

**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

Специальность
Специализация

21.05.02 Прикладная геология
Геология месторождений нефти и газа

Ставрополь, 2026

Оглавление

Введение	4
Лабораторная работа № 1	
Теоретические основы каротажа самопроизвольной поляризации (ПС)	
Лабораторная работа №2	
Электрический каротаж обычными зондами	
Лабораторная работа №3	
Стандартные зонды КС и резистивиметр	
Лабораторная работа № 4	
Боковое каротажное зондирование	
Лабораторная работа №5	
Высокочастотный индукционный каротаж изопараметрических зондирований	
Лабораторная работа № 6	
Гамма-каротаж.	
Лабораторная работа № 7	
Гамма-гамма каротаж	
Лабораторная работа № 8	
Взаимодействие нейтронов с веществом	
Лабораторная работа № 9	
Нейтронные методы	

Введение

Целью дисциплины «Геофизические исследования скважин» является формирование согласно ОП ВО набор компетенций будущего специалиста по специальности 21.05.02 «Прикладная геология». 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: Теоретические основы каротажа самопроизвольной поляризации (ПС)

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_d при температуре 291 °К 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:

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

(1.9)

где ϵ , ρ_v 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 $\rho_v > 1$ Ом·м, оценивают по формуле:

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

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.

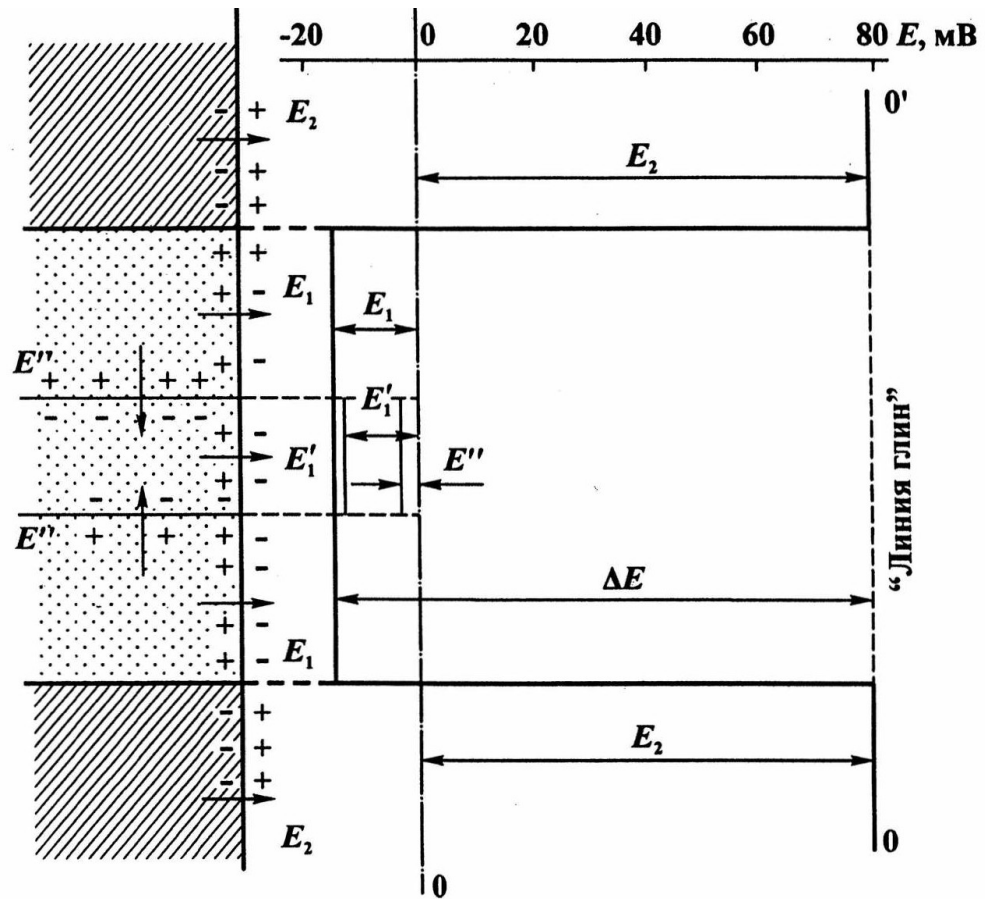


Рисунок 1.1 – Пример построения статической амплитуды ПС в пласте с прорывом более пресной воды в средней его части

