зависеть от их водородосодержания. А их водородосодержание, в свою очередь, будет зависеть от пористости исследуемой горной породы.

Эффект упругого рассеивания – это основа ННК-НТ.

[illegible]

Неупругое рассеивание – во взаимодействие вступают нейтроны с $E > 100$ МэВ. Быстрые нейтроны взаимодействуют с ядрами тяжелых элементов. Часть энергии затрачивается на возбужденные ядра. В тот момент, когда ядро возвращается в стабильное состояние, оно испускает гамма-кванты. Спектр энергий этих гамма-квантов индивидуален для ядер разных элементов. Это рассеянное гамма-излучение называется гамма-излучение неупругого рассеяния (ГИНР). Эффект неупругого рассеяния есть основа НГК-С.

Радиационный захват – с веществом взаимодействуют нейтроны с $E < 1$ эВ – тепловые, они захватываются ядром и в момент поглощения происходит гамма-излучение. Аномальный поглотитель тепловых нейтронов – это NaCl. Эффект радиационного захвата есть основа ННК-Т или НГК (регистрируется гамма-излучение радиоактивного захвата – ГИРЗ).

Регистрация нейтронов

1. Газоразрядные счетчики (пропорциональные – энергия регистрируемых нейтронов пропорциональна регистрируемому сигналу, при этом если камера счетчика заполнена He^+ , то при регистрации нейтронов порождаются α -частицы, а если камера заполнена изотопами фтора – быстрые протоны).

2. Сцинтилляционные счетчики (пропорциональные – энергия регистрируемых нейтронов пропорциональна регистрируемому сигналу; сцинтиллятором является смесь сернистого цинка и соединения бора).

При проведении ННМ-НТ в составе скважинного прибора имеется зонд, который содержит детектор нейтронного излучения и интегрирующую ячейку.

Постоянная времени интегрирующей ячейки: $\tau = C \cdot R$ – время накопления разрядов (сигнала) – дискретность записи диаграммы, где C – емкость, R – сопротивление.

В качестве детектора могут выступать и газоразрядные и сцинтилляционные счетчики.

Постоянная времени интегрирующей ячейки τ – определяет время накопления импульсов при записи каротажных диаграмм. Таким образом,

интегрирующая ячейка вносит инерцию в процесс регистрации. Т.е. процесс регистрации происходит с некоторым запаздыванием. Иначе говоря, данные поступают со всего интервала регистрации за время τ , а запись происходит только в одной точке интервала.

Также процесс регистрации характеризуется осреднением. Радиус сферы, из которой поступает на детектор до 95% излучения, называется радиусом зоны исследования. Считается, что этот радиус составляет порядка 30 – 40 см. Т.е. осредненный сигнал характеризуется интервалом 60 – 80 см.

Зонды ННМ-НТ

Зонды нейтронного метода содержат источник, генератор и детектор нейтронов. В качестве детектора используют газоразрядный, либо сцинтилляционный счетчик, работающий в пропорциональных режимах.

Между источником и детектором размещается экран или фильтр, задерживающий прямое измерение от источника.

Длинна зонда – это расстояние между источником и детектором, а точка записи – середина этого расстояния.

Схема распространения нейтронов при ННМ-НТ

Испускаемые источником быстрые нейтроны, в результате упругого взаимодействия с ядрами окружающего вещества (горных пород) замедляются, они уменьшают свою энергию до тепловых нейтронов.

Дальнейший процесс распространения тепловых нейтронов называется диффузией. Диффузия тепловых нейтронов заканчивается их поглощением и испусканием гамма-квантов. Вид взаимодействия – радиационный захват.

Нейтронные параметры сред

Длина замедления быстрых нейтронов L_s [см] – характеризует среднее расстояние от источника до той точки пространства, где нейтрон превращается в тепловой.

Длина диффузии L_d [см] – это расстояние от места зарождения теплового нейтрона до его поглощения.

Время жизни тепловых нейтронов τ [мксек].

В таблице 10.3 приведены значения нейтронных параметров для некоторых сред.

Таблица 10.3 – Нейтронные характеристики сред

СРЕДА	L_s	L_d	τ
Вода	7,7	1,4	207
Нефть	10	2,1	190-215
Гипс	10	3,7	268
Глина	10	7,6	414
Кварц	27	17,6	1138
NaCl	21	1,0	6,1

По данным таблицы 10.3 видно, что лучшим замедлителем нейтронов является вода, а самым сильным поглотителем нейтронов является NaCl.

Нейтрон-нейтронный метод по надтепловым нейтронам (ННМ-НТ)

Плотность регистрируемых надтепловых нейтронов уменьшается, при удалении от источника быстрых нейтронов.

Зонды с размерами:

- $L < r_1$ – доинверсионные;
- $r_1 < L < r_1 + r_2$ – инверсионные;
- $L > r_1 + r_2$ – заинверсионные.

Существует зависимость изменения плотности регистрируемых надтепловых нейтронов от расстояния r (расстояние от источника быстрых нейтронов до детектора), которая имеет следующий вид (рисунок 10.1).

В скважинах заполненных буровым раствором обычно используются заинверсионные зонды, т.к. у них больший радиус исследования и большая чувствительность к изменению коэффициента пористости (т.е. к водородосодержанию).

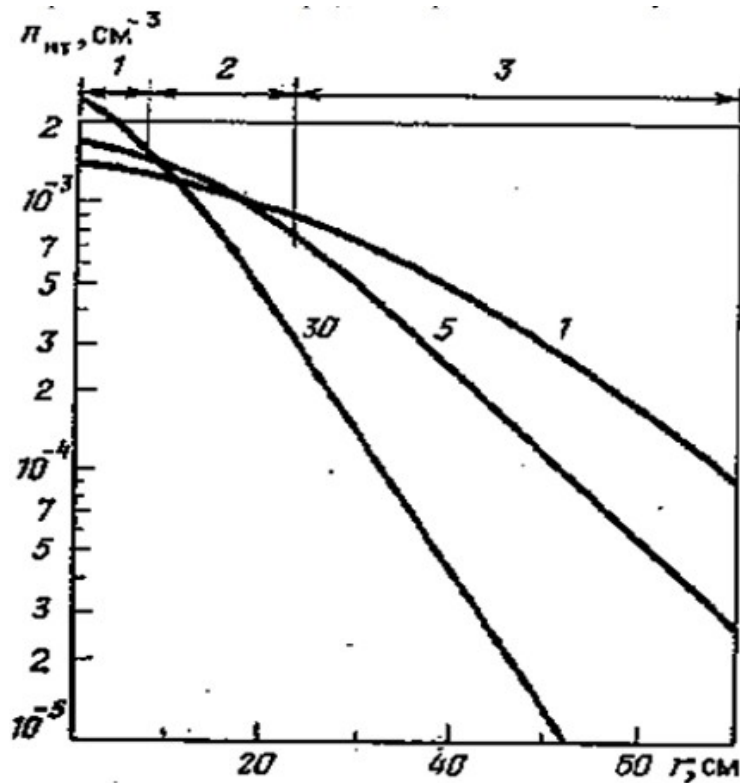


Рисунок 10.1 – Изменение плотности надтепловых нейтронов (количества нейтронов в 1 см^3) в однородном водонасыщенном песчанике в зависимости от расстояния r от источника быстрых нейтронов до детектора. Шифр кривых K_p , %

Обычно используются заинверсионные зонды длиной 30 – 40 см. При большей длине зонда, резко снижается концентрация регистрируемых нейтронов. Их количество приближается к пределу ошибки измерения – это утверждение исходит из зависимости длины пробега быстрых нейтронов (L_s) от водородосодержания (W , %), в соответствии с которой, с ростом концентрации водорода, длина пробега уменьшается, а с уменьшением W , показания метода растут.

Глины содержащие наибольшее количество воды (до 40 %) и на диаграммах нейтронного метода по надтепловым нейтронам отмечаются минимальными показаниями.

Плотные, мало пористые известняки характеризуются самыми высокими показаниями водородосодержания.

Промежуточные показания имеют породы с умеренной пористостью (10 – 30 %) – это пористые известняки и песчаники. При прочих равных условиях, чем выше коэффициент пористости у песчаников, тем выше показания метода.

Говоря о преимуществах ННМ-НТ, необходимо указать, что с помощью этого метода можно выделить газонефтяной контакт, но для этого должно выполняться хотя бы одно из двух условий: Дзп должен быть меньше 30 см (т.к. радиус исследования ННМ-НТ ≈ 30 см) или зона проникновения должна быть полностью расформирована.

Оборудование и материалы

3. Персональный компьютер.
4. Диаграммы нейтрон-нейтронного каротажа по тепловым нейтронам (выдаются преподавателем).
5. Карандаш, ластик, линейка.

Указания по технике безопасности

1. Перед включением персонального компьютера (ПК) пользователь должен проверить отсутствие посторонних предметов на клавиатуре, в том числе и влаги.
2. Включение ПК производится на мониторе, а затем на системном блоке.
3. ПК подключается в трех полюсную розетку электрической сети 220 В.
4. Рабочие места с ПК по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку преимущественно слева.
5. Искусственное освещение в помещениях с ПК осуществляется системой общего равномерного освещения с использованием светильников местного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне рабочего документа должна быть 300 - 500 лк.
6. При возгорании ПК и его периферийных устройств их надлежит немедленно отключить от розетки. Тушение ПК осуществляется только с

помощью углекислого или порошкового огнетушителей.

Задание

1. Выделить коллектора в терригенном разрезе.
2. Снять значения с кривых ННК-НТ и определить водородосодержание пород.

Порядок выполнения

1) Расчленение разреза на пласты – выполняется аналогично расчленению разреза при интерпретации гамма метода, а именно, границы пластов отбиваются по точкам перегиба кривой.

Пласты мощностью менее одного метра, в ходе выполнения данной работы, не выделяются.

Так же при разбивке на пласты по показаниям ННМ-НТ, будет обращать внимание на разбивки по показаниям методов ПС и БКЗ и в случае небольшого несоответствия, границы пластов будут приниматься по показаниям методов ПС и БКЗ.

2) Снятие амплитуд I_{n_i} – значение амплитуды I_n снимают в кровельной части пласта – это значение будет экстремальным, т.к. вследствие инерционности зонда ННМ-НТ, амплитуда I_n характеризующая исследуемый пласт будет относиться именно к кровле пласта. Затем определяют значение амплитуды интенсивности нейтронного излучения во вмещающих породах по формуле:

$$I_{n.вм} = \frac{I_{n.вм}^{кровля} + I_{n.вм}^{подошва}}{2} . \quad (10.1)$$

3) Приведение амплитуд к условиям пласта бесконечной мощности (поправка за инерционность регистрации и мощность пласта) – расчеты интенсивности нейтронного излучения предполагают, что отчеты делаются дискретно, т.е. при скорости подъема $V = 0$ м/ч, на самом же деле нейтронное излучение регистрируется в движение, при подъеме прибора, поэтому кривые

ННМ-НТ будут искажаться (из-за инерционности аппаратуры), а значит необходимо вводить поправку за это смещение.

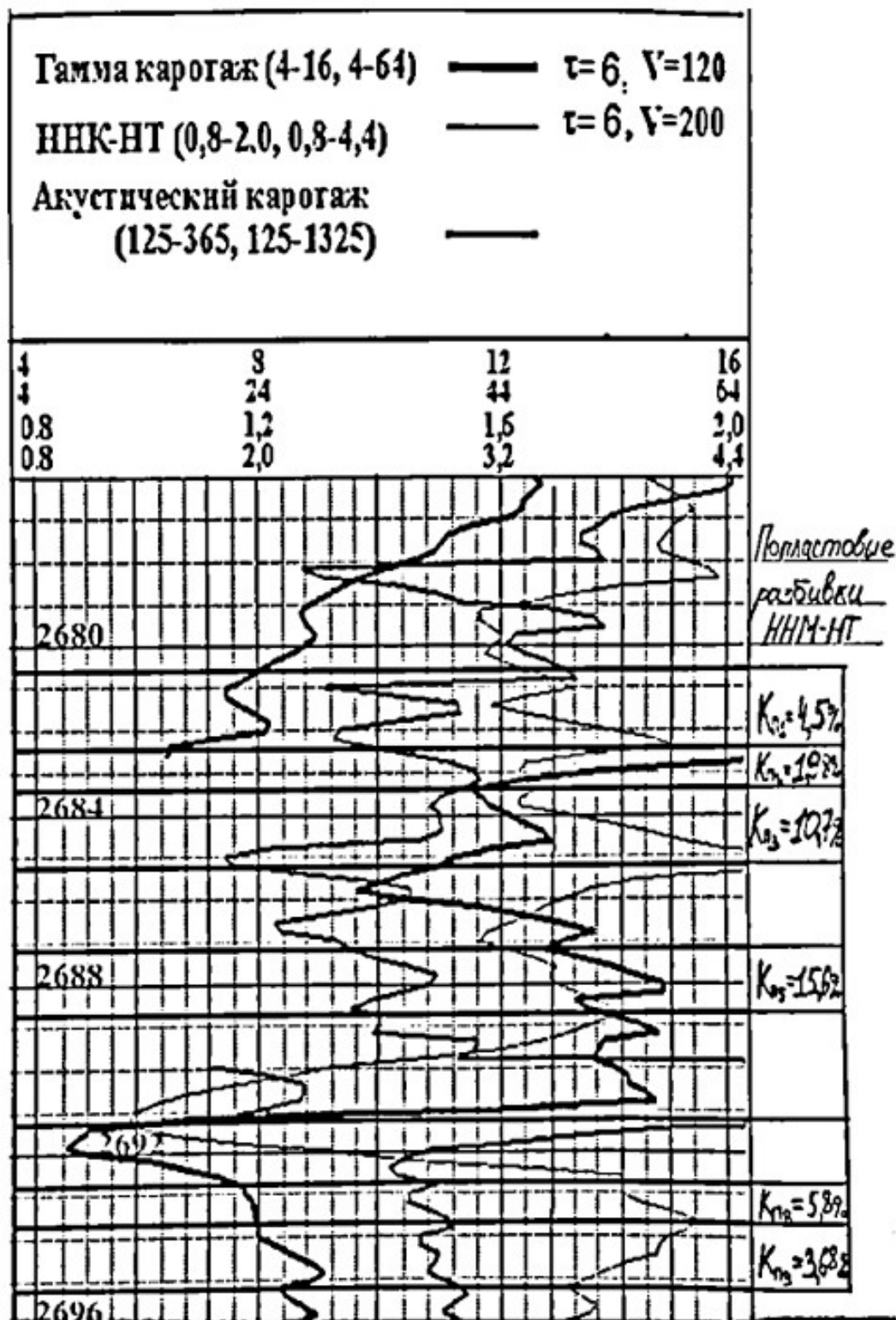


Рисунок 10.2 – Пример расчленения разреза на пласты по данным ННМ-НТ

Вдобавок к этому, для того чтобы учесть показания снятые напротив мало мощных пластов, также необходимо вводить поправку — поправку за

мощность пласта. Для того чтобы учесть влияние инерционности аппаратуры и мощности пласта, все снятые показания приводят к условиям пласта бесконечной мощности, иначе говоря, находят коэффициент снижения регистрируемой амплитуды интенсивности нейтронного излучения (v). Определяют его по номограмме (рисунок 10.3), отражающей зависимость между мощностью пласта и коэффициентом снижения регистрируемой амплитуды интенсивности нейтронного излучения. Шифром кривых на данной палетке является величина произведения $V \cdot \tau$.

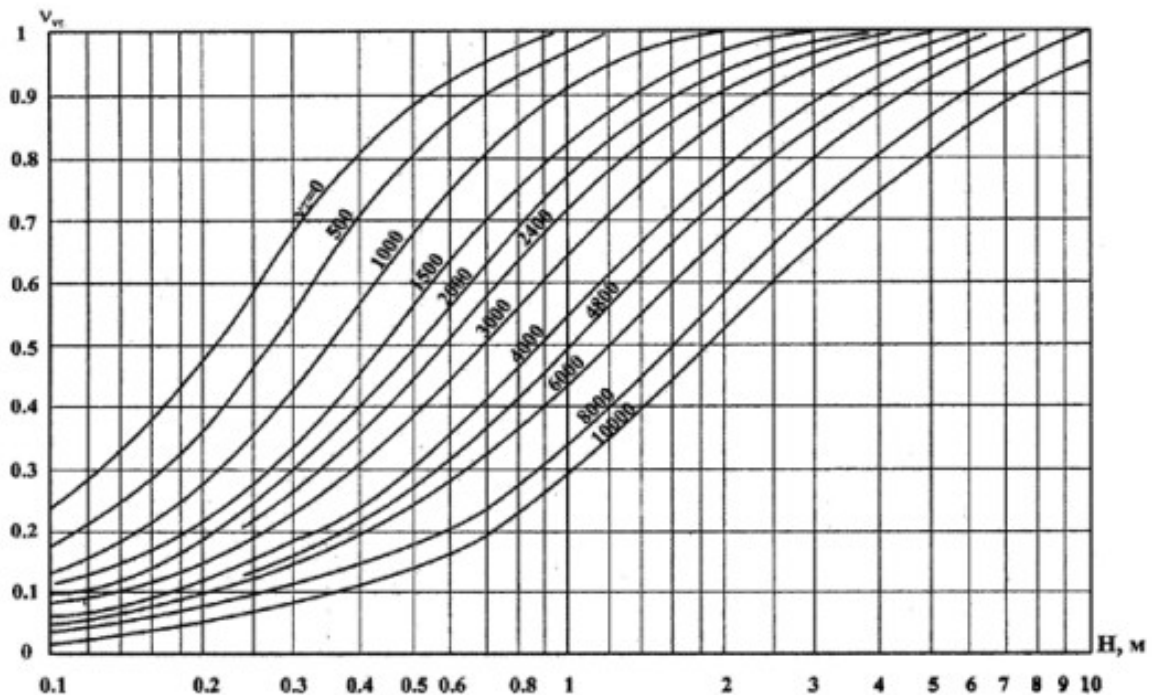


Рисунок 10.3 – Номограмма для определения коэффициента снижения регистрируемой амплитуды интенсивности нейтронного излучения

Зная коэффициент снижения регистрируемой амплитуды интенсивности нейтронного излучения, необходимо получить значение интенсивности нейтронного излучения, приведенное к условиям пласта бесконечной мощности:

$$I_{n\infty} = \frac{I_n + I_{n.вм}}{v} + I_{n.вм} \quad (10.2)$$

4) Выбор первого опорного пласта ($I_{n\infty}^{оп1}$) – минимальное значение в рамках исследуемого интервала, но не относящееся к угольному пласту (каверне).

5) Выбор второго опорного пласта ($\text{In}^{\text{оп}2}$) – это максимальное показание, которое необходимо выбрать против самого плотного пропластка в пределах пласта коллектора.

6) Построение интерпретационной номограммы – на кальке проводится линия длиной $l = \text{In}^{\text{оп}2} - \text{In}^{\text{оп}1}$ в масштабе шкалы ННМ-НТ каротажной диаграммы, получившаяся прямая разбивается с равным шагом.

Из конца получившегося отрезка, под углом 450° к линии l , проводится прямая равная расстоянию между отсчетами 5 и 40 на билогарифмическом бланке, причем отчет 5 совпадает с максимальным отсчетом по шкале l . Второй отрезок и будет шкалой значения индекса водородосодержания ($W, \%$).

Далее, на двух получившихся шкалах, соединяются отметки «0» и «40» и, по такому же принципу, параллельными линиями соединяются все остальные отметки. Именно по этой номограмме проводится определение индекса водородосодержания выделенных пластов коллекторов.

Пример интерпретационной номограммы приведен на рисунке 10.4.

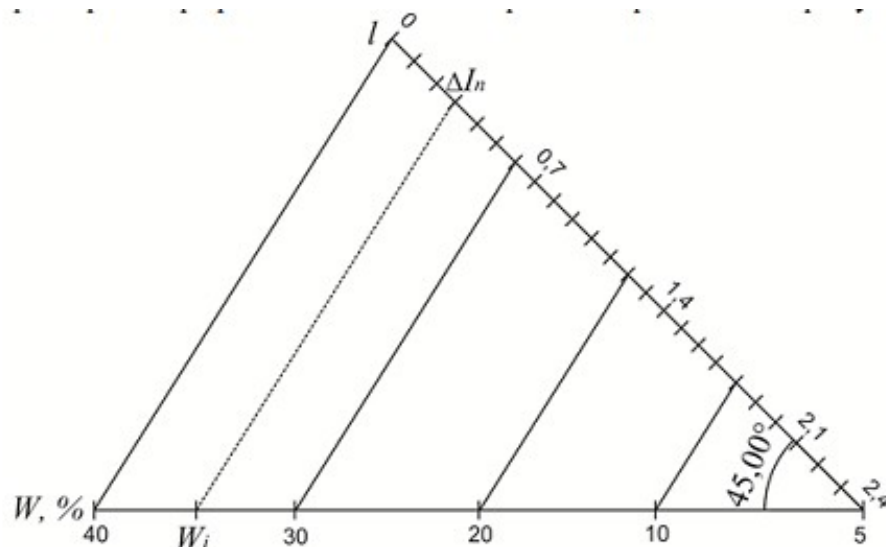


Рисунок 10.4 – Интерпретационная номограмма для определения индекса водородосодержания

7) Расчет в пределах пласта коллектора разностного параметра для каждого пропластка ΔIn_i – расчленение на пласты проводится для всего разреза, а разностные параметры считаются в пределах пластов коллекторов

по формуле:

$$\Delta \ln_i = \ln \infty_i - \ln \infty^{\text{оп1}}. \quad (10.3)$$

8) Определение индекса водородосодержания (W_{n_i}) – определяется с помощью построенной номограммы, путем отложения по оси 1 величины $\Delta \ln_i$ и проецирования ее на ось W .

9) Расчет коэффициента пористости пропластков (K_{Π}) – коэффициент пористости определяется по формуле:

$$K_{\Pi} = W - K_{\text{гл}}^{\text{сред}} \cdot W_{\text{св}}, \quad (10.4)$$

где $K_{\text{гл}}^{\text{сред}}$ – считается как среднее арифметическое от коэффициентов глинистости определенных ранее по методам ПС и ГК;

$W_{\text{св}}$ – индекс водородосодержания связанной воды, для коллекторов терригенных коллекторов Томской области, значение $W_{\text{св}}$ может быть принято равным 15 %.

10) Расчет коэффициента пористости пластов-коллекторов (K_{Π}^{Σ}) – расчет коэффициента пористости пластов-коллекторов производится путем расчета средневзвешенного значения коэффициентов пористости всех пропластков входящих в данный коллектор, иначе говоря:

$$K_n^{\Sigma} = \sum_i^n \left(K_{n_i} \cdot \frac{h_i}{\sum_i^n h_i} \right). \quad (10.5)$$

Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- диаграмму кривых ННК-НТ;
- данные и результаты расчетов, заполненные в таблицу 10.1.
- выводы, вытекающие из результатов работы.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Контрольные вопросы

4. Принцип взаимодействия нейтронов с веществом?
5. Устройства, регистрирующие надтепловые нейтроны в скважинном приборе?
6. Какие задачи решаются методом ННК-НТ?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Основная литература:

3. Учебно-методическое пособие по дисциплинам «Геофизические исследования скважин», «Интерпретация данных геофизических исследований скважин» для студентов специальностей 130201 «Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых», 130202 «Геофизические методы исследования скважин» и 130304 «Геология нефти и газа» / Авторы-составители Ф.А. Бурков, В.И. Исаев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 86 с.

2. Лукьянов, Э. Е. Геолого-технологические исследования и геофизические исследования в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2009. – 752 с.

2. Дополнительная литература:

6. Геофизические исследования скважин / Под редакцией В. М. Добрынина, Б. Ю. Вендельштейна, Р. А. Резванова, А. Н. Африкяна. Учебное пособие для ВУЗа – М.: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004. – 400 с.

7. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Резванов Р.А., Африкян А.Н. Промысловая геофизика. М.: Недра, 1986.

8. Жданов, М. С. Геофизическая электромагнитная теория и методы. – М. С. Жданов. Монография. – М.: Науч. мир, 2012. – 679 с.

9. Золоева Г.М., Лазуткина Н.Е. Комплексная интерпретация геофизических данных с целью оценки параметров коллекторов: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2009. – 148 с.

10. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом / под редакцией В.И. Петерсилье, В.И. Пороскуна, Г.Г. Яценко. – Москва-Тверь: ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003. – 260 с.

11. Стрельченко, В. В. Геофизические исследования скважин: учебник / В. В. Стрельченко. - М.: Недра, 2008. - 551 с. : ил. - (Приоритетные национальные проекты.Образование). - Библиогр.: с. 541. - Прил.: с. 542-548. - ISBN 978-5-8365-0314-7.

12. Электронный курс лекций.

3. Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Тромсё (UniversitiofTromsó), Норвегия.

2. <http://www.gtokniga.org/inboles> - Геологический портал GeoKniga.

3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.

Лабораторная работа № 11

Тема: Знакомство с работой газонаполненного индикатора.

Цель работы

- Закрепление теоретических знаний лекционного материала.
- Изучение работы газонаполненных счетчиков.

Теоретическая часть

Применение газонаполненных индикаторов излучения основано на измерении электрического заряда (тока), образующегося в газе при его ионизации заряженной частицей. Незаряженные частицы регистрируются благодаря вторичным заряженным частицам, образующимся в различных реакциях: поглощения γ -квантов с образованием электронов и поглощения нейтронов в реакциях (n, p) и (n, α) .

Газонаполненные индикаторы представляют собой наполненные газом баллоны с двумя электродами. В качестве одного из них обычно выступает сам металлический (или металлизированный стеклянный) баллон. Для собирания электронов и ионов из газа на электроды между ними подается электрическое напряжение. При отсутствии ионизирующих излучений газ является изолятором, тока между электродами нет. При прохождении заряженной частицы происходит ионизация молекул газа, он становится проводником, и в цепи индикатора появляется ток (рисунок 11.1).

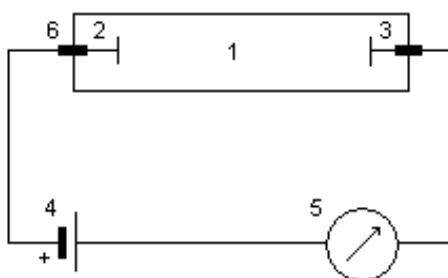


Рисунок 11.1 - Схема работы газонаполненного индикатора излучений

1-объем камеры, заполненный газом; 2-анод; 3-катод; 4-источник напряжения; 5-прибор для измерения тока камеры; 6-изоляторы.

Режим работы газонаполненного индикатора зависит от напряжения и расстояния между электродами, от формы последних, точнее от величины и распределения напряженности электрического поля в рабочем объеме. Рассмотрим зависимость ионизационного тока i от напряжения U между электродами при постоянной геометрии электродов и интенсивности излучения, взаимодействующего с детектором (рисунок 11.2).

При очень малом напряжении U скорость ионов и электронов мала: значительная их часть успевает рекомбинироваться, т. е. воссоединиться в нейтральные молекулы, не доходя до электродов (область I на рисунке 11.2). С увеличением U скорость ионов растет, потери на рекомбинацию уменьшаются. Участок II соответствует области напряжений, при которых практически все ионы достигают электродов. Ионизационный ток в этой области, почти не зависящий от изменения U , называется током насыщения. Он равен общему заряду электронов и ионов, образующихся в единицу времени. *Индикаторы, работающие в области насыщения, называются ионизационными камерами.*

Рост тока с увеличением напряжения в области пропорциональности III связан с увеличением напряженности поля до таких величин, при которых электроны между двумя соударениями с молекулами успевают набрать энергию, достаточную для их ионизации, — происходит вторичная ионизация. Вторичные электроны вместе с первичными в следующих столкновениях ионизируют другие молекулы и т. д. возникает лавинообразное размножение зарядов. Это явление, называемое газовым усилением, характеризуется коэффициентом газового усиления K , равным отношению заряда, собираемого на электродах, к первичному заряду. Коэффициент K зависит от U . В области насыщения тока $K=1$, а с увеличением напряжения величина K растет до 10^3 - 10^4 и более. *Индикатор, работающий в области пропорциональности, называется пропорциональным счетчиком.* Поскольку часто первичный

заряд пропорционален энергии регистрируемой частицы, то и импульс тока на выходе пропорционального счетчика оказывается пропорциональным этой энергии. Поэтому такой счетчик позволяет проводить спектрометрию - анализ частиц по энергиям.

В области IV пропорциональность между импульсом тока и первичным зарядом (с энергией частицы) нарушается: чем больше первичный заряд, тем меньше величина K .

В области V ток вовсе не зависит от интенсивности первичной ионизации. Здесь для возникновения мощного газового разряда достаточно появиться в детекторе хотя бы одной ионной паре. Область V ($U_4 < U < U_5$), где импульс тока на выходе индикатора зависит лишь от напряжения на нем, но не зависит от первичного заряда (и энергии регистрируемой ядерной частицы), называют областью Гейгера-Мюллера, а индикатор, работающий в таком режиме - счетчиком Гейгера-Мюллера.

При дальнейшем увеличении напряжения (область VI) наблюдается пробой газа - самостоятельный газовый разряд, возникающий даже без наличия излучения, благодаря вырыванию мощным электрическим полем электронов из материала электродов.

В принципе один и тот же индикатор в зависимости от напряжения может работать в различных режимах, однако практически это нецелесообразно. В зависимости от типа индикатора рациональны различные конструктивные решения.

Ионизационные камеры в ядерной геофизике используются в основном для регистрации α -частиц, поэтому рассматриваться не будут.

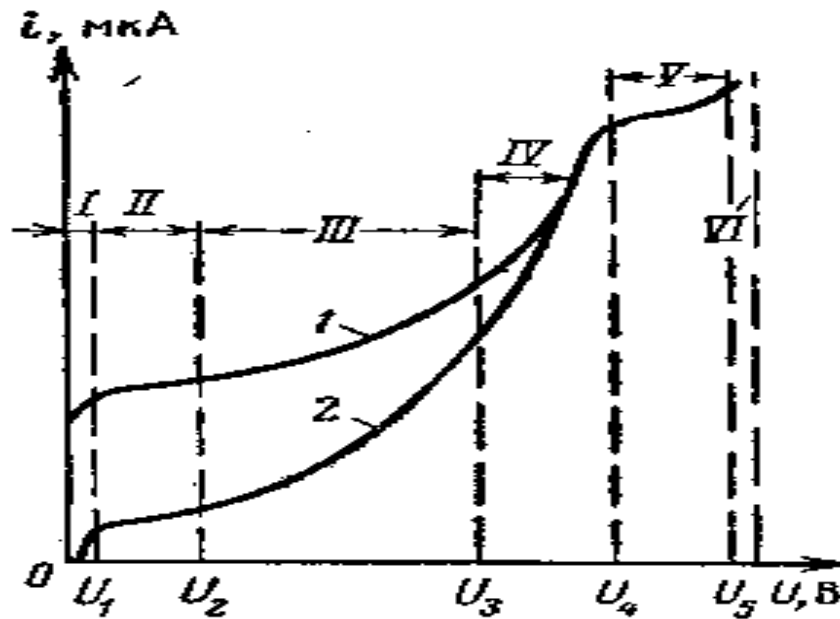


Рисунок 11.2 — Вольтамперная характеристика газонаполненных индикаторов. Области: I-рекомбинация; II-насыщения; III-пропорциональности; IV-ограниченной пропорциональности; V-Гейгера-Мюллера; VI-самопроизвольного разряда; 1- частица с большой энергией; 2- частица с малой энергией.

Для всех детекторов, работающих в импульсном режиме, важной характеристикой является разрешающее время t_p , равное минимальному времени, через которое схема восстанавливается после регистрации частицы и готова к регистрации новой частицы.

Счетчики Гейгера – Мюллера обладают высоким газовым усилением (в отдельных случаях до 10^{10}) и обеспечивают высокую амплитуду выходного импульса (единицы и даже десятки вольт). Это упрощает схему усиления импульсов, а иногда делает ее излишней и обеспечивает счетчикам Гейгера — Мюллера широкое применение при регистрации γ -квантов, β - и α -частиц.

Конструкцию счетчиков Гейгера-Мюллера выбирают такой, чтобы при сравнительно небольших напряжениях на электродах получить высокий коэффициент газового усиления. Для этого применяют цилиндрические счетчики с очень тонким анодом. Цилиндрический счетчик (рисунок 11.3)

состоит из катода-корпуса, по оси которого натянута металлическая проволока – собирающий электрод.

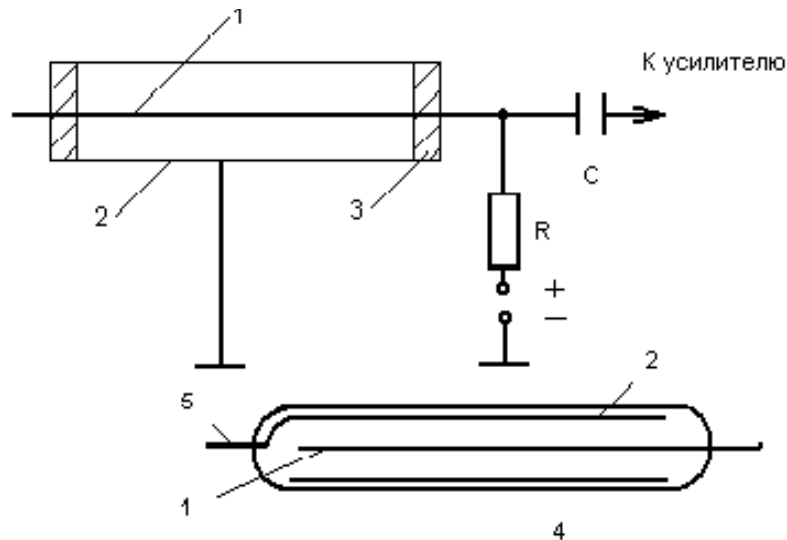


Рисунок 11.3 – Устройство и схема включения цилиндрических счетчиков
1-анод; 2-катод; 3-изолятор; 4-стеклянный баллон; 5- вывод катода

Напряженность ξ электрического поля между электродами в цилиндрическом счетчике меняется обратно пропорционально расстоянию r от его оси.

В небольшом объеме вокруг нити анода, называемом критическим, напряженность поля становится достаточной для лавинообразной вторичной ионизации. Выбирая анод достаточно тонким, можно создать критическую область и большое газовое усиление при умеренном U : напряжение питания счетчиков Гейгера - Мюллера обычно не превышает 1000 В, а у некоторых типов (галогенных) даже 250-400 В.

За время сбора электронов на аноде (10^{-7} с) тяжелые положительные ионы успевают уйти в направлении катода на очень малое расстояние. Чехол положительных зарядов вокруг анода ослабляет напряженность поля вблизи последнего. Если в это время пролетит новая заряженная частица, в критическом объеме не будет происходить газового усиления зарядов и эта частица не будет зарегистрирована счетчиком. Время ($t_m \approx 10^{-4}$ с), в течение которого невозможно газовое усиление, называется *мертвым временем счетчика*. Через время, несколько большее t_m все ионы достигают катода и

счетчик полностью восстанавливает свои свойства. Однако при нейтрализации ионов на катоде образуются возбужденные атомы и ультрафиолетовое излучение, способное вырвать фотоэлектроны из металла и начать новый разряд в счетчике. Чтобы исключить эти вторичные разряды, не связанные с попаданием в счетчик новой ядерной частицы, чаще всего применяют систему самогашения счетчика.

В соответствующих счетчиках, называемых самогасящимися, к основному газу (гелий, аргон и др.) добавляют небольшое количество (не более 10^{20} на весь счетчик) многоатомного газа (пары спиртов и т. д.) или галогенов. Многоатомные газы и галогены хорошо поглощают ультрафиолетовое излучение. При столкновении с ионом основного газа счетчика молекула многоатомного газа легко отдает ему электрон и нейтрализует его. В результате к катоду подходят уже ионы гасящего вещества, которые, вырывая электрон из катода, также возбуждаются, но возбуждение в них за редким исключением снимается не путем высвечивания фотонов, а в результате диссоциации молекулы на составные атомы.

Поскольку в каждом разряде счетчика диссоциирует приблизительно 10^{10} молекул, то счетчики с многоатомными гасящими веществами недолговечны и могут регистрировать не более 10^{10} разрядов. Лишь в галогенных счетчиках срок службы гораздо больше, поскольку два атома галогена, образующихся при диссоциации его молекулы, в дальнейшем могут соединиться в молекулу, постоянно восстанавливая количество гасящего газа.

Одной из основных характеристик счетчика Гейгера – Мюллера является счетная характеристика (рисунок 11.4), показывающая зависимость скорости счета импульсов от напряжения между электродами при постоянной интенсивности излучения. До напряжения U_1 счетчик работает в области ограниченной пропорциональности.

Амплитуда импульсов различна благодаря различию в энергии частиц и различию их пути в рабочем объеме счетчика. Поскольку любая

регистрирующая схема имеет некоторый порог, то регистрируются лишь импульсы, имеющие амплитуду выше этого порога. В области Гейгера — Мюллера $U > U_1$; все импульсы регистрируются, поскольку все они имеют одинаковую амплитуду. В некоторой области напряжений $U_1 < U < U_2$, называемой плато счетчика, скорость счета почти не зависит от напряжения.

Протяженность плато достигает нескольких сот вольт. Если рабочее напряжение выбрать в середине плато, то скорость счета не зависит от изменения напряжения до нескольких десятков вольт. Это наряду с большой амплитудой импульсов позволяет создавать на счетчиках Гейгера – Мюллера простые и надежные радиометры.

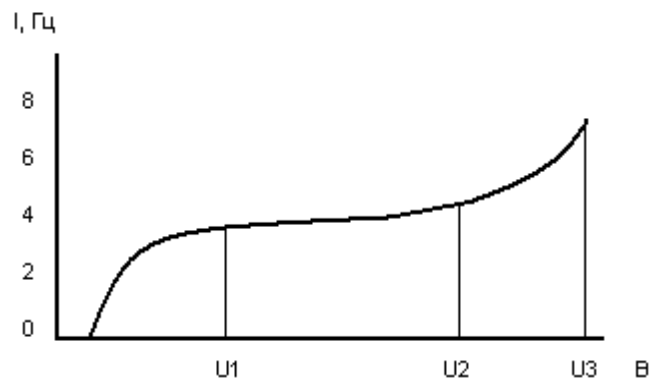


Рисунок 11.4 – Счетная характеристика счетчиков Гейгера-Мюллера

Импульсы на выходе *пропорциональных счетчиков* менее мощные, чем у счетчиков Гейгера – Мюллера, но в 10^3 - 10^4 раз мощнее, чем у импульсных ионизационных камер. Поэтому для них необходимы более простые схемы усиления, чем для импульсных ионизационных камер. Конструктивно пропорциональные счетчики подобны счетчикам Гейгера — Мюллера, но отличаются меньшей напряженностью поля в критической области.

Преимущество этих счетчиков заключается в пропорциональности импульса первичному заряду, что позволяет определять тип частиц и их энергетический спектр, а недостаток — в малой амплитуде импульса и ее зависимости от напряжения питания.

Пропорциональные счетчики широко применяются для регистрации медленных нейтронов. Такие счетчики заполняются газом, хорошо поглощающим нейтроны: ^3He или BF_3 . При поглощении нейтрона этими веществами по реакции $^3\text{He} (n, p)$ и $^{10}\text{B} (n, \alpha)$ образуются быстрые протоны и α -частицы:



Пробег тяжелых частиц почти полностью укладывается в объеме счетчиков, и они образуют относительно мощный импульс на выходе счетчика. В то же время электроны и позитроны, выбиваемые из материалов счетчика γ -квантами, имеют малую плотность ионизации и образуют импульсы тока с небольшой амплитудой. Применяя *пороговую дискриминацию*, легко отсечь импульсы от γ -квантов и регистрировать одни только нейтроны даже при наличии интенсивного поля γ -квантов.

Эффективность таких счетчиков нейтронов зависит от их размера и макроскопического сечения поглощения газа. Для повышения последнего счетчики заполняют газом под относительно большим давлением, а в счетчиках с BF_3 используют бор, обогащенный до 80-90 % изотопом ^{10}B , которому и обязано поглощение нейтронов с образованием α -частицы (в естественном боре содержится 20 % ^{10}B).

Эффективность счетчиков нейтронов для тепловых нейтронов составляет несколько десятков процентов. При необходимости регистрации лишь надтепловых нейтронов счетчики медленных нейтронов окружают чехлом из *кадмия*, имеющего высокое сечение поглощения для тепловых и относительно небольшое для надтепловых нейтронов. Такой чехол толщиной в 1 мм пропускает в счетчик лишь нейтроны с энергией более 0,3 – 0,5 эВ.

Электрическая схема подключения пропорциональных счетчиков, и счетчиков Гейгера к усилителю показана на рисунке 11.3. Электроны, образованные в результате первичной и вторичной ионизации, собираясь на аноде счетчика, вызывают на нем отрицательный импульс напряжения. Последний через разъединительную емкость C подается на вход усилителя.

Оборудование и материалы

1. Газоразрядный счетчик.
2. Зондовое устройство.
3. Приборы радиоактивного каротажа (РК).
4. Блок детектирования.
5. Наземная панель РК.
6. Источник высокого напряжения.
7. Осциллограф.
8. Пересчетное устройство.