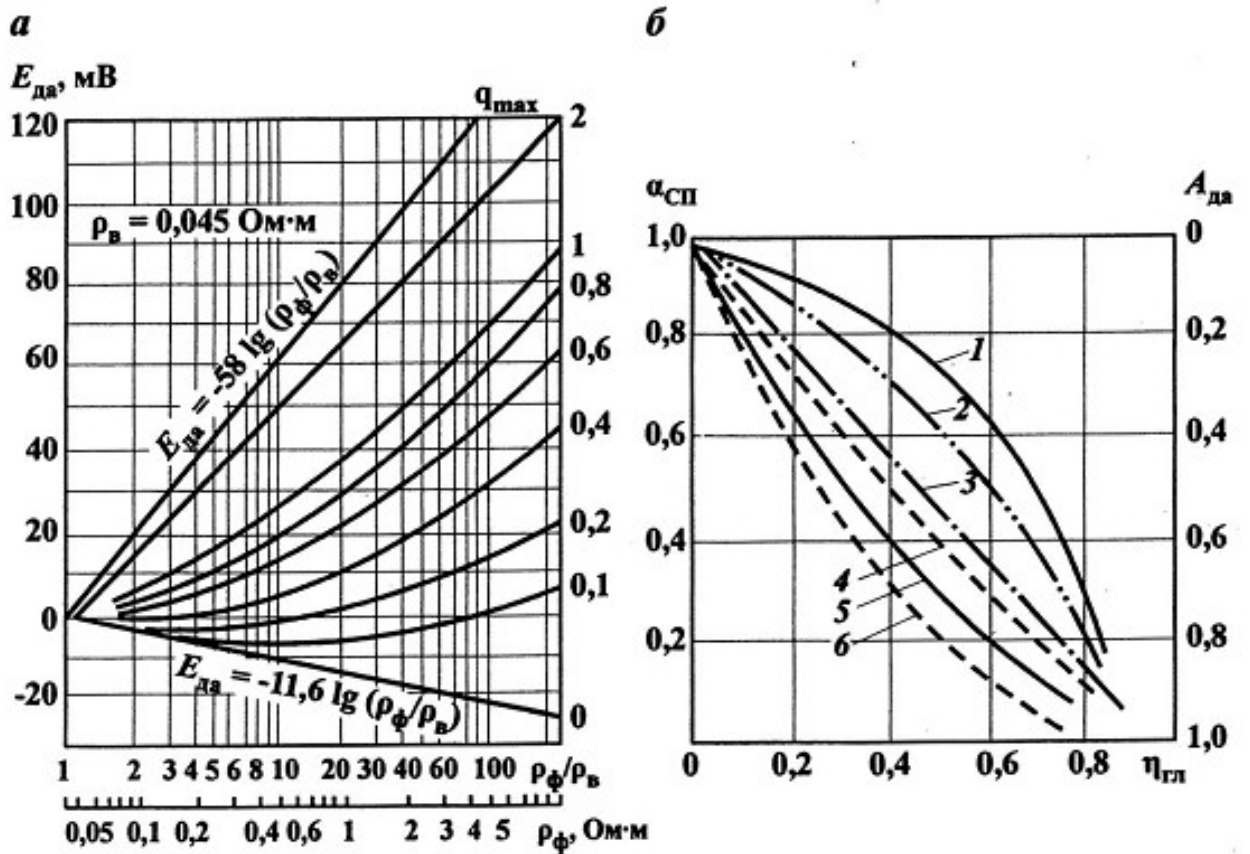


Рисунок 1.2 – Зависимость диффузионно-адсорбционных потенциалов от

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

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

Лабораторная работа № 2

Тема: Электрический каротаж обычными зондами

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.