Указания по технике безопасности

При работе следует помнить, что установка для проверки детекторов использует высокое (до 2,5 кВ) постоянное напряжение. Пользоваться установкой без защитного заземления строго запрещено.

Заземление осуществляется электрическим соединением клеммы заземления, расположенной на задней панели ИПРКУ, с контуром заземления лаборатории. Заземление должно быть выполнено медным проводом, сечением не менее 1,5 мм².

Задание

Проверить работоспособность газоразрядного детектора.

Порядок выполнения

1. Ознакомиться с приборами и устройствами, а также с принципом действия детектора РК.
2. Собрать установку согласно схемы, приведенной на рисунке 11.5, в которую входят:
 - источник высокого напряжения Б5-24А;
 - блок детектирования БГС-2;
 - пересчетное устройство Ф5137;

- осциллограф С1-93.

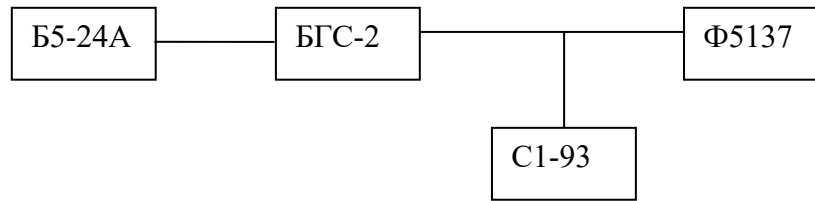


Рисунок 11.5 – Схема установки для исследования детекторов

3. Снять счетную характеристику детектора, повышая напряжение через 20 В. Счет импульсов производить в течение 1 минуты. Предельное значение напряжения 1800 В.

4. Снять 3 – 5 замеров скорости счета при одном фиксированном напряжении питания детектора с различными значениями времени измерения (20, 40, 60 с). Для каждого временного интервала измерений определить среднюю скорость счета и величину дисперсии:

$$\sigma = \pm \sqrt{\left[\sum (N_j - N_{cp})^2 / n \right]}, \quad (11.2)$$

где σ – дисперсия;

N_j – счета детектора в выбранном временном интервале;

N_{cp} – средняя скорость счета детектора в выбранном временном интервале;

n – количество замеров.

Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен включать в себя:

1. Цель и теоретические основы работы.
2. Свести результаты работы по проверке работоспособности газоразрядного детектора в таблицу 11.1.

Таблица 11.1 – Результаты проверки работоспособности детектора

Тип детектора	Напряжение начала счета, В	Подаваемое напряжение, В	Скорость счета, имп/мин	Рабочее напряжение, В	Наклон плато, %
---------------	----------------------------	--------------------------	-------------------------	-----------------------	-----------------

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

3. По данным таблицы построить счетные характеристики детекторов, определить рабочее напряжение и наклон плато.

4. По итогам работы сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Конструкция и принцип действия газонаполненных детекторов?
2. Схема работы газонаполненного индикатора излучений?
3. Какие заряженные частицы могут регистрировать газонаполненные детекторы?
4. Вольт-амперная характеристика газонаполненных детекторов?
5. Понятие «мертвое время» счетчика?
6. Счетная характеристика счетчиков Гейгера-Мюллера?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

4. Лукьянов, Э. Е. Информационно-измерительные системы геолого-технологических и геофизических исследований в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2010. – 816 с.

5. Богданович, Н. Н., Десяткин, А. С., Добрынин В. М. Геофизические исследования скважин: справочник мастера по промысловой геофизике / Н. Н. Богданович и др., М.: Инфра-Инженерия, 2009. – 958 с.

Дополнительная литература:

4. Стрельченко, В. В. Геофизические исследования скважин: учебник / В. В. Стрельченко. - М.: Недра, 2008. - 551 с. : ил. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). - Библиогр.: с. 541. - Прил.: с. 542-548. - ISBN 978-5-8365-0314-7.

5. Геофизические исследования скважин / Под редакцией В. М. Добрынина, Б. Ю. Вендельштейна, Р. А. Резванова, А. Н. Африкяна. Учебное пособие для ВУЗа – М.: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004. – 400 с.

6. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах / под редакцией Козяра В.Ф. – Тверь: ГЕРС, 2002. – 280 с.

7. Ларионов, В. В. Ядерная геофизика и радиометрическая разведка: учебник для вузов изд. 2-е, переработанное / В. В. Ларионов, Р.А. Резванов – М.: Недра, 1976, – 301 с.

8. Скважинные геофизические информационно-измерительные системы / В. Н. Широков, Е.М. Митюшин, В. Д. Неретин и др. Учебное пособие для ВУЗа. – М.: Недра, 1996. – 317 с.

6. Электронный курс лекций.

Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Тромсё (Universiti of Tromsó), Норвегия.

2. [http://www.gtokniga.org/inbo\[es - Геологический портал GeoKniga.](http://www.gtokniga.org/inbo[es)

3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.

Лабораторная работа № 12

Тема: Знакомство с работой сцинтилляционного индикатора.

Цель работы

- Закрепление теоретических знаний лекционного материала.
- Изучение работы сцинтилляционных счетчиков.

Теоретическая часть

В сцинтилляционном счетчике регистрация заряженной частицы происходит за счет возбуждения атомов и молекул вдоль ее траектории. Возбужденные атомы, живущие короткое время, переходят в основное состояние, испуская электромагнитное излучение. У ряда прозрачных веществ (фосфоров) часть спектра этого излучения приходится на световую область. Прохождение заряженной частицы через такое вещество вызывает вспышку света.

Для увеличения выхода света и уменьшения его поглощения в фосфоре в последний добавляют активаторы. Вид активатора указывают в скобках после обозначения фосфора. Так, например, кристалл NaI, активированный таллием, обозначают NaI(Tl).

Итак, попадание быстрой заряженной частицы в фосфор вызывает световую вспышку – сцинтилляцию. Последняя преобразуется в электрический импульс и усиливается в $10^5 - 10^6$ раз фотоэлектрическим умножителем (ФЭУ). На рисунке 12.1 дана принципиальная схема сцинтилляционного счетчика.

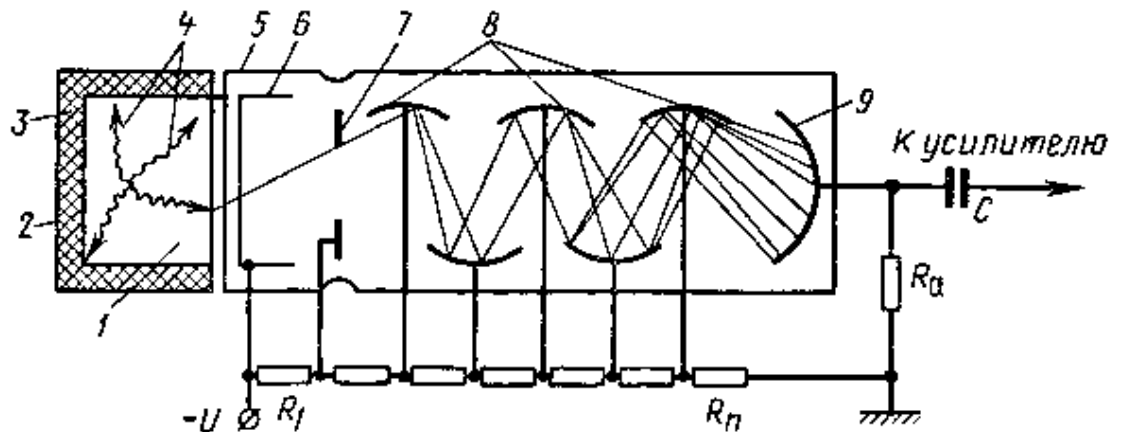


Рисунок 12.1 – Принципиальная схема сцинтилляционного счетчика
 1-люминофор; 2-корпус; 3-отражатель; 4-фотоны; 5-корпус ФЭУ; 6-фотокатод; 7-фокусирующий динод; 8-диноды; 9-собирающий анод; R_1 - R_n -делитель напряжения; R_a - анодная нагрузка; C - разделительная емкость

Регистрация γ -квантов в сцинтилляционном счетчике происходит благодаря вторичным электронам и позитронам, образующимся при поглощении γ -квантов фосфором. Поскольку фосфоры обладают хорошей оптической прозрачностью, обеспечивающей сбор света на фотокатод ФЭУ со значительного объема фосфора, то для регистрации γ -квантов применяют фосфоры большой толщины. Это обеспечивает высокую эффективность регистрации γ -квантов сцинтилляционным счетчиком, на порядок и более повышающую эффективность газонаполненных счетчиков (рисунок 12.2)

Фосфоры. Важной характеристикой фосфоров является эффективность регистрации излучения, которая определяется плотностью δ , эффективным атомным номером $Z_{\text{эф}}$ фосфора и его размерами.

Эффективность для параллельного пучка частиц растет с ростом плотности δ , эффективного атомного номера $Z_{\text{эф}}$ (массового коэффициента поглощения μ_m) и размера фосфора в направлении пучка d .

В ряде случаев важна также зависимость выхода света от энергии частиц. Для большинства фосфоров эта зависимость при регистрации β -частиц и γ -квантов линейна. Это наряду с линейностью характеристика ФЭУ позволяет *по амплитуде импульса на выходе судить об энергии регистрируемых частиц*, т. е. производить спектральный анализ излучения. Такой пропорциональности между энергией частицы и световым выходом не наблюдается для тяжелых частиц.

В радиометрической аппаратуре в основном используются следующие виды фосфоров.

Неорганические монокристаллы, особенно NaI (Tl) и частично CsI (Tl), являются наиболее распространенными фосфорами для регистрации γ -квантов. Их преимущество — высокая эффективность, обусловленная высокой плотностью и большим эффективным атомным номером $Z_{\text{эф}}$, а также высокое энергетическое разрешение. Недостатком NaI(Tl) является высокая гигроскопичность, приводящая к помутнению кристаллов при попадании влаги. Поэтому кристаллы NaI(Tl) упаковывают в герметичные контейнеры.

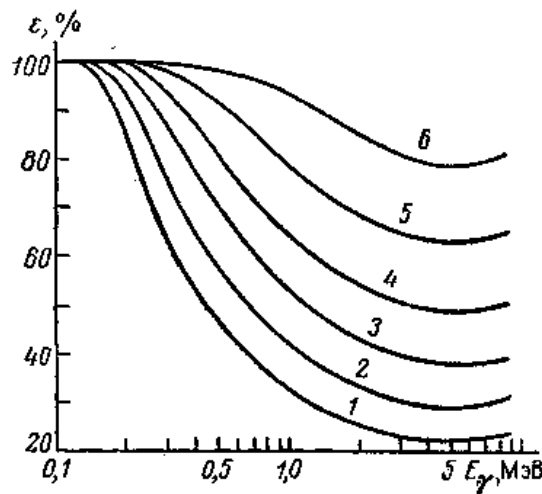


Рисунок 12.2 —

Зависимость эффективности фосфора NaI (Tl) от энергии E_γ γ -излучения

Для регистрации тепловых нейтронов применяют смесь борной кислоты с ZnS (Ag): при поглощении нейтрона ^{10}B образуются α -частицы, вызывающие сцинтилляцию в ZnS (Ag). Поскольку такая смесь мало прозрачна, сцинтиллятор обычно изготавливают в виде тонких слоев с большой удельной поверхностью.

Реже для регистрации медленных нейтронов используют монокристаллы LiI (иногда литиевые стекла). Регистрация обусловлена реакцией ^6Li (n, α).

Фотозлектронные умножители состоят из фотокатода, умножающих электродов (динодов) и анода (рисунок 12.1). Потенциал каждого последующего электрода на некоторую величину (10 В) превышает потенциал предыдущего, что обеспечивает ускорение электронов между ними.

Фотоны, поступающие из фосфора на фотокатод, выбивают из последнего *несколько десятков* или сотен электронов. Последние, фокусируясь и ускоряясь электрическим полем, бомбардируют первый динод. Тормозясь в диноде, каждый ускоренный электрон выбивает до 5-10 вторичных электронов. Такой процесс, повторяясь на каждом последующем диноде, обеспечивает умножение электронов до многих миллионов раз.

Сцинтилляционные счетчики в ядерной геологии и геофизике используются для регистрации γ -квантов, реже нейтронов и β -частиц, еще реже α -частиц. При регистрации тяжелых заряженных частиц возникает трудность с обеспечением их ввода в фосфор. Поэтому для регистрации α -частиц чаще всего используют ионизационные камеры.

Из-за термоэлектронной эмиссии фотокатода и первых динодов на выходе даже полностью затемненного ФЭУ возникает некоторый темновой ток, создающий небольшие фоновые импульсы, для их отсека в схему регистрации вводят дискриминаторы.

При регистрации γ -квантов сцинтилляционным счетчиком амплитуда импульса на его выходе пропорциональна энергии электрона и позитрона, образовавшихся при взаимодействии γ -кванта с сцинтиллятором.

Если при фотоэффекте энергия фотоэлектрона равна энергии γ -кванта (за вычетом небольшой величины – энергии связи электрона), то электрону при комптоновском рассеянии и паре электрон-позитрон в эффекте образования пар передается лишь часть энергии кванта.

Сцинтилляционные счетчики обеспечивают гораздо большую эффективность регистрации γ -квантов (до 30 – 50% и более), чем газоразрядные, и дают возможность изучения спектрального состава излучения. К преимуществам сцинтилляционных счетчиков относится более низкий уровень их собственного и космического фона. Однако сцинтилляционные счетчики более сложны и требуют квалифицированного обслуживания, чем разрядные. Это обусловлено большим влиянием температуры на световой выход фосфоров, несравненно более высокими требованиями к стабилизации источника питания, а также более сильным изменением характеристик сцинтилляционных счетчиков во времени.

Оборудование и материалы

1. Сцинтилляционный счетчик.
2. Зондовое устройство.
3. Приборы радиоактивного каротажа (РК).
4. Блок детектирования.
5. Наземная панель РК.
6. Кристалл NaI(Tl).
7. Источник высокого напряжения.
8. Осциллограф.
9. Пересчетное устройство.
10. Фотоэлектронный умножитель.

Указания по технике безопасности

При работе следует помнить, что установка для проверки детекторов использует высокое (до 2,5 кВ) постоянное напряжение. Пользоваться установкой без защитного заземления строго запрещено.

Заземление осуществляется электрическим соединением клеммы заземления, расположенной на задней панели ИПРКУ, с контуром заземления лаборатории. Заземление должно быть выполнено медным проводом, сечением не менее 1,5 мм².

Задание

Проверить работоспособность газоразрядного детектора.

Порядок выполнения

1. Ознакомиться с приборами и устройствами, а также с принципом действия детектора РК.

2. Собрать установку согласно схемы, приведенной на рисунке 12.3, в которую входят:

- источник высокого напряжения Б5-24А;
- блок детектирования БГС-2;
- пересчетное устройство Ф5137;
- осциллограф С1-93.

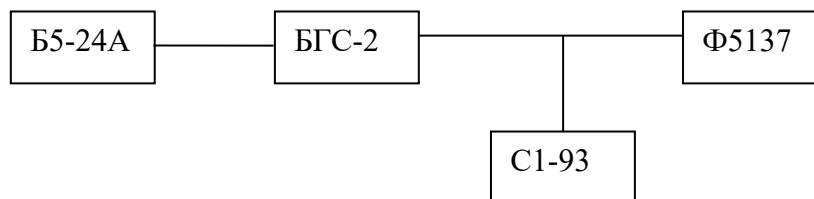


Рисунок 12.3 – Схема установки для исследования детекторов

3. Снять счетную характеристику детектора, повышая напряжение через 20 В. Счет импульсов производить в течение 1 минуты. Предельное значение напряжения 1800 В.

4. Снять 3 – 5 замеров скорости счета при одном фиксированном напряжении питания детектора с различными значениями времени измерения

(20, 40, 60 с). Для каждого временного интервала измерений определить среднюю скорость счета и величину дисперсии:

$$\sigma = \pm \sqrt{\left[\sum (N_j - N_{cp})^2 / n \right]}, \quad (12.1)$$

где σ – дисперсия;

N_j – счета детектора в выбранном временном интервале;

N_{cp} – средняя скорость счета детектора в выбранном временном интервале;

n – количество замеров.

Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен включать в себя:

1. Цель и теоретические основы работы.
2. Свести результаты работы по проверке работоспособности газоразрядного детектора в таблицу 12.1.

Таблица 12.1 – Результаты проверки работоспособности детектора

Тип детектор а	Напряжение начала счета, В	Подаваемое напряжение, В	Скорость счета, имп/мин	Рабочее напряжение, В	Наклон плато, %
1	2	3	4	5	6

3. По данным таблицы построить счетные характеристики детекторов, определить рабочее напряжение и наклон плато.

4. По итогам работы сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Конструкция и принцип действия сцинтилляционных детекторов?
2. Схема работы сцинтилляционного индикатора излучений?
3. Какие заряженные частицы могут регистрировать сцинтилляционные детекторы?
4. Понятие «мертвое время» и «разрезающая способность» счетчика?

5. Люминофор?
6. Фотоэлектронный умножитель?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Лукьянов, Э. Е. Информационно-измерительные системы геолого-технологических и геофизических исследований в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2010. – 816 с.

2. Богданович, Н. Н., Десяткин, А. С., Добрынин В. М. Геофизические исследования скважин: справочник мастера по промысловой геофизике / Н. Н. Богданович и др., М.: Инфра-Инженерия, 2009. – 958 с.

Дополнительная литература:

1. Стрельченко, В. В. Геофизические исследования скважин: учебник / В. В. Стрельченко. - М.: Недра, 2008. - 551 с. : ил. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). - Библиогр.: с. 541. - Прил.: с. 542-548. - ISBN 978-5-8365-0314-7.

2. Геофизические исследования скважин / Под редакцией В. М. Добрынина, Б. Ю. Вендельштейна, Р. А. Резванова, А. Н. Африкяна. Учебное пособие для ВУЗа – М.: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М Губкина, 2004. – 400 с.

3. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах / под редакцией Козяра В.Ф. – Тверь: ГЕРС, 2002. – 280 с.

4. Скважинные геофизические информационно-измерительные системы / В. Н. Широков, Е.М. Митюшин, В. Д. Неретин и др. Учебное пособие для ВУЗа. – М.: Недра, 1996. – 317 с.

5. Ларионов, В. В. Ядерная геофизика и радиометрическая разведка: учебник для вузов изд. 2-е, переработанное / В. В. Ларионов, Р.А. Резванов – М.: Недра, 1976, – 301 с.

6. Электронный курс лекций.

Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Трёмсё (Universiti of Tromsø), Норвегия.
2. <http://www.gtokniga.org/inboles> - Геологический портал GeoKniga.
3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.

Лабораторная работа № 13

Тема: Знакомство с работой источников ионизационного излучения (ИИИ).

Цель работы

- Закрепление теоретических знаний лекционного материала.
- Изучение источников ионизационного излучения.

Теоретическая часть

Источники γ - излучения представляют собой радиоактивный препарат, помещенный в герметичные ампулы из нержавеющей стали или алюминия; в некоторых случаях используются источники в виде металлических подложек с тонким слоем изотопа. Источники обычно испускают сложный спектр из нескольких интенсивных линий.

^{60}Co , период полураспада ($T_{1/2}$) – 5,25 лет, $E_{\text{изл}}$ – 1,33 МэВ.

^{137}Cs , период полураспада ($T_{1/2}$) – 29,6 лет, $E_{\text{изл}}$ – 0,66 МэВ.

Большинство γ -активных препаратов испускает и β -излучение, однако оно поглощается в корпусе ампулы или может быть легко исключено дополнительной экранировкой.

Другие источники гамма квантов – Цезий 137 $E_{\text{изл}}$ – 0,66 МэВ (27,4 сут), Селен 75 $E_{\text{изл}}$ 0,45 МэВ (127 сут), Сурьма 124 $E_{\text{изл}}$ 1,69 МэВ (60 сут), Тулий 170 $E_{\text{изл}}$ 0,052 МэВ (127 сут), Железо 55 $E_{\text{изл}}$ 0,0059 МэВ (2,9 года).

Ампульные источники нейтронов чаще всего представляют собой смесь или сплав α -излучателя с бериллием или бором. При бомбардировке последних α -частицами происходит реакция (α, n), например $^9\text{Be} (\alpha, n) ^{12}\text{C}$; $^{11}\text{B} (\alpha, n) ^{14}\text{N}$. Спектр нейтронов этих реакций сплошной, в основном за счет потери части энергии α -частиц на ионизацию в веществе самого источника. В качестве α -излучателя чаще всего применяют ^{210}Po или ^{239}Pu . Достоинством первого является практически полное отсутствие γ -излучения, не считая γ

квантов, сопровождающих часть реакций (α, n) ; недостатком – слишком малый период полураспада. Достоинством ^{239}Pu является большой период полураспада, недостатком – большой вес на единицу активности, обуславливающий несколько больший размер и большую стоимость источников по сравнению с источниками с ^{210}Po .

Источники с бором дают более мягкий спектр нейтронов, чем источники с бериллием:

$^{239}\text{Pu}+\text{Be}$, $T_{1/2} - 24\,360$ лет, (α, n) , $E - \text{до } 10,8$ МэВ,

$^{238}\text{Pu}+\text{Be}$, $T_{1/2} - 86,4$ года, (α, n) , $E - \text{до } 11$ МэВ,

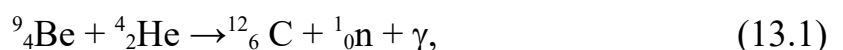
$^{210}\text{Po}+\text{Be}$, $T_{1/2} - 138,4$ дня, (α, n) , $E - \text{до } 10,9$ МэВ,

^{252}Cf , $T_{1/2} - 2,2$ года, спонтанное деление, $E - \text{до } 7-8$ МэВ.

Конструктивно Po-Be источники представляют собой герметичные двойные ампулы из нержавеющей стали или хромированной латуни, внутри которых расположена стеклянная ампула с порошком карбида бериллия (керамическая таблетка) с осажденным на нем ^{210}Po . Pu-Be источники представляют собой двойные ампулы, заполненные сплавом Pu-Be. Размер источника от 3×3 до 46×46 мм в зависимости от мощности. Мощность Pu-Be источников $10^4 - 5 \cdot 10^7$, а полониево-бериллиевых $10^6 - 4 \cdot 10^8$ нейтр./с.

К ампульным источникам относится источник из спонтанно делящегося материала, в первую очередь из ^{252}Cf , имеющий высокую мощность на единицу массы ($3 \cdot 10^9$ нейтр./с·мг) с наиболее вероятной энергией нейтрона 1,3 МэВ.

В качестве источника нейтронов используют обычно смесь полония с бериллием. Полоний – радиоактивный элемент. Распадаясь, он излучает альфа-частицу (^4_2He). При взаимодействии альфа-частицы с ядром бериллия (^9_4Be) образуются ядро углерода $^{12}_6\text{C}$ и нейтрон (^1_0n).



Нейтронные источники ионизационных излучений: Po-Be (138 сут), Pu-Be (24 360 лет), Po-B (138 сут), Cf ^{252} (2,55 года).

Генераторы нейтронов представляют чаще всего линейные ускорители дейтонов с ускоряющим напряжением приблизительно 10^5 В. Нейтроны возникают при бомбардировке дейтонами мишеней, содержащих дейтерий, тритий или бериллий. Наибольший выход нейтронов (с энергией 14 МэВ) дает реакция ${}^3\text{T} (d, n) {}^4\text{He}$.

Основными частями генератора нейтронов являются источник ионов, ускорительная трубка, мишень, вакуумная система, источник высокого напряжения. В скважинных генераторах и во многих лабораторных используют так называемые отпаянные трубки, не требующие специальной вакуумной системы. Они содержат источник ионов, ускорительный промежуток и мишень, а также хранилище дейтерия. Пример такой трубки, используемой в серийном скважинном генераторе ИГН-4

Генератор нейтронов представляет собой линейный ускоритель, в котором ионы, ускоряясь в электрическом поле, попадают на мишень и вызывают ядерную реакцию с образованием быстрых нейтронов:



Средняя энергия нейтронов 14,1 МэВ. Основной узел генератора нейтронов - нейтронная трубка. Применяются газонаполненные и вакуумные (искровые) трубки. В газонаполненных трубках рабочее давление газа поддерживается постоянным, при этом трубка может работать как в импульсном режиме, так и в стационарном. Положительные ионы дейтерия под действием отрицательного электрического поля высоковольтного электрода приобретают энергию порядка 80 – 120 кэВ и бомбардируют тритиевую мишень. Рабочее давление дейтерия в трубке создается при подогреве титановой ленты, насыщенной дейтерием. В вакуумных трубках необходимое количество дейтерия выделяется из циркониевых электродов в момент искрового разряда. Трубка работает только в импульсном режиме.

В настоящее время во ВНИИАвтоматики разработан ряд новых нейтронных трубок, отличающихся более высоким выходом нейтронов и более продолжительным сроком службы: НТ-32, ТНТ-145, ТНТ-143,

ТНТ-1411, ТНТ-1415. Трубка ТНТ-1411 является аналогом НТ-16 со средним ресурсом 75 часов и термостойкостью до +120 °С, а ТНТ-143 - аналог УНГ.

Оборудование и материалы

1. Рисунки ИИИ и схемы контейнеров для ИИИ.
2. Характеристики ИИИ.
3. Манипуляторы для работы ИИИ.

Указания по технике безопасности

1. Следует помнить, что работать с ИИИ без средств защиты – строго воспрещено.
2. Перед включением персонального компьютера (ПК) пользователь должен проверить отсутствие посторонних предметов на клавиатуре, в том числе и влаги.
3. Включение ПК производится на мониторе, а затем на системном блоке.
4. ПК подключается в трех полюсную розетку электрической сети 220 В.
5. Рабочие места с ПК по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку преимущественно слева.
6. Искусственное освещение в помещениях с ПК осуществляется системой общего равномерного освещения с использованием светильников местного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне рабочего документа должна быть 300 - 500 лк.
7. При возгорании ПК и его периферийных устройств их надлежит немедленно отключить от розетки. Тушение ПК осуществляется только с помощью углекислого или порошкового огнетушителей.

Задание

Изучить зондовое устройство и защитные контейнеры для ИИИ ампульного типа.

Порядок выполнения

1. Взять, с разрешения преподавателя, имитаторы импульсных

источников.

2. Изучить зондовое устройство для ИИИ ампульного типа.
3. Изучить контейнеры для перевозки ИИИ.

Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- схематичное изображение источников ионизирующего излучения;
- схематичное изображение защитных контейнеров ионизирующего излучения;
- теоретические основы использования ИИИ.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Контрольные вопросы

1. Источники гамма-квантов?
2. Ампульные источники нейтронов?
3. Конструкция Ро-Ве источника?
4. Генераторы нейтронов?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Лукьянов, Э. Е. Информационно-измерительные системы геолого-технологических и геофизических исследований в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2010. – 816 с.

2. Богданович, Н. Н., Десяткин, А. С., Добрынин В. М. Геофизические исследования скважин: справочник мастера по промысловой геофизике / Н. Н. Богданович и др., М.: Инфра-Инженерия, 2009. – 958 с.

Дополнительная литература:

1. Стрельченко, В. В. Геофизические исследования скважин: учебник / В. В. Стрельченко. - М.: Недра, 2008. - 551 с. : ил. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). - Библиогр.: с. 541. - Прил.: с. 542-548. - ISBN 978-5-8365-0314-7.

2. Геофизические исследования скважин / Под редакцией В. М. Добрынина, Б. Ю. Вендельштейна, Р. А. Резванова, А. Н. Африкяна. Учебное пособие для ВУЗа – М.: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М Губкина, 2004. – 400 с.

3. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах / под редакцией Козяра В.Ф. – Тверь: ГЕРС, 2002. – 280 с.

4. Скважинные геофизические информационно-измерительные системы / В. Н. Широков, Е.М. Митюшин, В. Д. Неретин и др. Учебное пособие для ВУЗа. – М.: Недра, 1996. – 317 с.

5. Ларионов, В. В. Ядерная геофизика и радиометрическая разведка: учебник для вузов изд. 2-е, переработанное / В. В. Ларионов, Р.А. Резванов – М.: Недра, 1976, – 301 с.

6. Электронный курс лекций.

Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Тромсё (Universiti of Tromsó), Норвегия.

2. <http://www.gtokniga.org/inboles> - Геологический портал GeoKniga.

3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.

Лабораторная работа № 14

Тема: Физические основы акустического каротажа (АК).

Цель работы

- Закрепление теоретических знаний лекционного материала.
- Освоение методики обработки и интерпретации диаграмм акустического каротажа.
- Определение коэффициента пористости в интервалах пластов-коллекторов.

Теоретическая часть

Акустический каротаж предназначен для изучения акустических параметров горных пород. Пористость горных пород является основным фактором, влияющим на параметры упругих волн. Следующими факторами являются литологический состав, насыщенность и тип коллектора – поровый, трещинный, кавернозный.

Задачи, решаемые акустическим каротажем:

- литологическое расчленение разреза и расчет упругих свойств горных пород;
- определение коэффициента пористости коллекторов и характера насыщения;
- выделение трещиноватых и кавернозных коллекторов;
- изучение технического состояния скважин;
- расчет синтетических сейсмограмм и корреляция с сейсмическими данными.

Зонды акустического каротажа

Чаще всего в качестве излучателя акустических волн используются магнитострекционные излучатели, основанные на эффекте изменения формы и размера тела при пропускании через него переменного тока.

В качестве приемников акустических колебаний используют

пьезоэлектрические приемники, основанные на эффекте появления электрических зарядов на грани тела при его сжатии или растяжении.

Между излучателем и приемником располагается акустический изолятор. Он характеризуется большой величиной интервального времени пробега акустической волны (T) и большой величиной коэффициента поглощения (α). Изолятор защищает приемник от прямых колебаний, которые распространяются непосредственно по зонду.

Для двухэлементного зонда точкой записи является расстояние между излучателем. Для трехэлементного зонда точкой записи является середина расстояния между одноименными элементами.

Таблица 14.1 – Форма интерпретационной таблицы данных АК

№ пп	Кровля, м	Подошва, м	h, м	Центр пласта, м	τ_{ui} , мкс/м	K_{pi} , о.е.	K_p^{Σ} , %	$K_p^{эм}$, %	$K_p^{ннм-нт}$, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Общепринятые обозначения:

τ_{ui} – значение интервального времени пробега акустической волны (снимается в первом масштабе кривой АК против центра пласта); K_p^{Σ} – средневзвешенное значение коэффициента пористости для интервала пласта коллектора (выделенного по данным методов БЭЗ и ПС); $K_p^{эм}$ – значение коэффициента пористости, определенное для пласта коллектора по данным электрических методов; $K_p^{ннм-нт}$ – средневзвешенное значение коэффициента пористости, определенное для пласта коллектора по данным ННМ-НТ.

Скорость распространения продольной волны (P) больше скорости распространения поперечной волны (S) в 1.2 – 1.6 раза. Первой от источника к приемнику приходит волна $P_0P_1P_0$ – это всегда облегчает её выделение и определение времени ее прихода и амплитуды (можно определить её скорость и коэффициент затухания).

Таблица 14.2 – Пример результатов интерпретации данных АК

№пп	Кровля, м	Подошва, м	h, м	Центр пласта, м	t_{ui} , мкс/м	K_{pi} , о.е.	$K_{псумм}$, %	$K_{пэм}$, %	$K_{пнм}$, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2681,2	2682,6	1,4	2681,9	253	0,164	16,1620	15,4	6,4
2	2682,6	2684	1,4	2683,3	275,4	0,214			
3	2684	2685,5	1,5	2684,75	229	0,110			
4	2687,2	2688,3	1,1	2687,75	259,4	0,178	16,3018	20,7	15,6
5	2688,3	2689,3	1	2688,8	245	0,146			
6	2694,2	2695,2	1	2694,7	262,6	0,186	17,4983	22	9,4
7	2695,2	2696,2	1	2695,7	265,8	0,193			
8	2696,2	2697,2	1	2696,7	269,8	0,202			
9	2697,2	2698,2	1	2697,7	269	0,200			
10	2698,2	2699,3	1,1	2698,75	249,8	0,157			
11	2699,3	2700,6	1,3	2699,95	261	0,182			
12	2700,6	2701,7	1,1	2701,15	249	0,155			
13	2701,7	2702,7	1	2702,2	261	0,182			
14	2702,7	2703,7	1	2703,2	253,8	0,166			
15	2703,7	2704,9	1,2	2704,3	241	0,137	14,9438	28,7	0,03
16	2706	2707,3	1,3	2706,65	241	0,137			
17	2707,3	2708,4	1,1	2707,85	253	0,164	16,2047	41,5	9,8
18	2711,8	2712,8	1	2712,3	257,8	0,175			
19	2712,8	2713,6	0,8	2713,2	245	0,146			

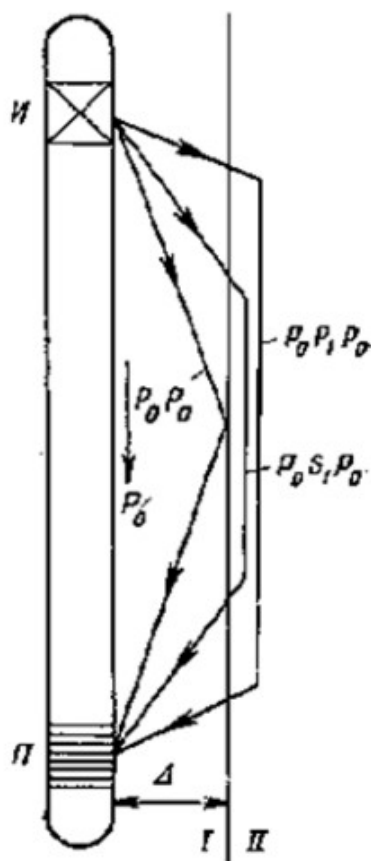


Рисунок 14.1 – Схематическое изображение траектории важнейших упругих волн, возникающих в системе скважина – пласт [1]. I – скважина; II – пласт; P_0 – прямая волна или гидроволна (распространяется волна по боровому раствору вдоль скважинного прибора); P_0P_0 – отраженная от стенки скважины волна (распространяется по боровому раствору); $P_0P_1P_0$ – преломленная продольная волна (распространяется вдоль стенки скважины по горной породе); $P_0S_1P_0$ – преломленная поперечная волна (распространяется вдоль стенки скважины по горной породе)

Из рисунка 14.2 видно, что в трещинных породах сильно уменьшается амплитуда продольной и поперечной волны и в тоже время четко идентифицируются по акустической записи волны Стоунли и Лэмба.

Диаграммы АК

В песчаниках скорость акустической волны составляет порядка 3000 – 3500 м/с, в то время как в глинистых породах скорость акустической волны немногим более 1500 м/с. Таким образом, против пласта песчаника уменьшается интервальное время пробега акустической волны, увеличивается амплитуда волны и уменьшается коэффициент затухания. В каверне же

наоборот, увеличивается интервальное время пробега акустической волны и уменьшается её скорость, так как волна будет распространяться по буровому раствору. На диаграмме АК расчленение разреза на пласты выполняется по середине спада кривой.



Рисунок 14.2 – Примеры волновых картин в плотных (а) и трещинных (б) породах. St – волна Стоунли (продольная волна, которая распространяется по трещинам и пустотам горных пород); L – волна Лэмба (поперечная волна, которая распространяется по трещинам и пустотам горных пород) [1]

Оборудование и материалы

1. Персональный компьютер.
2. Диаграммы акустического каротажа (выдаются преподавателем).
3. Карандаш, ластик, линейка.

Указания по технике безопасности

1. Перед включением персонального компьютера (ПК) пользователь должен проверить отсутствие посторонних предметов на клавиатуре, в том числе и влаги.
2. Включение ПК производится на мониторе, а затем на системном блоке.
3. ПК подключается в трех полюсную розетку электрической сети 220 В.

4. Рабочие места с ПК по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку преимущественно слева.

5. Искусственное освещение в помещениях с ПК осуществляется системой общего равномерного освещения с использованием светильников местного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне рабочего документа должна быть 300 - 500 лк.

6. При возгорании ПК и его периферийных устройств их надлежит немедленно отключить от розетки. Тушение ПК осуществляется только с помощью углекислого или порошкового огнетушителей.

Задание

1. Выделить пласт-коллектор по данным АК.
2. Определить пористость в коллекторах.

Порядок выполнения

1) Расчленение интервалов на пласты – пласты мощностью менее одного метра не выделяются. Определение границ пластов будет производиться по правилу – середина спада кривой (рисунок 14.1).

2) Снятие значений интервального времени (τ_{ni}) для пластов, в пределах интервалов коллекторов выделенных по данным электрических методов (БКЗ и ПС). Значения снимаются против центра выделенного пласта.

3) Расчет коэффициента пористости для каждого из выделенных пропластков, относящихся к пластам коллекторам (K_{pi}):

$$K_{pi} = \frac{T_{ui} - T_{ск}}{T_{жс} - T_{ск}},$$

где $T_{ск}$ – интервальное время в минеральном скелете породы, в кварце $T_{ск} = 180$ мкс/м;

$T_{ж}$ – интервальное значение в жидкой фазе, $T_{ж} = 625$ мкс/м.

4) Расчет средневзвешенного значения пористости ($K_{п}^{\Sigma}$) на интервал пласта коллектора.

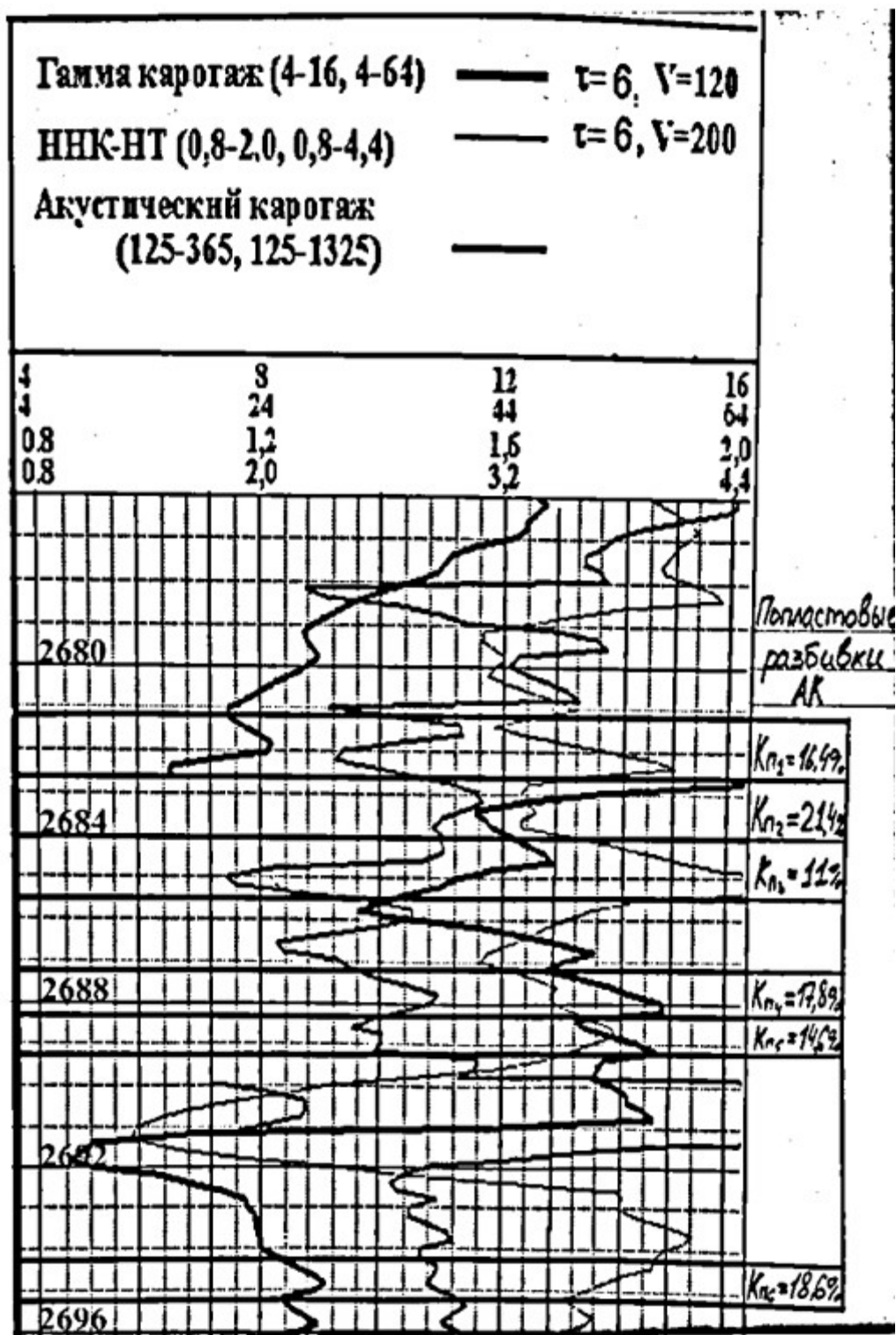


Рисунок 14.1 – Пример расчленения разреза на пласты по данным АК

Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- диаграмму кривой акустического каротажа;
- полученные результаты, внести в таблицы 14.1;
- выводы, вытекающие из результатов работы.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Контрольные вопросы

4. Какую волну регистрирует скважинный прибор АК?
5. Какие параметры регистрируют зондом АК?
6. Как выделяются газо-, нефте- и водонасыщенные пласты по интервальному времени пробега упругой волны?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Основная литература:

4. Лукьянов, Э. Е. Информационно-измерительные системы геолого-технологических и геофизических исследований в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2010. – 816 с.