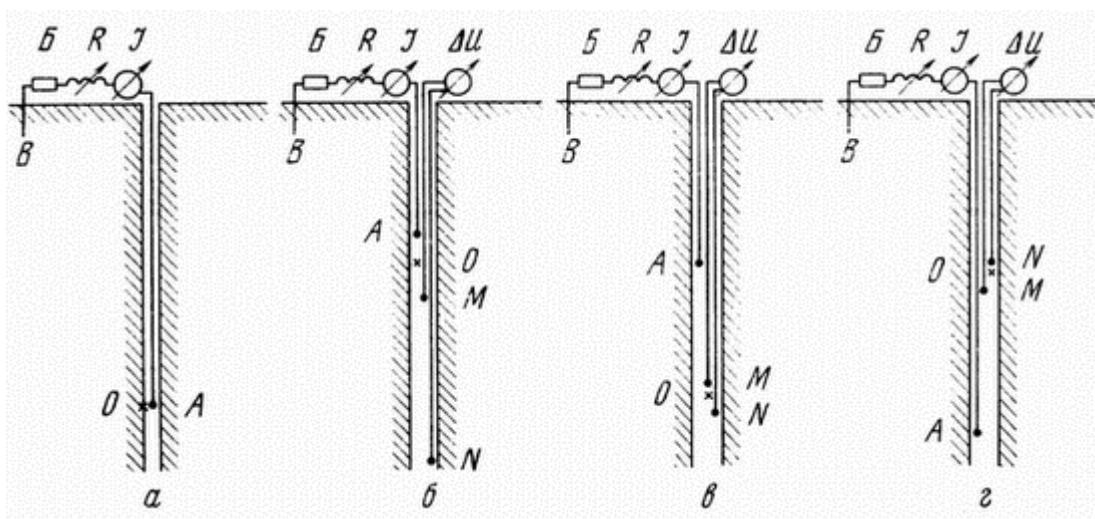


Рисунок 2.1 – Различные зонды для электрического каротажа скважин: А, В – питающие электроды, Б – батарея или другой источник питания, R – реостат для регулировки силы тока, I – прибор, измеряющий силу тока, MN – приемные электроды, О – точка записи, к которой относят результаты замеров; а – одноэлектродный 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).

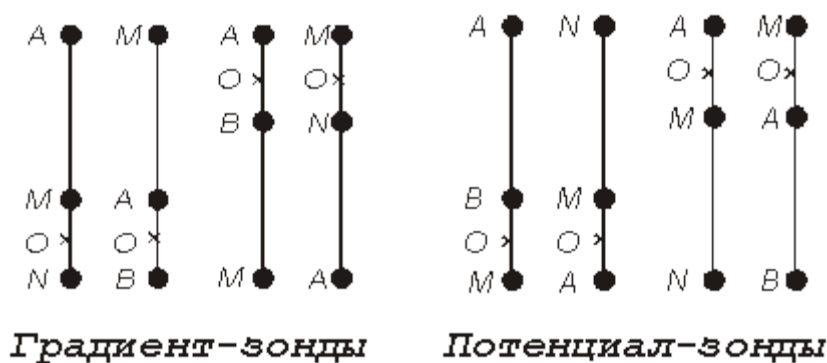


Рисунок 2.2 – Схемы градиент- и потенциал-зондов:
А и В – токовые электроды, М и N – измерительные электроды, О – точка записи зонда

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).