5. Учебно-методическое пособие по дисциплинам «Геофизические исследования скважин», «Интерпретация данных геофизических исследований скважин» для студентов специальностей 130201 «Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых», 130202 «Геофизические методы исследования скважин» и 130304 «Геология нефти газа» / Авторы-составители Ф.А. Бурков, В.И. Исаев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 86 с.

6. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Резванов Р.А., Афригян А.Н. Промысловая геофизика. М.: Недра, 1986.

2. Дополнительная литература:

6. Жданов, М. С. Геофизическая электромагнитная теория и методы. – М. С. Жданов. Монография. – М.: Науч. мир, 2012. – 679 с.
7. Стрельченко, В. В. Геофизические исследования скважин: учебник / В. В. Стрельченко. - М.: Недра, 2008. - 551 с. : ил. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). - Библиогр.: с. 541. - Прил.: с. 542-548. - ISBN 978-5-8365-0314-7.
8. Геофизические исследования скважин / Под редакцией В. М. Добрынина, Б. Ю. Вендельштейна, Р. А. Резванова, А. Н. Африкяна. Учебное пособие для ВУЗа – М.: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М Губкина, 2004. – 400 с.
9. Латышева М.Г. и др. Обработка и интерпретация материалов геофизических исследований скважин, - Москва: Недра, 1990. – 312 с.
10. Итенберг С.С. Интерпретация результатов геофизических исследований скважина. М.:Недра, 1987. – 372 с.
11. Электронный курс лекций.

3. Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Трёмсё (Universiti of Tromsø), Норвегия.
2. <http://www.gtokniga.org/inboles> - Геологический портал GeoKniga.
3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.

Лабораторная работа № 15

Тема: Знакомство с работой АК-М.

Цель работы

- Закрепление теоретических знаний лекционного материала.
- Работа на тренажере АК-М.

Теоретическая часть

Назначение модуля АК-М

Скважинный прибор (модуль) акустического каротажа АК-М (в дальнейшем - модуль) предназначен для проведения исследований нефтяных и газовых скважин диаметром от 110 до 300 мм, заполненных водной промывочной жидкостью. Обеспечивает решение широкого круга геофизических задач методом акустического каротажа, позволяет определить параметры упругих волн всех типов (продольных, поперечных и волн Лэмба - Стоунли) и выполнить контроль цементирования скважин.

Данные по аппаратуре

Модуль позволяет проведение исследований в скважинах при температуре до 120 °С и с гидростатическим давлением до 80 МПа в комплексе с программно-управляемой каротажной станцией МЕГА и трехжильным каротажным кабелем типа КГ-3-60-180 длиной до 6000 м.

Напряжение питания модуля – (40 ± 2) В по первой жиле кабеля. Сила электрического тока потребляемая модулем в режиме излучения (160 ± 20) мА, в режиме ожидания - (60 ± 20) мА.

Формула зонда модуля – И 2.2 П₁ 0.4 П₂ (рисунок 15.1).

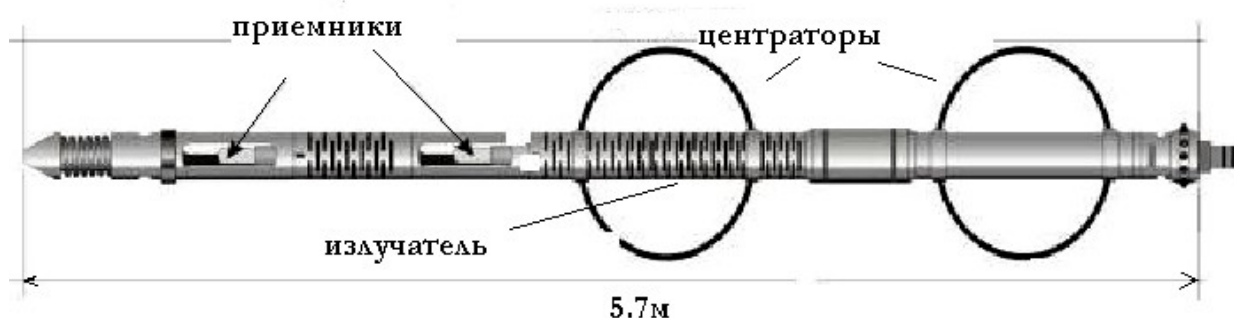


Рисунок 15.1 – Схема скважинного прибора АК-М

Излучатель акустического зонда модуля имеет два режима излучения – НЧ (низкая частота) и ВЧ (высокая частота). Средняя видимая частота излучаемых упругих колебаний, создаваемых излучателем, измеренная в металлической трубе по первым трём полупериодам волнового пакета – (12 ± 3) кГц при работе в режиме НЧ и (22 ± 5) кГц при работе в режиме ВЧ. Модуль обеспечивает: 4-х ступенчатую регулировку уровня сигнала, измерение интервального времени (дельта) ΔT в диапазоне от 120 до 660 мкс/м и кажущегося коэффициента затухания в диапазоне от 0 до 30 дБ/м. Работа модуля основана на возбуждении упругих колебаний и их приеме после прохождения ими исследуемой среды с целью определения кинематических и динамических параметров этих колебаний связанных с характеристиками среды пересеченных скважиной.

Возбуждение упругих колебаний осуществляется с помощью расположенного в модуле магнитострикционного двухчастотного излучателя.

Прием упругих колебаний осуществляется с помощью двух поочередно работающих пьезокерамических звукоприемников, разнесенных по длине модуля на величину базы акустического зонда. Поступившие на звукоприемник упругие колебания преобразуются в колебания электрического тока – информационный сигнал (волновой пакет), который усиливается и вместе со служебными сигналами (синхроимпульсы и т.д.) передается по геофизическому трехжильному кабелю на регистратор.

Обмен информацией между скважинным прибором и каротажной станцией осуществляется по протоколу «Манчестер». Пакеты управляющих импульсов, соответствующих этому протоколу, формируются в ADSP 350h станции МЕГА и через БУСП поступают на 2-ю и 3-ю жилы кабеля и далее, в скважинный прибор. Ответные посылки от скважинного прибора, в соответствии с протоколом "Манчестер", следуют в паузах между посылками запросов по тем же жилам кабеля.

Габаритные размеры 5700 мм, диаметр 90 мм, длина с гибкой вставкой 7000 мм, масса 107, кг.

Требования к измерительным зондам АК:

- диапазоны измерения Δt преломленных продольных волн – 120-660 мкс/м, поперечных – 170-660 мкс/м;
- диапазон измерения коэффициента эффективного затухания по длине измерительного зонда – 0-30(40) дБ/м;
- диапазон измерения амплитуд при эффективном затухании 0-40 дБ/м – 0-78 дБ/м в статическом положении прибора и 0-66 дБ/м при движении прибора в скважине;
- пределы допускаемых основных относительных погрешностей измерения Δt и α - $\pm 1-3$ и $\pm 12,5\%$ соответственно;
- дополнительные погрешности измерения Δt , A , α , вызванные изменениями напряжения на $\pm 10\%$, давления на 1 МПа, температуры на 10 °С относительно стандартного значения, равного 20°С, не должны превышать 0,3, 0,01 и 0,1 значений основных погрешностей соответственно.

Модуль АК комплексируют с любыми другими модулями при условии, что механическое соединение модулей не нарушает центрирование измерительного зонда.

Коэффициент усиления электронной схемы скважинного прибора выбирают таким образом, чтобы в диапазоне оцифровки акустических сигналов сохранялся минимальный уровень шумов, вызванных движением прибора, а сигналы регистрируемых волн (либо одной выбранной волны) не

ограничивались. Правильность выбора контролируется по экрану монитора, на котором отображаются волновые пакеты всех двухэлементных зондов, фазокорреляционные диаграммы (ФКД) одного или двух зондов и значения Δt в текущей точке исследования.

Необходимость выполнения нескольких записей с разными коэффициентами усиления для неискаженной регистрации амплитуд и затухания упругих волн разных типов определяется эксплуатационной документацией на скважинный прибор. Скорость каротажа – не более 1000 м/ч.

Оборудование и материалы

3. Тренажер модуля АК-М.
4. Персональный компьютер (ПК).

Указания по технике безопасности

1. Перед включением модуля и ПК пользователь должен проверить отсутствие посторонних предметов на клавиатуре, в том числе и влаги.
2. Включение ПК производится на мониторе, а затем на системном блоке.
3. Модуль и ПК подключается в трех полюсную розетку электрической сети 220 В.
4. Рабочие места с ПК и модулем по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку преимущественно слева.
5. Искусственное освещение в помещениях с ПК осуществляется системой общего равномерного освещения с использованием светильников местного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне рабочего документа должна быть 300 - 500 лк.
6. При возгорании ПК и модуля и их периферийных устройств их надлежит немедленно отключить от розетки. Тушение осуществляется только с помощью углекислого или порошкового огнетушителей.

Задание

1. Собрать модуль АК-М.
2. Ознакомиться с работой модуля.

Порядок выполнения:

1. Собрать модуль путем стыковки зонда и электронного блока.
2. Поместить модуль в стальную трубу, наполненную отстоявшейся водой.
3. При проверке функционирования скважинного прибора труба с водой должна быть надежно заземлена.
4. Подключить кабельный наконечник к прибору.
5. В соответствии с «Инструкцией оператора каротажной станции Мега» выбрать сборку Мега-Р.
6. Подтвердить выбор прибора и убедиться, что на скважинный прибор подано питание 50В.
7. Переключить прибор в режим «Синхроимпульс».
8. На экранном осциллографе или на «волновой картинке» проконтролируйте наличие синхроимпульса (рисунок 15.2). Если ответов от прибора нет, убедитесь, что 2-я и 3-я жилы кабеля подключены правильно, либо увеличьте напряжение питания **в окне «блоки питания»** пока не произойдет искажения формы синхроимпульса (рисунок 15.3), после чего снизить напряжение на 5В.
9. Переключить прибор в режим «волновая картинка», проконтролировать на экранном осциллографе наличие сигналов ВК1, ВК2 (рисунок 15.4).



Рисунок 15.2



Рисунок 15.3

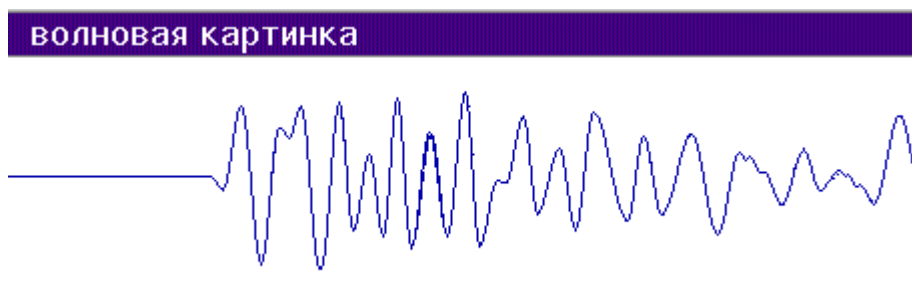


Рисунок 15.4

10. Проверить переключение режимов работы излучателя НЧ и ВЧ, а так же режимы усиления и ослабления сигнала.

11. Включить имитацию протяжки временной диаграммы ФКД следить за тем, чтобы диаграмма шла без сбоев и искажений.

12. Убедившись в работоспособности модуля выключить питание прибора.

13. Разобрать прибор на составные части и закрыть их транспортными заглушками.

14. Возможные ошибки:

- «Зарезание» сигнала. При настройке прибора в «свободной колонне» необходимо следить, чтобы амплитуда волны не искажалась слишком большим усилением «зарезание» сигнала или «площадки» (рисунок 15.5).

Так же это можно увидеть в окне «Показания прибора». При правильно выставленных уровнях дискриминации (в окне «Осциллограф»), показания амплитуд в кодах будут «2048».

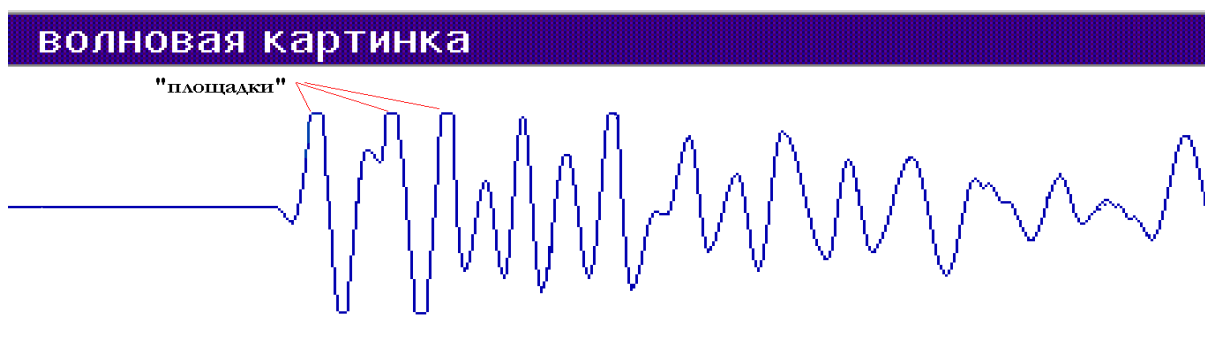


Рисунок 15.5

15. *Искажение сигнала.* Возможно появление помехи на сигнале до первого вступления (рисунок 15.6). Наиболее вероятная причина – плохая центрация прибора (прибор прикасается корпусом стенки), необходимо отцентровать прибор или добавить центраторы.

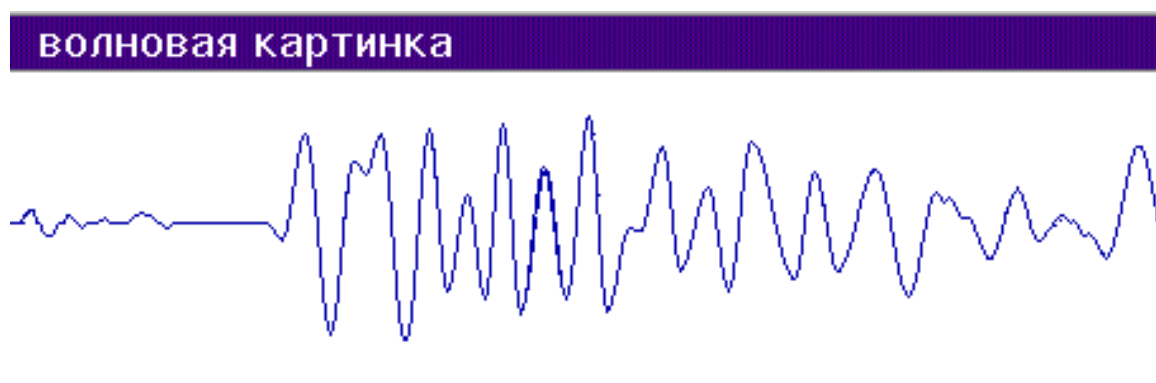


Рисунок 15.6

Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- получить результаты (амплитуда сигнала, его частота, диапазон изменения волновой картинки);
- выводы, вытекающие из результатов работы.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Контрольные вопросы

4. Как меняются показания при изменении НЧ на ВЧ?
5. Какие причины могут вызвать «зарезание сигнала»?
6. В каком диапазоне изменяются показания.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Основная литература:

1. Лукьянов, Э. Е. Информационно-измерительные системы геолого-технологических и геофизических исследований в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2010. – 816 с.
2. Лукьянов, Э. Е. Геолого-технологические исследования и геофизические исследования в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2009. – 752 с.
3. Практикум по освоению технологий ГИС. Акустические методы: рабочее пособие для стажера. – Мегион: Тюменьпромгеофизика, 2003. – 42 с.

2. Дополнительная литература:

5. Жданов, М. С. Геофизическая электромагнитная теория и методы. – М. С. Жданов. Монография. – М.: Науч. мир, 2012. – 679 с.
6. Стрельченко, В. В. Геофизические исследования скважин: учебник / В. В. Стрельченко. - М.: Недра, 2008. - 551 с. : ил. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). - Библиогр.: с. 541. - Прил.: с. 542-548. - ISBN 978-5-8365-0314-7.
7. Геофизические исследования скважин / Под редакцией В. М. Добрынина, Б. Ю. Вендельштейна, Р. А. Резванова, А. Н. Африкяна. Учебное пособие для ВУЗа – М.: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004. – 400 с.
8. Электронный курс лекций.

3. Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Тромсё (Universiti of Tromsø), Норвегия.
2. <http://www.gtogniga.org/inboles> - Геологический портал GeoKniga.
3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.

Лабораторная работа № 16

Тема: Знакомство с работой скважинного инклинометра.

Цель работы

- Закрепление теоретических знаний лекционного материала.
- Изучение конструкции и принципа действия инклинометров для измерения траектории ствола скважины.
- Метрологическая поверка инклинометров.

Теоретическая часть

Измерения искривления скважины необходимы для: контроля сохранения заданного направления оси скважины в пространстве, что особенно важно при наклонно-направленном бурении; контроля отсутствия резких отклонений ствола скважины, которые могут вызвать осложнения при бурении; получения необходимых исходных данных для геологических построений; определения положения и глубины залегания элементов разреза скважины.

Основные причины, вызывающие искривление вертикальной скважины: нарушение технологического процесса бурения; различная твердость бурящихся пород; частое переслаивание пород различной твердости; значительный угол падения пластов.

Отклонение вертикальных скважин обычно имеет следующие закономерности: при пологом залегании пластов (угол падения до 5°) обычно не наблюдается каких-либо преимущественных направлений искривления; при углах падения пластов $5 - 45^\circ$ преобладает направление отклонения от вертикали вверх по восстанию пород; ось ствола скважины стремится занять положение, перпендикулярное к плоскостям напластования; при углах падения более 60° преобладают направления отклонения вниз по падению пласта, ось ствола, скважины стремится занять положение, параллельное напластованию пластов.

Основные понятия, связанные с искривлением скважин – азимут искривления и угол наклона скважины.

Для определения угла и направления отклонения оси скважины от вертикали широко применяют инклинометры, в которых ориентировка осуществляется по магнитному полю Земли.

Магнитное поле Земли характеризуют следующими величинами: напряженностью T , горизонтальной составляющей магнитного поля H – проекцией вектора T на горизонтальную плоскость, направлением магнитного меридиана – направлением составляющей H , наклоном I – углом между вектором магнитного поля Земли и его горизонтальной составляющей, склонением D – углом между направлениями географического и магнитного меридианов. Если магнитный меридиан отклонен к востоку от географического, склонение считают восточным, или положительным, если к западу – западным, или отрицательным.

Магнитное поле Земли меняется от пункта к пункту и, кроме того, претерпевает некоторые изменения со временем, из которых существенное значение имеют изменения от года к году (вековые вариации). Эти вариации необходимо учитывать при использовании угла склонения D .

Магнитное поле Земли в скважине практически такое же, как и на поверхности Земли (при отсутствии пластов, содержащих сильномагнитные минералы).

Приборы, определяющие азимут направления оси скважины по магнитному полю Земли, применимы только в не обсаженных стальными обсадными колоннами скважинах. Корпуса таких приборов и их детали изготавливают из немагнитных материалов. Для работы в обсаженных скважинах, а также в бурильных трубах, применяют гироскопические инклинометры.

Определение угла отклонения скважины от вертикали обычно производится с помощью отвеса. Показания отвеса не зависят от наличия в скважине сильномагнитной среды.

Таким образом, в настоящее время для определения элементов искривления скважин применяются инклинометры серии КИТ с точечной регистрацией. Измерения приборами данной серии проводят при подъеме прибора, в отдельных точках после полной остановки прибора обычно через 25 м в вертикальных скважинах и через 5 м в наклонно-направленных скважинах. Инклинометры более совершенной конструкции с непрерывной регистрацией элементов искривления скважин пока имеют ограниченное применение.

Технические характеристики инклинометров серии КИТ

Инклинометры серии КИТ рассчитаны: на следующие условия эксплуатации:

- диапазон измерения зенитных углов отклонения от вертикали от 0 до 50 °;
- диапазон измерения азимута от 0 до 360°;
- давление 100 МПа;
- температура 120 °С;
- пределы допускаемой основной погрешности при измерении зенитных углов отклонения от вертикали во всем диапазоне измерений $\pm 0^{\circ}30'$;
- пределы допускаемой основной погрешности при измерении азимута $\pm 4^{\circ}$;
- время установления рабочего режима (время успокоения чувствительного элемента) не более 12 сек.

Габаритные размеры и масса:

- длина не более 1800 мм;
- диаметр 73 мм;
- вес скважинного прибора 19 кг;
- вес наземного пульта управления 6,5 кг.

Питание инклинометров осуществляется от универсального источника питания УИП-1 постоянным напряжением 270 В.

Изучение принципа действия инклинометров серии КИТ

Инклинометр состоит из скважинного прибора (СП) с удлинителем и наземного пульта управления. Кожух СП изготовлен из немагнитного алюминиевого сплава и заканчивается сверху стандартной приборной головкой, а снизу – переводником для крепления удлинителя.

Основной частью инклинометра является измерительная рамка (рисунок 16.1), несущая указатели угла и азимута искривления скважины. Ось вращения рамки совпадает с продольной осью СП, параллельной оси скважины. Центр тяжести рамки смещен с ее оси эксцентрично расположенным грузом 18 так, что рамка всегда устанавливается перпендикулярно к плоскости искривления скважины.

Указателем азимута служит буссоль, состоящая из магнитной стрелки 14, вращающейся на подвижной оси 16, и пластмассового корпуса, в котором смонтированы кольцевой реохорд 4 и токосъемное кольцо 3. Корпус буссоли укреплен в рамке на двух полуосях, благодаря чему ось стрелки под действием груза 6 всегда занимает вертикальное положение. Магнитная стрелка закреплена на колпачке 12 с агатовым подшипником, который насажен на острие 13 подвижной оси 16. Стрелка снабжена изолированными от нее пружинными контактами 15, которые при смещении вниз оси 16 вместе со стрелкой соединяют реохорд с токовым кольцом. Выводами реохорда и токосъемного кольца служат гибкие проводники. Разрыв кольцевого реохорда находится в плоскости, перпендикулярной к плоскостям рамки и искривления скважины. Поэтому угол между северным концом магнитной стрелки и разрывом реохорда равен магнитному азимуту, а сопротивление включенной части реохорда пропорционально этому азимуту.

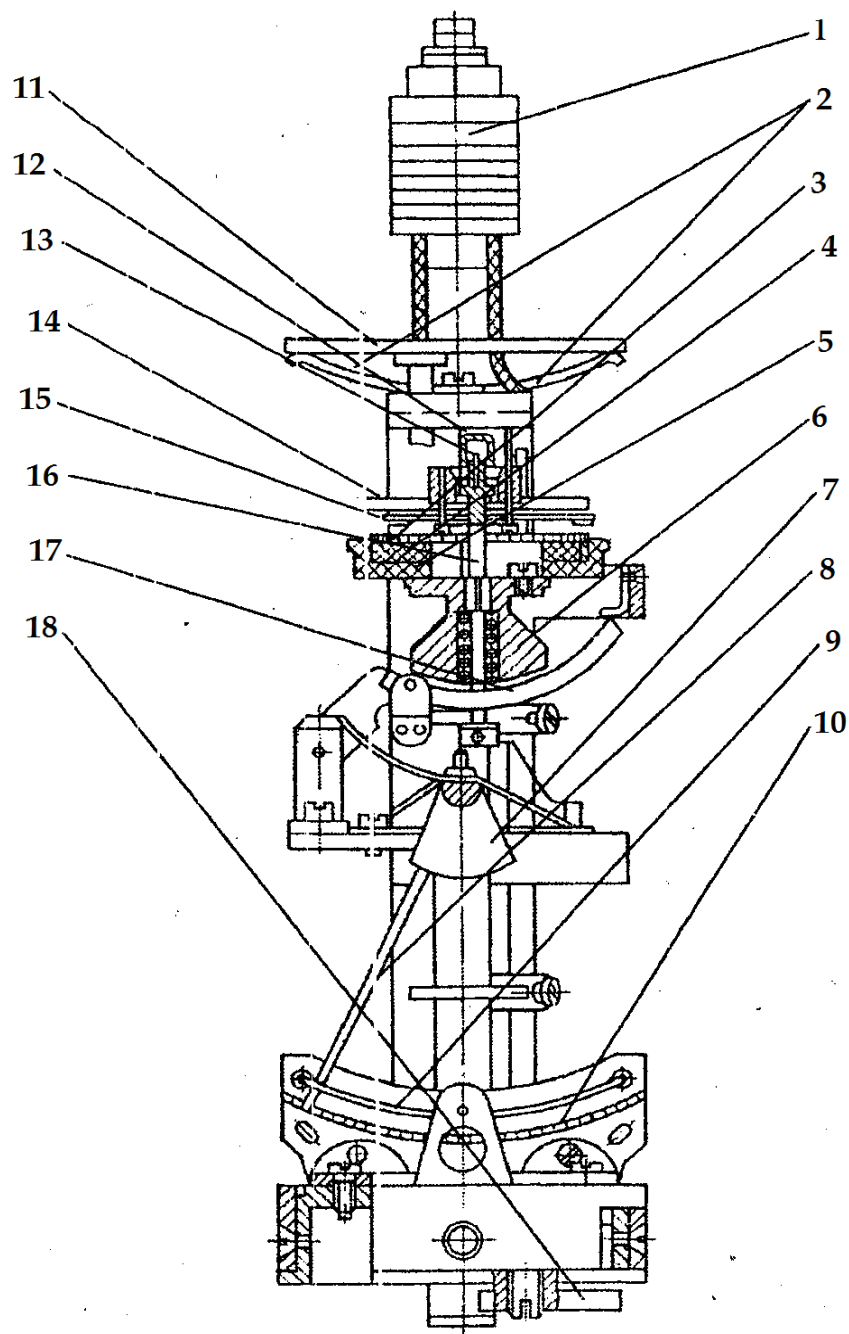


Рисунок 16.1 – Измерительная рамка инклинометра КИТ

Указатель угла наклона состоит из отвеса 7 со стрелкой 8 и углового реохорда 10. Плоскость качания отвеса на оси перпендикулярна к плоскости рамки и совпадает с плоскостью искривления скважины. При измерениях конец стрелки 8 прижимается к реохорду дужкой 9, служащей токосъемной шиной. Включаемое при этом сопротивление реохорда пропорционально углу.

Положение магнитной стрелки во время отсчета показаний фиксируется механизмом, состоящим из нажимного кольца 11, возвратных пружин 2, дугообразного рычага 17, сцепленного с дужкой 9. Под воздействием переключателя инклинометра дугообразный рычаг 17 отклоняется книзу и оттягивает подпружиненную ось буссоли, обеспечивая прижим контактных, пружин магнитной стрелки к реохорду и токосъемному кольцу буссоли. Одновременно происходит прижимание стрелки подвеса к реохорду угла. На верхнем конце рамки имеется коллектор 1 с тремя контактными кольцами, с которыми соединены выводы реохордов азимута и угла. Рамка вращается на двух полуосях в дюралевом стакане, укрепленном в нижней части СП. Для демпфирования измерительной системы плоскость стакана заполнена смесью кремнийорганической жидкости с керосином. Над стаканом находится переключатель, управляющий механизмом фиксации ползунков реохордов и положением двух пар щеток, соединенных с кабелем и ползунками реохордов. Переключатель приводится в действие электромагнитом, питаемым постоянным током. Электромагнит размещен в верхней части СП для исключения влияния стали на буссоль.

Настройка скважинного прибора и пульта управления

Для каждого инклинометра в процессе эксплуатации регулярно проводится техническое обслуживание, градуировка и метрологическая поверка с целью поддержания его в рабочем состоянии, обеспечения установленных метрологических и эксплуатационных характеристик и предотвращения возможности возникновения аварийных ситуаций в процессе исследования скважин. Техническое обслуживание инклинометров проводится один раз в квартал, а градуировка – после профилактического и текущего ремонта в условиях ремонтных мастерских.

Как отмечалось выше, инклинометр состоит из двух частей – пульта управления и скважинного прибора.

Конструкция основного элемента скважинного прибора – измерительной рамки рассматривалась выше.

Пульт управления, выполненный на унифицированном шасси, имеет лицевую и тыльную стороны. С лицевой стороны пульт управления представляет собой органы управления скважинным прибором. Лицевая сторона пульта управления скважинным прибором состоит из: индикатора позиций блока КОНТРОЛЯ, измерительного прибора блока ИЗМЕРЕНИЯ, нуль-индикатора блока КОМПЕНСАЦИИ, разъема для подключения «ОК» и «ЦЖК», переключателя «ПОЗИЦИЯ», кнопок «АЗИМУТ» и «УГОЛ», тумблера «ВКЛ» и индикаторной лампочки. Каждый из трех вышеперечисленных блоков имеет индивидуальный потенциометр (реостат) согласования шкал угла и азимута.

С тыльной стороны пульта управления размещены: разъем для подключения источника питания, предохранитель и градуировочный реостат.

Настройка инклинометра начинается с установки скважинного прибора на подставке, высотой 0,5 – 1 м, обеспечивающей его устойчивое положение.

Снимается защитный колпак с головки прибора, и с помощью проводов соединяются гнезда «ЦЖК» и «ОК» панели управления, через эквивалент кабеля, с гнездом разъема приборной головки скважинного прибора и кожухом прибора соответственно.

После подсоединения универсального источника питания УИП-К (или УИП-1) к разъему «270 В» на задней панели пульта управления следует установить органы управления пульта в следующих положениях:

- потенциометр КОМПЕНСАЦИЯ – в крайнее левое положение;
- потенциометр КОНТРОЛЬ – в среднее положение;
- тумблер питания – в положение «выключено».

Затем подключается УИП-К к сети переменного тока (220 В) и включается тумблер «ВКЛ». На пульте управления тумблер питания устанавливается в положение «ВКЛ».

При измерении и контроле азимута стрелка прибора не должна переходить вправо за центральную риску, а при измерении и контроле угла стрелка прибора не должна переходить влево от центральной риски.

Эти регулировки производятся потенциометрами «КОНТРОЛЬ» и «КОМПЕНСАЦИЯ».

Нажатием кнопки «ПОЗИЦИЯ» прибор устанавливается в одно из рабочих положений (контроль угла или азимута, или измерение их).

Затем при нажатии переключателя измерение «АЗИМУТ» или «УГОЛ» стрелка прибора «КОМПЕНСАЦИЯ» (нуль-индикатор) отклонится вправо или влево от нуля.

Следует добиться показания нуля на шкале измерительного прибора вращением ручки градуировочного реостата блока ИЗМЕРЕНИЯ, при этом переключатель измерения должен оставаться нажатым в положении «АЗИМУТ» или «УГОЛ». Отчеты снимаются по верхней шкале для азимута и по нижней шкале для угла, при соответствующих позициях переключателя прибора (таблица 16.1).

Таблица 16.1 – Полный цикл переключений пульта управления

Операция	Показания прибора КОНТРОЛЬ	Положение Буссоли отвеса	Положение щеток
Успокоение чувствительных элементов	Крайнее левое положение стрелки	Свободное	Нейтральное
Контрольный замер азимута	Левая часть шкалы «Азимут»	Свободное	Подключен реохорд азимутов
Измерение азимута	Левая часть шкалы «Азимут»	Фиксированное	Подключен реохорд азимутов
Успокоение чувствительных элементов	Крайнее левое положение стрелки	Свободное	Нейтральное
Контрольный замер угла	Правая часть шкалы «Угол»	Свободное	Подключен реохорд углов
Измеритель угла	Правая часть шкалы «Угол»	Фиксированное	Подключен реохорд углов

Исследования в скважине производятся при подъеме прибора. Измерения угла и азимута производятся при фиксированном положении всех чувствительных элементов. Фиксация этих элементов, а также наложение одной из пар щеток на контактные кольца коллектора осуществляется переключающим механизмом, приводимым в действие электромагнитом.

При спуске скважинного прибора переключающим механизмом, состоящий из сердечника, электромагнита, штока и переключателя, переводится в положение 1 или 4 (таблица 16.1) нажатием кнопки «ПОЗИЦИЯ».

Для выполнения измерения в одной точке скважины необходимо произвести шесть переключений.

При остановке скважинного прибора на заданной глубине через 12 секунд, необходимых для успокоения чувствительных элементов, переключающий механизм следует установить в положение 2 или 5 и через 5 – 7 секунд в положение 3 или 6 (таблица 16.1).

В указанных положениях выполняются измерения азимута или угла. После окончания исследований следует переключить скважинный прибор в позицию 1 или 4, для полного извлечения прибора из скважины.

Оборудование и материалы

При проведении настройки и поверки инклинометров используются следующие приборы и устройства.

1. Скважинный прибор серии КИТ.
2. Наземный пульт управления.
3. Журнал регистрации.
4. Эталонировочный стол УСИ-2.
5. Буссоль или компас.
6. Угломер-квадрат УК-2 или транспортир.
7. Тестер.
8. Универсальный источник питания УИП-1 (или УИП-К).

9. Соединительные провода.
10. Эквивалент кабеля.

Указания по технике безопасности

1. Безопасность при работе с инклинометрами обеспечивается заземлением наземного пульта управления и источника постоянного тока.
2. Заземление осуществляется электрическим соединением клеммы заземления, расположенной на передней панели пульта управления, с контуром заземления лаборатории. Заземление должно быть выполнено медным проводом, сечением не менее 1,5 мм².
3. Перед включением персонального компьютера (ПК) пользователь должен проверить отсутствие посторонних предметов на клавиатуре, в том числе и влаги.
4. Включение ПК производится на мониторе, а затем на системном блоке.
5. ПК подключается в трех полюсную розетку электрической сети 220 В.
6. Рабочие места с ПК по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку преимущественно слева.
7. Искусственное освещение в помещениях с ПК осуществляется системой общего равномерного освещения с использованием светильников местного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне рабочего документа должна быть 300 - 500 лк.
8. При возгорании ПК и его периферийных устройств их надлежит немедленно отключить от розетки. Тушение ПК осуществляется только с помощью углекислого или порошкового огнетушителей.

Задание

1. Ознакомление с техническими характеристиками скважинных инклинометров серии КИТ.
2. Изучение принципа действия инклинометров серии КИТ.

3. Настройка скважинного прибора и пульта управления.
4. Метрологическая поверка.

Порядок выполнения

Метрологическая поверка

Поверка должна проводиться в условиях нормального, геомагнитного поля. В помещении, где производится поверка, размещение различных металлических предметов, постоянных магнитов и других источников магнитного поля должно быть не менее чем за 5 м от эталонировочного стола.

Перед проведением метрологической поверки должен быть выполнен внешний осмотр.

При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие инклинометра следующим требованиям:

1. Комплектность инклинометра должна соответствовать требованиям, указанным в паспорте.
2. Скважинные приборы не должны иметь дефектов покрытий.
3. Скважинные приборы должны иметь маркировку с четкими обозначениями.

Условия поверки и подготовка к поверке

При проведении поверки должны выполняться следующие условия:

- температура окружающей среды 20 ± 5 °С;
- атмосферное давление 100 ± 4 кПа;
- относительная влажность воздуха 65 ± 15 %;
- напряжение питающей сети 220 ± 4 В;
- частота питающего тока 50 Гц;
- напряжение питания инклинометра – постоянное, 270 ± 10 В.

Подключение инклинометра следует выполнять после сборки схемы, указанной на рисунке 16.2.

После включения скважинного прибора и пульта управления следует отрегулировать установку контрольных замеров с помощью потенциометра компенсации кабеля. Прибор отключают, и затем начинается его подготовка к

определению метрологических параметров.

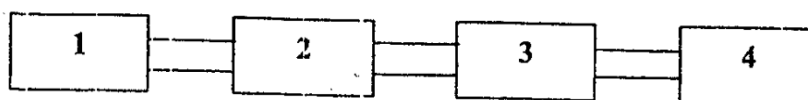


Рисунок 16.2 – Схема соединений при поверке инклинометра

1 - источник питания универсальный УИП-К; 2 - пульт управления; 3 - эквивалент кабеля; 4 - скважинный прибор

Определение метрологических параметров

При поверочных работах проверяют соответствие показаний инклинометра его фактическому положению в пространстве, используя метод прямых измерений. Образцовыми средствами измерений в большинстве случаев являются специальная поверочная установка – установочный стол УСИ-2 и угломер-квадрант (или транспортир).

Для определения метрологических параметров инклинометр устанавливается в эталонировочный стол УСИ-2. Пульт управления включается, и с помощью нажатия кнопки «ПОЗИЦИЯ» коммутируется прибор.

Определение диапазона и погрешности измерения угла отклонения от вертикали производится по схеме, представленной на рисунке 8, на эталонировочном столе путем сравнения показаний инклинометра с показаниями на шкале угломера (транспортира) в пяти точках диапазона. Диапазон измерения углов отклонения от вертикали должен быть в пределах от 0 до 50°. Допустимая погрешность измерения в указанном диапазоне не должна превышать 0° 30′.

Измерения азимута следует производить при угле наклона инклинометра не менее 3°. Диапазон измерения азимута должен быть в пределах от 0 до 360°. Допустимая погрешность измерения азимута не должна превышать ± 4°. Определение диапазона и погрешности измерения азимута производится по той же схеме, представленной на рисунке 16.2, путем сравнения показаний

инклинометра с показаниями на шкале буссоли (или компаса) в восьми точках диапазона.

Результаты измерений заносятся в протокол поверки, составленный по форме, приведенной в разделе «Содержание отчета и его форма».

Установочный стол УСИ-2 имеет подвижную и неподвижную части. Чтобы задать скважинному прибору отклонение в том или ином азимуте, вращают зажим около вертикальной оси до получения нужного показания на лимбе. Угол отклонения оси прибора от вертикали задают вращением зажима около горизонтальной оси. После установки прибора в заданное положение неподвижность горизонтальной оси обеспечивается верхним стопором, а вертикальной – нижним стопором.

Пользуясь буссолью установочного стола, располагают горизонтальную ось последнего в направлении, перпендикулярном магнитному меридиану и, ослабив стопор, смещают лимб вертикальной оси так, чтобы он показывал ноль. После этого стопором фиксируют лимб и снимают буссоль во избежание влияния ее стрелки на магнитное поле.

Определение чувствительности индикатора балансировки, измерительного моста инклинометра выполняется в следующей последовательности.

Включив пульт управления, подключают к его гнездам ЦЖК и ОК вместо эквивалента кабеля и скважинного прибора магазин сопротивлений (рисунок 16.3) и устанавливают на нем значения сопротивления $R_0 = 2000 \pm 100$ Ом.

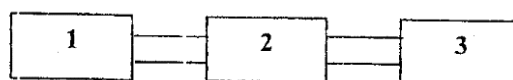


Рисунок 16.3 – Схема соединений при поверке пульта инклинометра

1 – универсальный источник питания каротажный УИП-К; 2 – пульт управления; 3 – магазин сопротивлений РЗЗ

Включают питание пульта и добиваются равновесия каждого

измерительного моста инклинометра при нажатии кнопок «УГОЛ» либо «АЗИМУТ».

Изменяя установленное на магазине сопротивление R через $\Delta R = 10$ Ом в пределах ± 80 Ом, измеряют величину тока I разбаланса моста по прибору-индикатору на пульте управления, блока «КОМПЕНСАЦИЯ».

Измерения выполняют для каждого измерительного моста, нажимая кнопки «УГОЛ» или «АЗИМУТ». Полученные результаты записывают в таблицу 16.2.

Таблица 16.2 – Результаты определения чувствительности индикатора, балансировки измерительного моста инклинометра

№	Значение R, Ом		ΔR_i , Ом	I _i , мкА	Отчет по шкале, град				$\Delta \Psi_i$, град	$\Delta \varphi_i$, град	$\frac{\Delta \Psi_i}{\Delta R_i}$	$\frac{\Delta \varphi_i}{\Delta R_i}$
	Начал R ₀	Теку щ R _i			Угла		Азимута					
					нач Ψ ₀	тек Ψ _i	нач φ ₀	тек φ _i			$\frac{\text{град}}{\text{Ом}}$	$\frac{\text{град}}{\text{Ом}}$

При тех же значениях R_i добиваются равновесия каждого измерительного моста и отсчитывают по шкале соответствующие значения углов Ψ_i и φ_i записывая их в таблицу 16.2.

По полученным данным для каждого измерительного моста строят зависимость $I = f(\Delta R)$, по которой определяют значения $K = \Delta I / \Delta R$ (мкА/Ом), рассчитывают цену деления указателей угла C_y и азимута C_a и чувствительность индикатора балансировки измерительного моста S_y и S_a :

$$C_y = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta \Psi_i}{\Delta R_i}}{n}, \quad (16.1)$$

$$C_y = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta \varphi_i}{\Delta R_i}}{n}, \quad (16.2)$$

$$S_y = K_y / C_y, \quad (16.3)$$

$$S_a = K_a / C_a, \quad (16.4)$$

где $\Delta\Psi_i = |\Psi_i - \Psi_0|$, град,

$\Delta\varphi_i = |\varphi_i - \varphi_0|$, град;

n – число измерений.