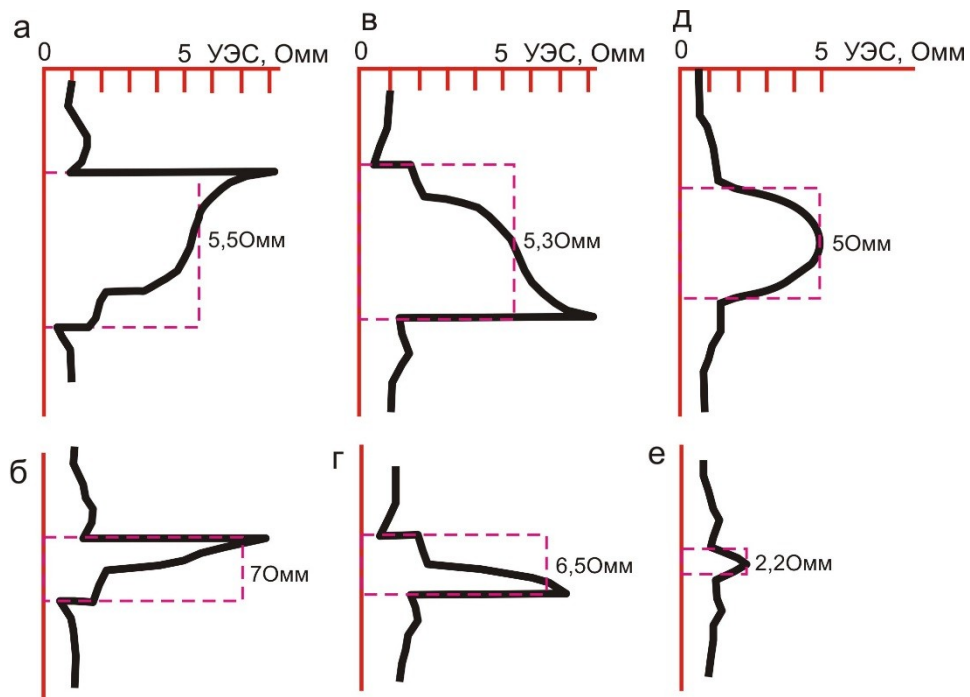


Рисунок 2.3 – Кривые ρ_k при пересечении пластов высокого сопротивления

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.

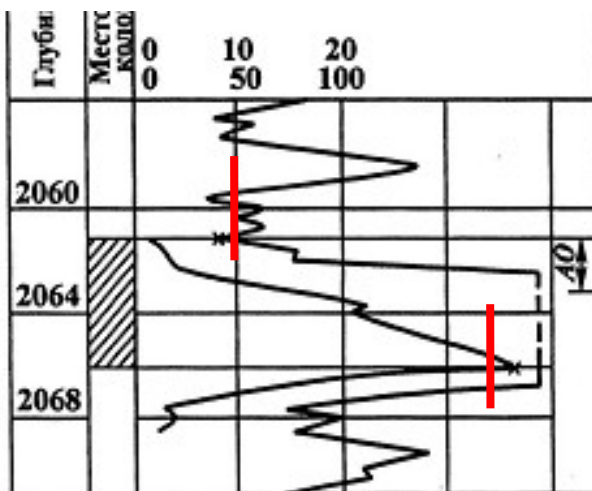


Рисунок 2.4 – Фрагмент кривой кажущегося сопротивления

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: Стандартные зонды КС и резистивиметр

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.

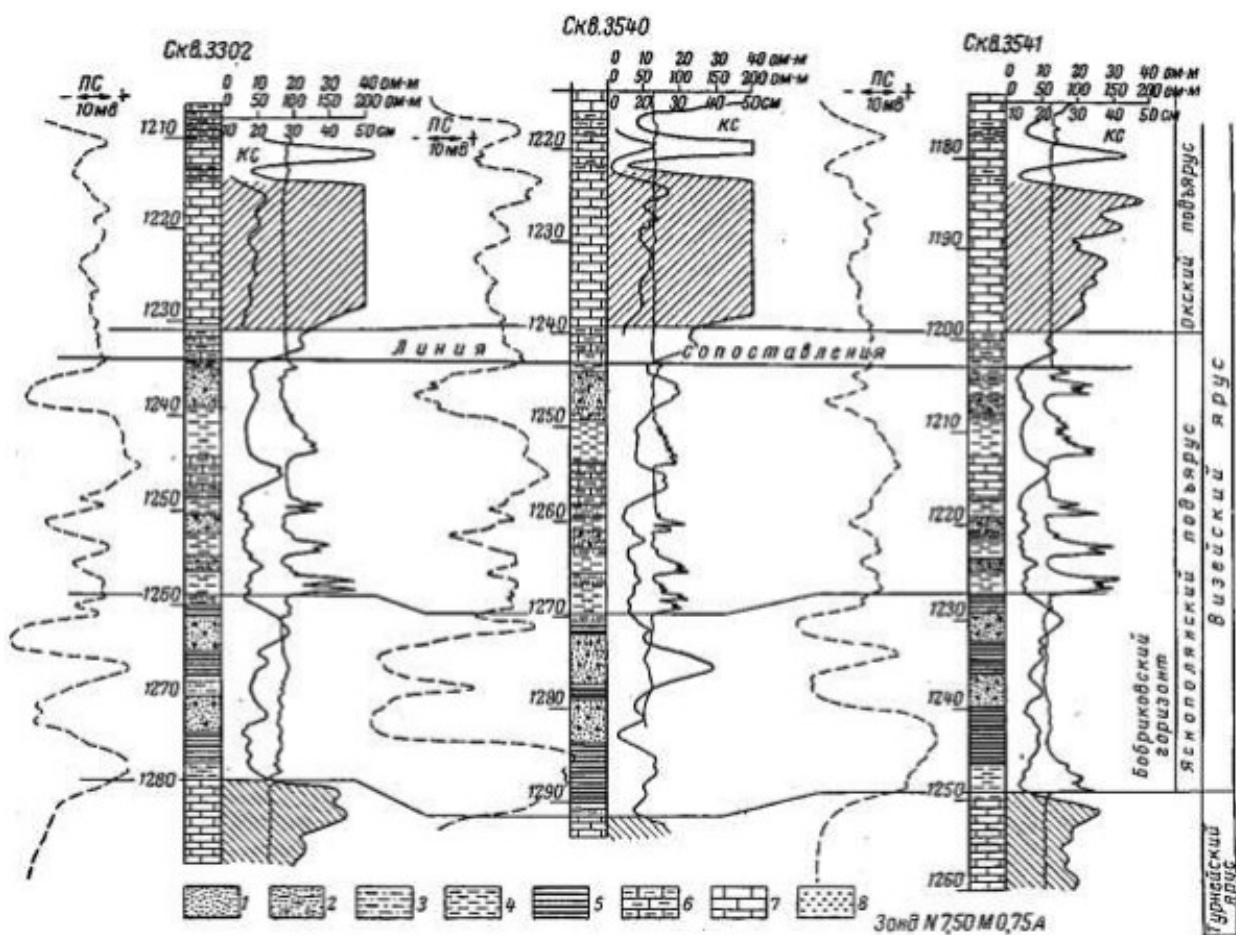


Рисунок 3.1 – Рис. 13. Сопоставление геолого-геофизических разрезов терригенной толщи нижнего карбона (подошва тульского горизонта в скв. 3302 находится на глубине 1248 м, в скв.3540 – 1258 м, в скв.3541 – 1217 м): 1 – песчаники; 2 – песчаники глинистые; 3 – алевролиты; 4 – аргиллиты; 5 – аргиллиты с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

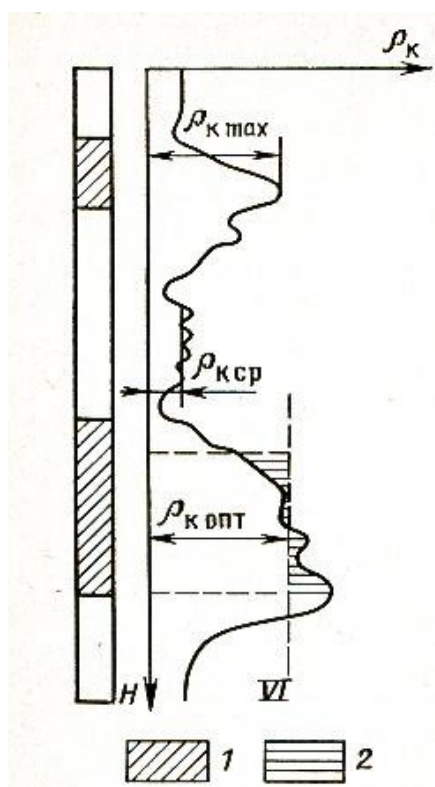
Цель работы

- 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.