Результаты расчетов записывают в протокол поверки.

Содержание отчета

Отчет должен включать в себя результаты измерения в помещении угла отклонения скважинного прибора от вертикали и азимут отклонения устанавливаемых с помощью эталонировочного стола УСИ-2 для пяти различных положений угла наклона и восьми азимутальных углов (контрольные точки).

В отчете должны содержаться результаты определения чувствительности индикатора балансировки измерительного моста инклинометра.

Форма представления результатов работы:

1. Цель и теоретические основы работы.
2. Схема соединений при метрологической поверке инклинометра.
3. Протокол метрологической поверки.
4. Протокол определения чувствительности индикатора балансировки измерительного моста инклинометра.
5. Выводы, вытекающие из результатов работы.

Форма протокола метрологической поверки инклинометра

Заводской номер _____

Дата поверки _____

Условия поверки:

1. Температура окружающей среды _____ °С
2. Относительная влажность воздуха _____ %
3. Атмосферное давление _____ кПа
4. Напряжение питания переменного тока _____ В

5. Частота переменного тока _____ Гц

6. Напряжение питания инклинометра _____ В

Результаты поверки:

1. Внешний осмотр _____

2. Метрологические параметры (таблица 16.3).

Таблица 16.3 – Результаты метрологической поверки инклинометра

Наименование параметра	Величина параметра	
	Номинальное значение	Фактическое значение
Максимальная погрешность измерения угла наклона в диапазоне от 0 до 50°, в минутах (в пяти точках): 10° 20° 30° 40° 50°	$\pm 30'$	
Максимальная погрешность измерения азимута в диапазоне от 0 до 360°, в градусах (в восьми точках): 30° 60° 90° 120° 150° 180° 300° 360°	$\pm 4^\circ$	

Контрольные вопросы

1. Понятие «азимут»?
2. Понятие «зенитный угол»?
3. Как проводится поверка инклинометров?
4. Какие углы замеряются и какие величины по ним рассчитываются?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Основная литература:

1. Лукьянов, Э. Е. Информационно-измерительные системы геолого-технологических и геофизических исследований в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2010. – 816 с.

2. Лукьянов, Э. Е. Геолого-технологические исследования и геофизические исследования в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2009. – 752 с.

2. Дополнительная литература:

1. Жданов, М. С. Геофизическая электромагнитная теория и методы. – М. С. Жданов. Монография. – М.: Науч. мир, 2012. – 679 с.

2. Стрельченко, В. В. Геофизические исследования скважин: учебник / В. В. Стрельченко. - М.: Недра, 2008. - 551 с. : ил. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). - Библиогр.: с. 541. - Прил.: с. 542-548. - ISBN 978-5-8365-0314-7.

3. Геофизические исследования скважин / Под редакцией В. М. Добрынина, Б. Ю. Вендельштейна, Р. А. Резванова, А. Н. Африкяна. Учебное пособие для ВУЗа – М.: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004. – 400 с.

4. Электронный курс лекций.

3. Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Тромсё (Universiti of Tromsø), Норвегия.

2. <http://www.gtogniga.org/inboles> - Геологический портал GeoKniga.

3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.

Лабораторная работа № 17

Тема: Знакомство с работой скважинного каверномер-профилемера.

Цель работы

- Закрепление теоретических знаний лекционного материала.
- Изучение назначения, принципа действия и устройства каверномера и профилемера, их градуировка и регистрация диаграмм.

Теоретическая часть

При бурении скважины фактический средний диаметр ее d_c изменяются по стволу, и отличается от диаметра долота (коронки) d_c , которым она бурится. При этом наблюдается как уменьшение диаметра скважины, так и увеличение его, иногда весьма значительно, за счет образования глинистой корки и каверн. Поперечное сечение скважины за счет образования желобов может существенно отличаться от круга. Так называемые желоба образуются вследствие многочисленных спускоподъемных операций бурильного инструмента и геофизической аппаратуры.

Профилеметрией называют измерения формы и размера поперечного сечения скважины, и определение их изменения по стволу скважины. Различают вертикальную профилеметрию, при которой производится регистрация изменения формы и размера поперечного сечения скважины по ее стволу, и горизонтальную профилеметрию (профилографию), при которой фиксируются данные о форме и размерах одного поперечного сечения скважины на определенной глубине.

Каверномер-профилемер СКП-1. Включает в себя скважинный прибор (СП) и блок управления, работающий с пультом ИПЧМ-2. Питание СП комбинированное: переменным током частотой 300 Гц питается электронная схема СП; постоянный ток напряжением 220 В используется для питания электромагнита, раскрывающего измерительные рычаги.

Скважинный прибор состоит из двух блоков: верхнего электронного и нижнего электромеханического (рисунок 17.1), соединенных штепсельным разъемом. Измерительные рычаги *11* укреплены на оси *10*, закрепленных в фигурном корпусе *1*. Малое плечо каждого рычага упирается в пята 9 толкателя 6, который непосредственно соединен с ползунком 3 реостата.

Под действием пружины 5 толкатель 6 поворачивает рычаг *11* до упора его нижнего конца в стенку скважины. Реостаты с толкателями находятся в герметической полости, защищенной кожухом 4 и заполненной кремнийорганической жидкостью. Для обеспечения герметичности этой полости при перемещении толкателя применен резиновый сильфон 8, прикрепленный к толкателю и выводной втулке 7; сильфоны одновременно выполняют роль компрессоров давления.

Снизу к кожуху СП присоединен узел раскрытия рычагов, который включает в себя электромагнит 20 с якорем 21 и спусковой механизм, состоящий из собачки 19, запорного крюка 18 и штока 14 с пружиной 17 и замком 13. При срабатывании электромагнита собачка освобождает крюк, и шток под действием пружины смещается вниз, стягивая замок с крючков 12 измерительных рычагов. Узел раскрытия также помещен в герметическую полость, имеющую компенсатор давления 15. С измерительным узлом полость соединяется каналом 16. Каждый из измерительных рычагов связан с ползунком соответствующего переменного резистора R1-R4; резисторы R1 и R2, R3 и R4 противоположенных пар рычагов включены последовательно. В результате разделения сигналов на выходе образуются напряжения постоянного тока, пропорциональные раскрытию двух пар рычагов СП; их полусумма соответствует диаметру скважины ДС.

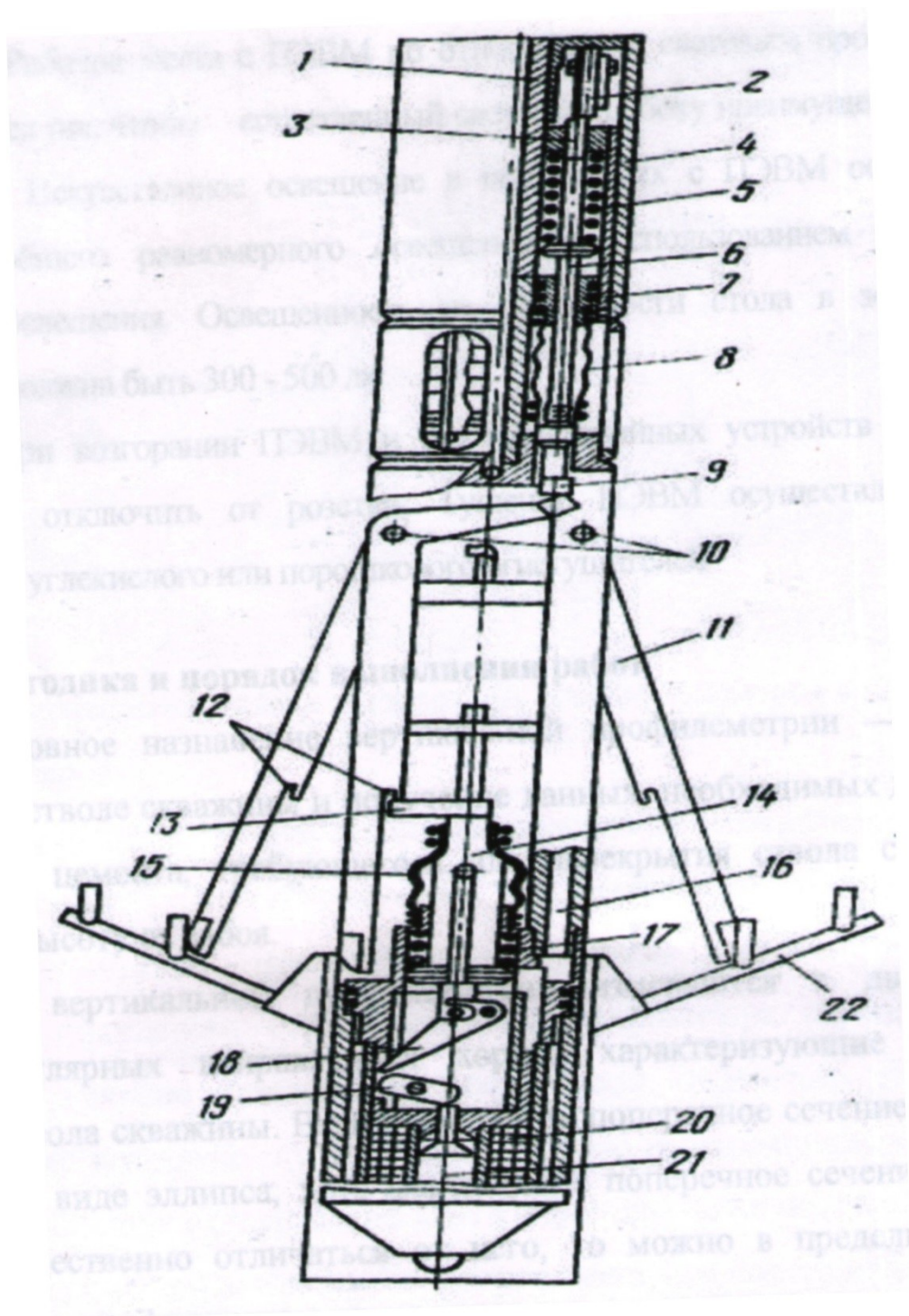


Рисунок 17.1 – Конструкция каверномера-профиломера СКП-1

Оборудование и материалы

1. Трубный каверномер.
2. Диаграммы кавернометрии.
3. Персональный компьютер (ПК).

Указания по технике безопасности

1. Перед включением модуля и ПК пользователь должен проверить отсутствие посторонних предметов на клавиатуре, в том числе и влаги.
2. Включение ПК производится на мониторе, а затем на системном блоке.
3. Модуль и ПК подключается в трех полюсную розетку электрической сети 220 В.
4. Рабочие места с ПК и модулем по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку преимущественно слева.
5. Искусственное освещение в помещениях с ПК осуществляется системой общего равномерного освещения с использованием светильников местного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне рабочего документа должна быть 300 - 500 лк.
6. При возгорании ПК и модуля и их периферийных устройств их надлежит немедленно отключить от розетки. Тушение осуществляется только с помощью углекислого или порошкового огнетушителей.

Задание

1. Изучить физические основы кавернометрии и профилометрии скважин;
2. Изучить принцип действия и устройство каверномера-профиломера;
3. Изучить схему и методику градуировки каверномера-профиломера.

Порядок выполнения

Основное назначение вертикальной профилометрии – выделение желобов в стволе скважины и получение данных, необходимых для подсчета количества цемента, требующегося для перекрытия ствола скважины на заданную высоту от забоя.

При вертикальной профилометрии измеряются в двух взаимно перпендикулярных направлениях хорды, характеризующие поперечное

сечение ствола скважины. Если представить поперечное сечение скважины с желобом в виде эллипса, хотя фактическое поперечное сечение скважины может существенно отличаться от него, то можно в предельном случае принять, что профилемером измеряются оси поперечного сечения скважины в виде большого d_1 и малого d_2 диаметров скважины. Если $d_1 = d_2$, то при указанном расположении рычагов профилемера поперечное сечение скважины представляет собой круг с диаметром $d_c = d_1 = d_2$. Если $d_1 > d_2$ поперечное сечение скважины будет эллипсом (рисунок 17.2).

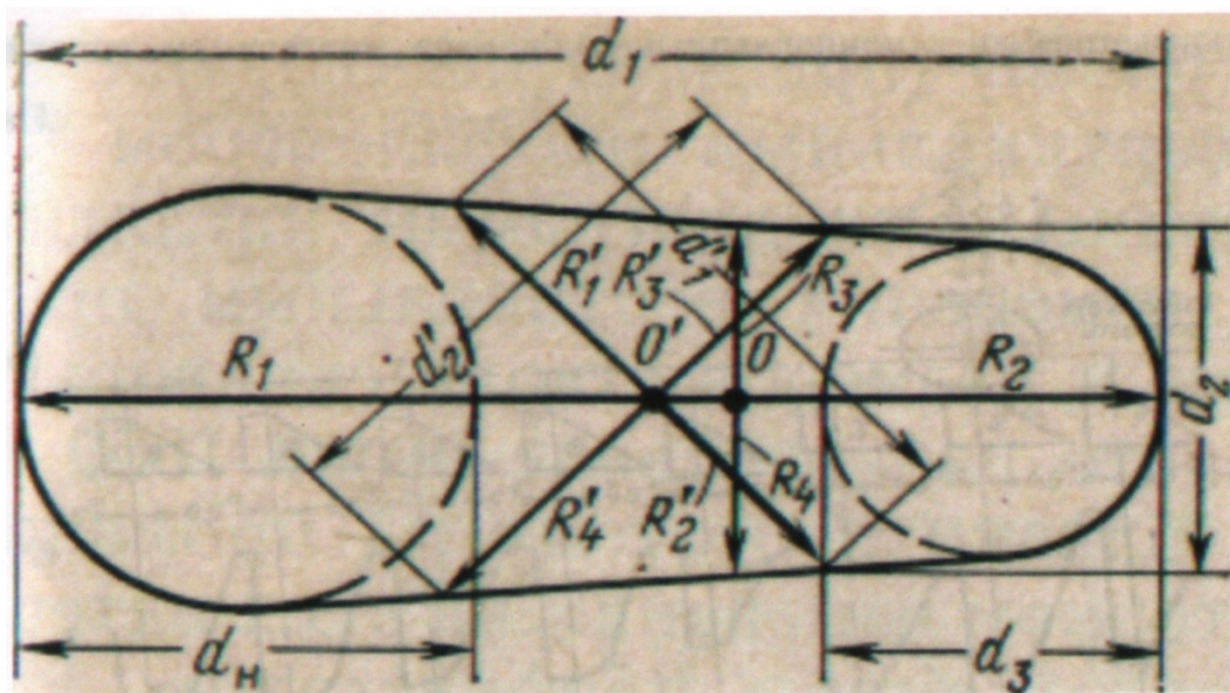


Рисунок 17.2 – Идеализированное поперечное сечение скважины в интервале развития жёлоба

Горизонтальный профилемер представляет собой профилемер с n независимыми измерительными рычагами, раскрывающимися при остановке прибора на определенной точке разреза скважины. При измерении последовательно измеряется радиус R_n раскрытия, каждого измерительного рычага и производится ориентация расположения измерительных рычагов прибора относительно направления на магнитный север. Поскольку известна ориентация измерительных рычагов, угол между ними равен $360^\circ/n$, по показаниям горизонтального профилемера можно построить поперечное

сечение скважины с достаточной точностью. Исследования показали, что возможно ограничиться восемью рычагами, расположенными под углом 45° друг относительно друга. Принцип действия горизонтального профилемера с восемью измерительными рычагами иллюстрируется рисунок 17.3.

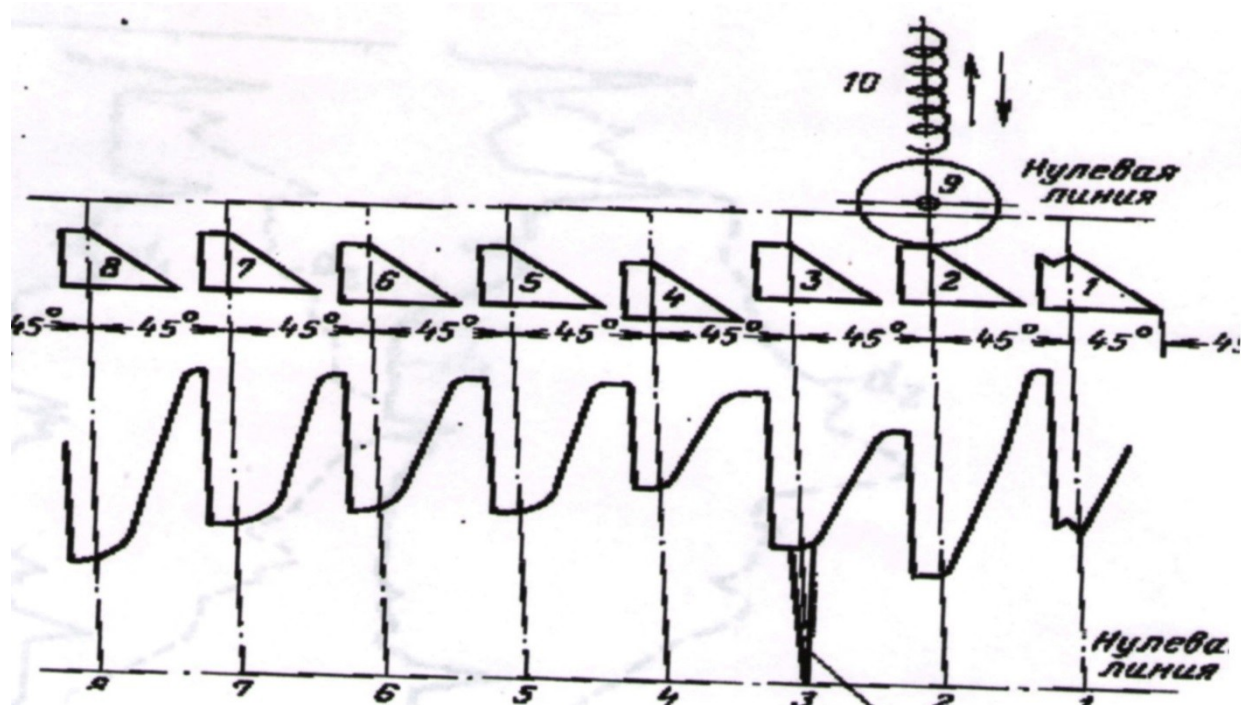


Рисунок 17.3 – Принцип работы горизонтального профилемера

а - Развертка кулачков профилемера; б - Сигнал, передаваемый из скважинного прибора

Вдоль расположенных по окружности кулачков 1 – 8 (рис. 17.3 а), связанных с одноименными измерительными рычагами, перемещается датчик (ролик) 9, поджимаемый к кулачкам пружиной 10. В зависимости от радиуса раскрытия измерительных рычагов R1 – R8 кулачки 1 – 8 перемещаются на определенное расстояние от нулевой линии, вызывая соответственное перемещение датчика 9 в вертикальной плоскости. В результате на поверхность по кабелю последовательно поступают сигналы, направление на «север» совпало с направлением измерительного рычага 3.

На рисунке 17.4 показаны две диаграммы (профилеграммы), последовательно зарегистрированные вертикальным профилемером на одном и том же интервале скважины.

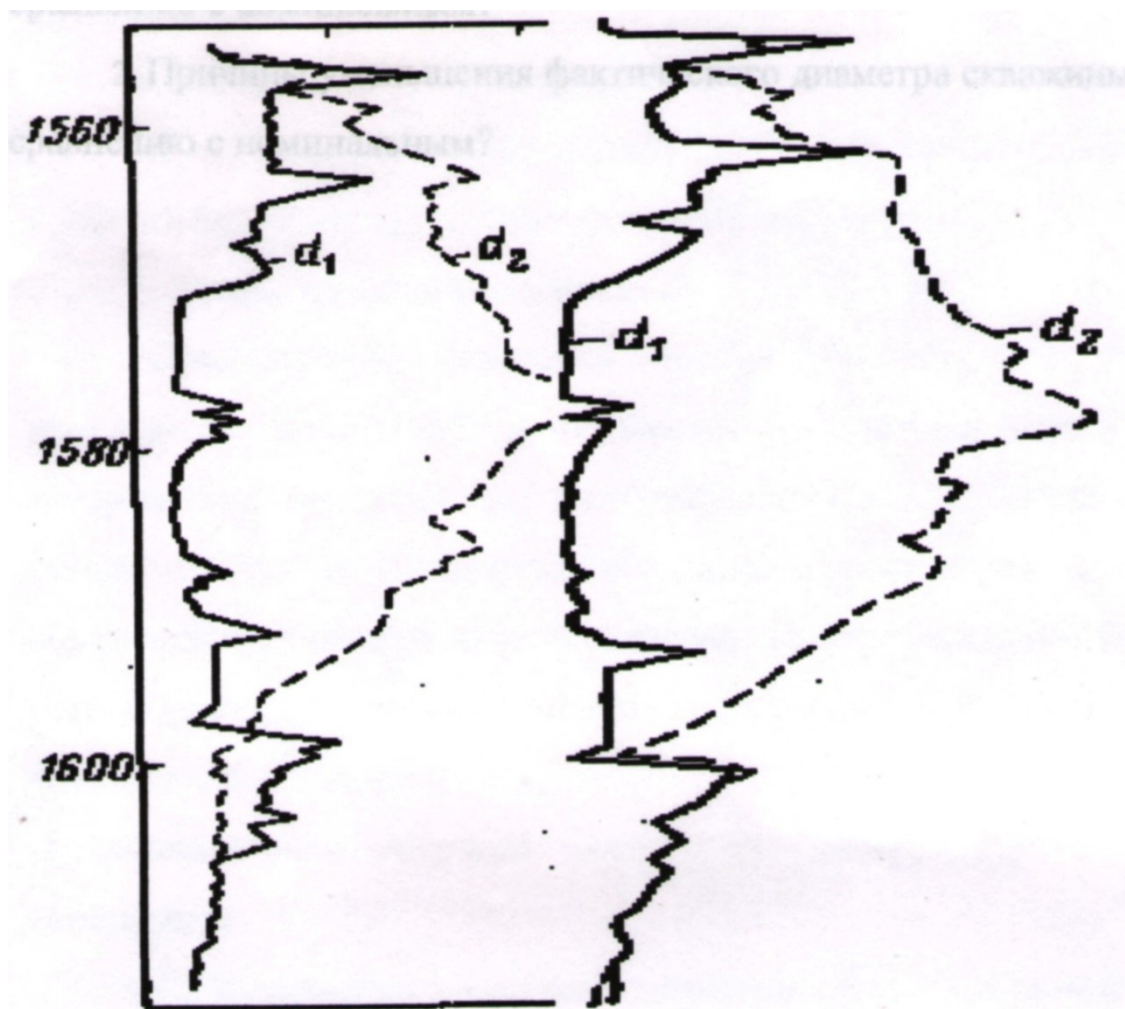


Рисунок 17.4 – Воспроизводимость вертикальных профилеграмм на интервале с протяжённым жёлобом

Эти диаграммы наглядно иллюстрируют информативность измерений вертикальным профилемером для определения формы и размеров ствола скважины. Из профилеграммы «I» видно, что на интервале выше 1559 и ниже 1604 м диаметры d_1 и d_2 близки и поэтому на профилеграмме «II», полученной при повторном измерении на этих интервалах наблюдается наихудшая повторяемость профилеграмм. На интервале 1560 - 1598, м, где $d_1 > d_2$ воспроизводимость профилеграмм значительно лучше.

Диаграммы, полученные с помощью вертикального профилемера, дают лишь ориентировочное представление о форме поперечного сечения скважины, особенно если оно неправильной формы. Для более точного определения формы поперечного сечения скважины производят измерения с

помощью горизонтального профилемера.

Содержание отчёта

Отчет по работе должен содержать:

1. Профилеграмму с выделением участков:
 - наличия желобов;
 - увеличения фактического диаметра скважины по сравнению с номинальным диаметром.
 - уменьшения фактического диаметра скважины по сравнению с номинальным диаметром.
2. Конструкция каверномера-профилемера СКП-1.

Контрольные вопросы

1. Причины увеличения фактического диаметра скважины по сравнению с номинальным?
2. Причины уменьшения фактического диаметра скважины по сравнению с номинальным?
3. Принцип работы скважинного каверномера-профилемера?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Основная литература:

1. Лукьянов, Э. Е. Информационно-измерительные системы геолого-технологических и геофизических исследований в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2010. – 816 с.
2. Лукьянов, Э. Е. Геолого-технологические исследования и геофизические исследования в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2009. – 752 с.

2. Дополнительная литература:

1. Жданов, М. С. Геофизическая электромагнитная теория и методы. – М.

С. Жданов. Монография. – М.: Науч. мир, 2012. – 679 с.

2. Стрельченко, В. В. Геофизические исследования скважин: учебник / В. В. Стрельченко. - М.: Недра, 2008. - 551 с. : ил. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). - Библиогр.: с. 541. - Прил.: с. 542-548. - ISBN 978-5-8365-0314-7.

3. Геофизические исследования скважин / Под редакцией В. М. Добрынина, Б. Ю. Вендельштейна, Р. А. Резванова, А. Н. Африкяна. Учебное пособие для ВУЗа – М.: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М Губкина, 2004. – 400 с.

4. Геофизические методы исследования нефтяных и газовых скважин / Л.И. Померанц, М.Т. Бондаренко, Ю.А. Гулин, В.Ф. Козяр: учебник для техникумов. М., Недра, 1981. – 376 с.

5. Электронный курс лекций.

3. Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Трёмсё (Universiti of Tromsø), Норвегия.

2. <http://www.gtogniga.org/inboles> - Геологический портал GeoKniga.

3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.

Лабораторная работа № 18

Тема: Знакомство с работой скважинных термометров

Цель работы

1. Закрепление лекционного материала.
2. Приобретение навыков работы со скважинным термометром серии ТР-7.
3. Метрологическая поверка аппаратуры для измерения температуры.

Теоретическая часть

Термометры серии ТР-7 предназначены для проведения термометрических исследований методами абсолютной, аномалий- и градиент-термометрии одновременно, т. е. за один спуск скважинного прибора. Термометры рассчитаны на работу в скважинах глубиной до 8000 м с температурой до 200 °С и давлением 100 МПа.

Термометры рассчитаны на работу в составе серийно выпускаемых каротажных лабораторий с использованием одножильного геофизического кабеля.

По данным измерений, выполняемых термометром, решают ряд задач разведки и разработки месторождений а также проводят контроль технического состояния скважин.

Термометрия скважин включает исследования естественных и искусственно возбужденных тепловых полей.

В зависимости от измеряемой величины различают:

- обычную термометрию, *абсолютное* измерение температуры;
- дифференциальную термометрию подразделяющуюся на *аномалий-термометрию*, т.е. измерение отклонений температуры ΔT от некоторого среднего значения и *градиент-термометрию*, т.е. измерение разности температур двух датчиков $\Delta T/\Delta H$, разнесенных на фиксированное расстояние.

Результаты, исследований представляют в виде термограмм абсолютной термометрии, аномалий- или градиент-термограмм.

По детальности и изучения теплового поля различают нормальные (масштаб температур 0,25 – 0,5 °С на 1 см шкалы) и детальные (масштаб температур 0,1 – 0,025 °С на 1 см шкалы) исследования.

Термограммы регистрируются обычно по всему стволу скважины в масштабе глубин 1:500, при детальных исследованиях применяют масштаб 1:200.

Технические характеристики термометров серии ТР-7

Термометры рассчитаны на следующие условия эксплуатации:

- температура от 5 до 200 °С;
- давление 100 МПа;
- величина среднеквадратичного отклонения случайной составляющей основной абсолютной погрешности не более 0,005 °С;
- величина показателя тепловой инерции термометров не более 2 сек;
- время установления рабочего режима термометров не более 5 мин.

Габаритные размеры и масса:

- длина не более 800 мм;
- диаметр 36мм;
- вес скважинного прибора 3 кг;
- вес наземного блока регистрации Б5С 5 кг.

Питание термометров осуществляется от сети переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 220 В. Потребляемая мощность не более 15 Вт.

Принцип действия термометров серии ТР-7

Принципиальная схема скважинного прибора приведена на рисунке 18.1.

Схема представляет собой генератор напряжения, в котором датчик температуры включен в частотоподающую цепь.

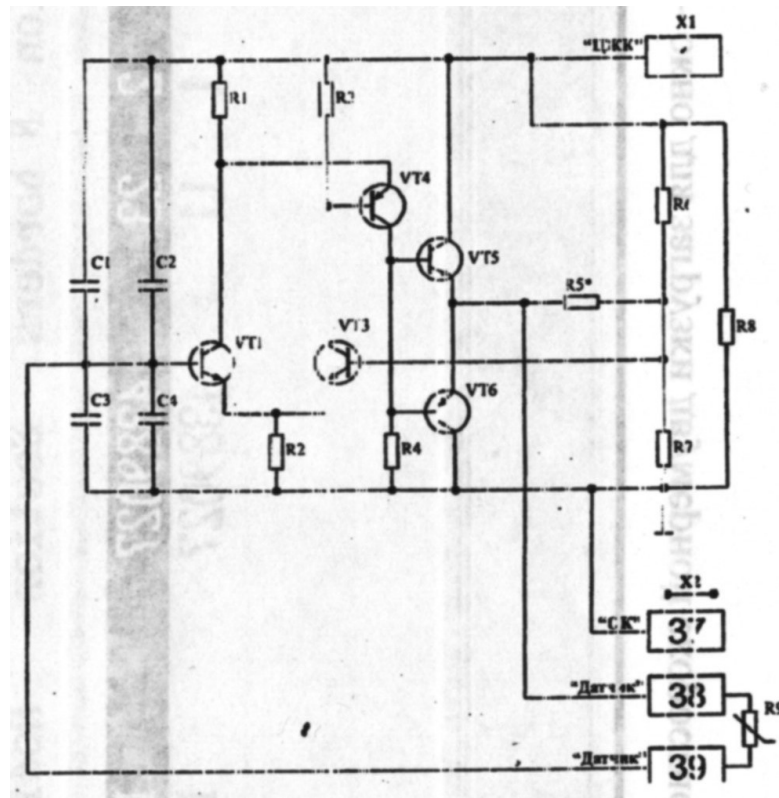


Рисунок 18.1 – Принципиальная электрическая схема прибора TP-7

Схема состоит из входного дифференциального каскада (VT1, VT3, R2), усилителя напряжения (VT4, R4), двухтактного эмиттерного повторителя (VT5, VT6) и резистивного делителя (R5, R6, R7) и представляет собой компаратор напряжения. Частотоподающая цепь генератора представлена датчиком температуры R_1 (R_9) и емкостью C1-C4.

Для понимания принципа работы генератора предположим, компаратор находится в состоянии с максимальным уровнем выходного сигнала (транзисторы VT3-VT5 открыты, транзисторы VT1, VT2, VT6 закрыты). Потенциал неинвертирующего входа компаратора (база VT3) при этом имеет максимальную величину, определяемую делителем R5-R7.

Мгновенному изменению потенциала на инвертирующем входе (база VT1) препятствует емкость C1-C4, благодаря чему потенциал на этом входе возрастает по экспоненте с постоянной времени $\tau = R_1(C1+C2+C3+C4)$. При достижении равенства потенциалов на базах VT1 и VT3 транзисторы VT3-VT5 запираются, а VT1, VT2 и VT6 открываются, и компаратор переходит в

состояние с минимальным уровнем выходного сигнала. Потенциал на базе VT3 также принимает минимальное значение, а потенциал на базе VT1 убывает по экспоненте с той же постоянной времени τ . При достижении равенства потенциалов на базах VT1 и VT3 цикл работы генератора возобновляется. Период T колебаний генератора линейно связан с величиной R_t зависимостью:

$$T = 2R_t(C1 + C2 + C3 + C4) \ln \left(1 + \frac{R6}{R5} \right). \quad (18.1)$$

Таким образом, схема представляет собой линейный преобразователь типа «Температура-период».

Блок Б5С состоит из платы основного преобразователя, платы дифференциальной термометрии, платы конденсаторов, платы источников питания и платы индикации.

Передаточная функция канала измерения *абсолютной* температуры имеет вид:

$$U_{\text{вых}} = 20 t^0, \quad (18.2)$$

где $U_{\text{вых}}$ – выходное напряжение, мВ;

t^0 – измеряемая температура, $^{\circ}\text{C}$.

Оборудование и материалы

При проведении настройки и поверки используются следующие приборы и устройства:

1. Скважинный прибор ТР-7.
2. Наземный блок регистрации Б5С.
3. Каротажный регистратор.
4. Термостат ТС-24А.
5. Термометры с диапазоном измеряемой температуры от 0 до 220 $^{\circ}\text{C}$.
6. Ампервольтметр.
7. Секундомер для измерения показателя тепловой инерции скважинных приборов. Диапазон измерений 0,1 – 9,9 сек.
8. Эквивалент кабеля.

Указания по технике безопасности

- a. Безопасность при работе с термометрами обеспечивается заземлением блока Б5С.
- b. Заземление осуществляется электрическим соединением клеммы заземления, расположенной на задней панели блока Б5С, с контуром заземления лаборатории. Заземление должно быть выполнено медным проводом, сечением не менее 1,5 мм².
- c. Перед включением модуля и ПК пользователь должен проверить отсутствие посторонних предметов на клавиатуре, в том числе и влаги.
- d. Включение ПК производится на мониторе, а затем на системном блоке.
- e. Модуль и ПК подключается в трех полюсную розетку электрической сети 220 В.
- f. Рабочие места с ПК и модулем по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку преимущественно слева.
- g. Искусственное освещение в помещениях с ПК осуществляется системой общего равномерного освещения с использованием светильников местного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне рабочего документа должна быть 300 - 500 лк.
- h. При возгорании ПК и модуля и их периферийных устройств их надлежит немедленно отключить от розетки. Тушение осуществляется только с помощью углекислого или порошкового огнетушителей.

Задание

1. Провести внешний осмотр термометра.
2. Провести опробование прибора ТР-7.
3. Провести метрологическую поверку термометра.

Порядок выполнения

Внешний осмотр

При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие термометра следующим требованиям:

1. Комплектность термометра должна соответствовать требованиям, указанным в паспорте.
2. Скважинные приборы не должны иметь дефектов покрытий в местах герметизации и механических повреждений термоэлементов.

Опробование

При опробовании включается кнопка «ВКЛ» на лицевой панели блока Б5С. При этом должна загореться сигнальная лампочка сети.

Затем производится переключение калибратора в положение «ЗАМЕР». Выходной сигнал термометра при этом должен соответствовать температуре окружающего воздуха.

Метрологическая поверка проводится в следующей последовательности:

1. Собирается схема в соответствии с рисунком 18.2.

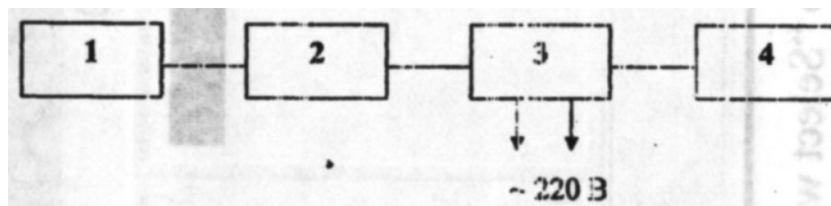


Рисунок 18.2 – Схема соединения составных частей термометра при поверке

1 – термометр; 2 – эквивалент кабеля; 3 – блок наземный Б5С; 4 – амперметр Р386

2. Заземляется блок термометрии Б5С, термостат и ампервольтметр.
3. Подготавливаются средства поверки к работе согласно их техническому описанию и инструкции по эксплуатации.
4. Скважинный прибор помещается в термостат.
5. Устанавливается температура в термостате, равная 20 °С.
6. Включается прибор.
7. Через 5 минут после включения скважинного прибора переключатель калибровки устанавливается в позицию «ЗАМЕР».

8. Потенциометрами «КАЛИБРОВКА» «20 °С», расположенными на лицевой панели блока Б5С, выходной сигнал канала измерения абсолютной температуры устанавливается в пределах 400 мВ.

9. Переключатель – калибратор переводится в положение «20 °С».

10. В случае, если выходной сигнал канала абсолютной температуры выходит за пределы 400 мВ, снимается шильдик калибратора и потенциометром, расположенным под клавишей «20 °С», приводится выходной сигнал в указанные пределы.

11. В термостате задается температура, равная 100 °С.

12. Переключатель калибратора устанавливается в положение «ЗАМЕР».

13. Потенциометрами «КАЛИБРОВКА» «100 °С» расположенными на лицевой панели блока Б5С выходной сигнал канала измерения абсолютной температуры устанавливается в пределах 2000 мВ.

14. Переключатель - калибратор переводится в положение «100 °С». В случае, если выходной сигнал канала измерения абсолютной температуры выходит за пределы 2015 мВ, снимается шильдик калибратора и потенциометром, расположенным под клавишей «100 °С», приводится выходной сигнал в указанные пределы.

Определение метрологических параметров

1. Определение систематической составляющей основной абсолютной погрешности и диапазона измерений производится следующим образом:

1.1. Скважинный прибор помещается в термостат на глубину не менее 500 мм. В термостате последовательно устанавливают температуры: 10, 50, 100, 150 и 200 °С с отклонением от номинального значения не более ± 1 °С и после установления выходного сигнала в каждой контрольной точке производятся измерения температуры в термостате образцовым термометром и выходного сигнала ампервольтметром.

1.2. Измеренную термометром температуру определяют по номинальной характеристике преобразования, используя формулу 18.3:

$$T_i = \frac{U_{\text{вых}}}{20}, \quad (18.3)$$

где $U_{\text{вых}}$ - значение выходного сигнала в мВ.

1.3. В каждой контрольной точке определяется систематическая составляющая основной абсолютной погрешности по формуле 18.4:

$$\Delta_i = T_i - T_{gi}, \quad (18.4)$$

где T_{gi} – действительные значения температуры в контрольных точках.

2. Определение показателя тепловой инерции.

2.1. Собирается схема измерения в соответствии с рисунком 18.2.

2.2. В термостате устанавливается температура на 5 – 10 °С выше температуры окружающего воздуха.

2.3. Для измерения показателя тепловой инерции скважинный прибор подготавливается согласно инструкции по эксплуатации.

2.4. Скважинный прибор вводится в термостат и производится отсчет времени достижения температуры прибором установленной температуры в термостате. Значение показателя тепловой инерции не должно превышать 2 секунды.

Результаты поверки считаются положительными, если значения контролируемых характеристик не превышают установленных в технических условиях и в паспорте термометра норм.

Содержание отчета и его форма

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен включать в себя результаты измерения температуры в помещении и в термостате в 5 произвольных контрольных точках. По результатам измерений рассчитывается систематическая составляющая основной абсолютной погрешности в контрольных точках. Определяется показатель тепловой инерции термометра.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Схема соединений при метрологической поверке термометра.
3. Протокол метрологической поверки.
4. Результаты расчетов абсолютной погрешности.
5. Выводы, вытекающие из результатов работы.

Вопросы для защиты работы

1. Назначение скважинных термометров.
2. Принцип действия термометров серии ТР-7.
3. Принципиальная схема скважинного прибора ТР-7.
4. Технология настройки скважинных термометров серии ТР-7.
5. Метрологическая поверка аппаратуры для измерения температуры скважины.
6. Определения понятий абсолютная термометрия, дифференциальная термометрия, аномалий-термометрия, градиент-термометрия, геотермическая ступень.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной работе:

1. Основная литература:

3. Лукьянов, Э. Е. Геолого-технологические исследования и геофизические исследования в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов, – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2009. – 752 с.
4. Богданович, Н. Н., Десяткин, А. С., Добрынин В. М. Геофизические исследования скважин: справочник мастера по промысловой геофизике / Н. Н. Богданович и др., М.: Инфра-Инженерия, 2009. – 958 с.

2. Дополнительная литература:

8. Стрельченко, В. В. Геофизические исследования скважин: учебник / В. В. Стрельченко. - М.: Недра, 2008. - 551 с. : ил. - (Приоритетные

национальные проекты. Образование). - Библиогр.: с. 541. - Прил.: с. 542-548. - ISBN 978-5-8365-0314-7.

9. Геофизические исследования скважин / Под редакцией В. М. Добрынина, Б. Ю. Вендельштейна, Р. А. Резванова, А. Н. Африкяна. Учебное пособие для ВУЗа – М.: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004. – 400 с.

10. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах / под редакцией Козяра В.Ф. – Тверь: ГЕРС, 2002. – 280 с.

11. Термометр скважинный ТР-7. Техническое описание и инструкция по эксплуатации / под ред. А.Г. Барминского. – Грозный: НИИГИ, 1989.

12. Методические указания к термометру скважинному ТР-7. Методы и средства поверки / под ред. А.Г. Барминского. – Грозный: НИИГИ, 1989.

6. Электронный курс лекций.

3. Интернет-ресурсы:

1. <http://ansatte.uit.no/webgeology/> сайт Университета Трёмсё (Universiti of Tromsø), Норвегия.

2. [http://www.gtogniga.org/inbo\[es - Геологический портал GeoKniga.](http://www.gtogniga.org/inbo[es)

3. <http://oilcraft.ru/load/2> - нефтегазовый портал.