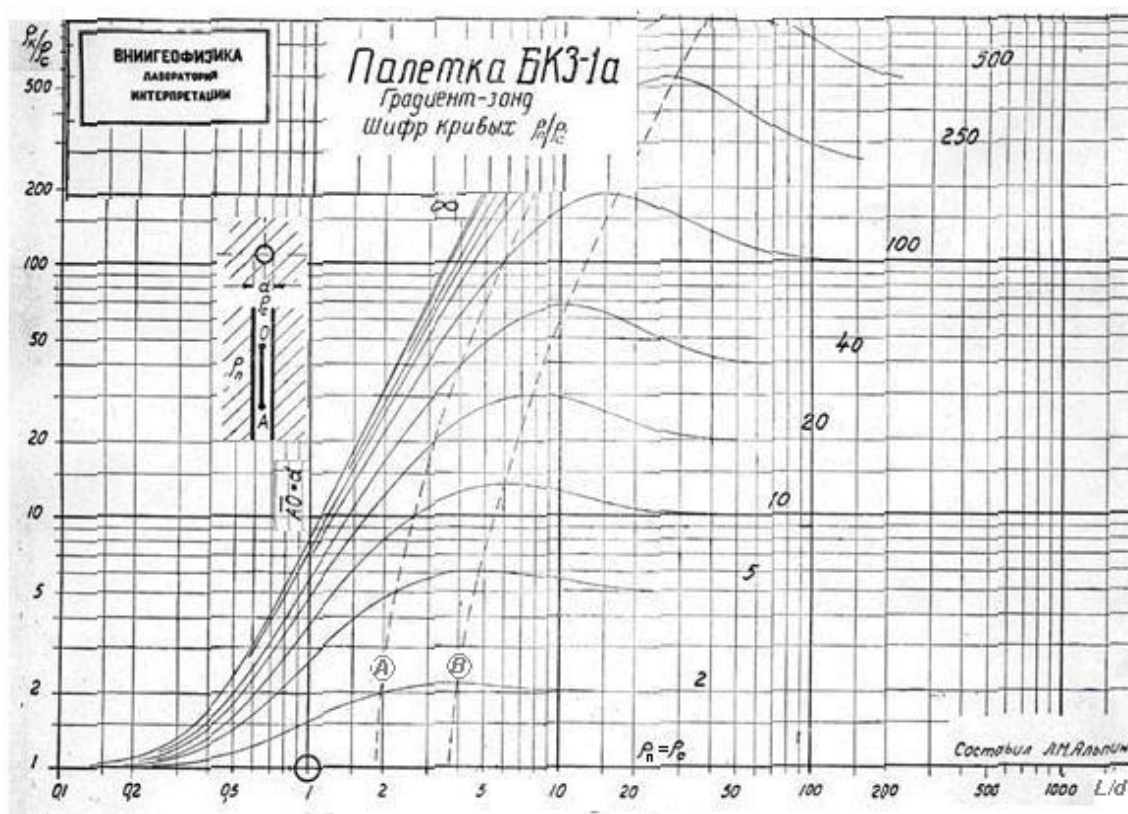


Рисунок 4.2 – Вид двухслойной палетки БКЗ

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

$A\ 1.0M\ 0.1N$

$A\ 2.0M\ 0.5N$

$A\ 4.0M\ 0.5N$

$A\ 8.0M\ 1.0N.$

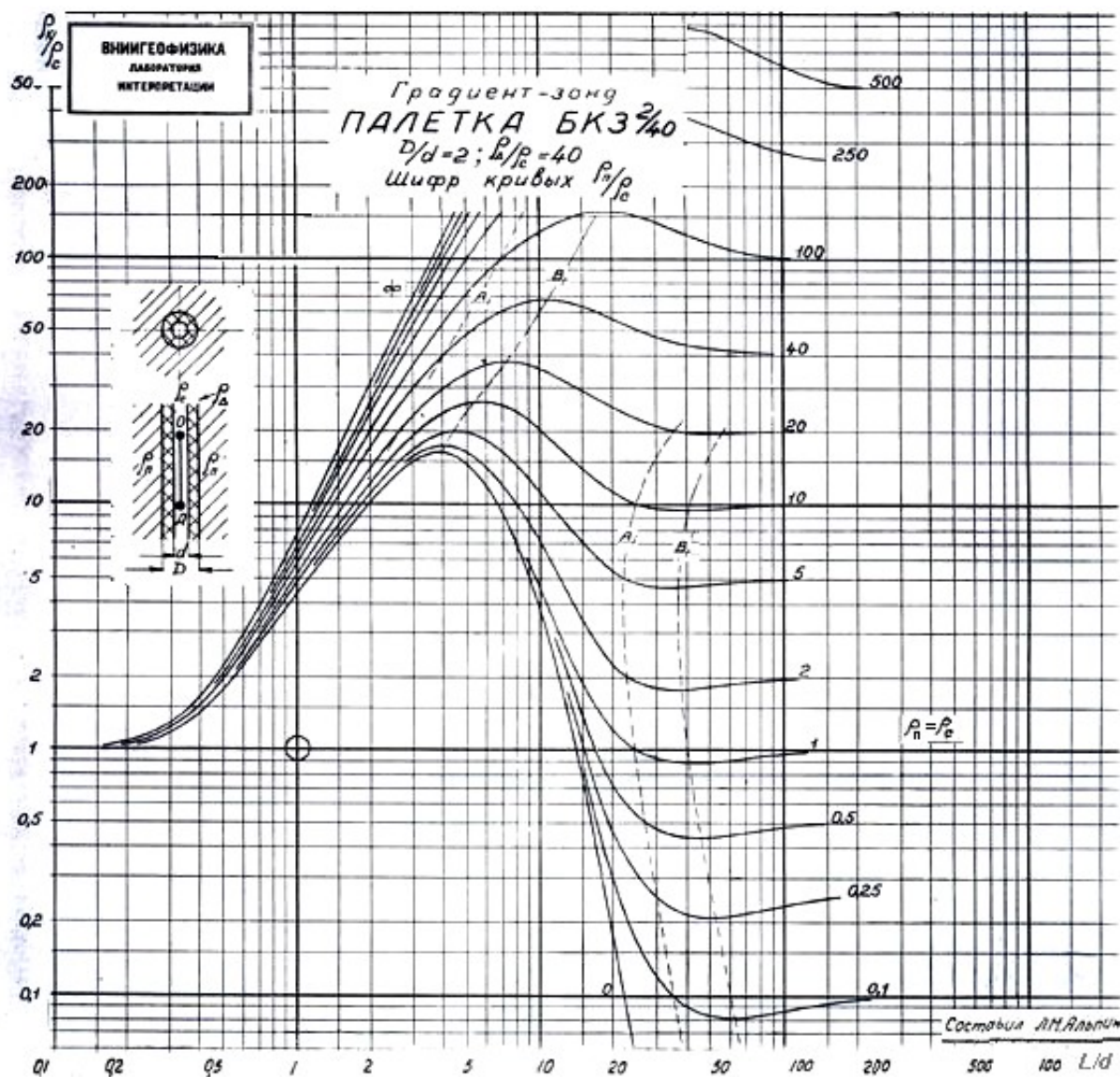


Рисунок 4.3 – Вид трёхслойной палетки БКЗ

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).

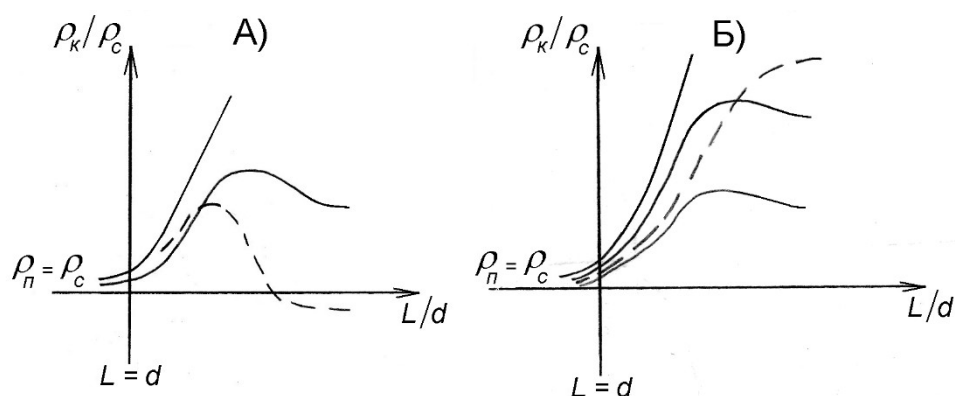


Рисунок 4.4 – Пример сопоставления наблюждённой и теоретической кривых БКЗ на 2-х-слойной палетке

А), Б) – случаи повышающего и понижающего проникновения фильтрата 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.

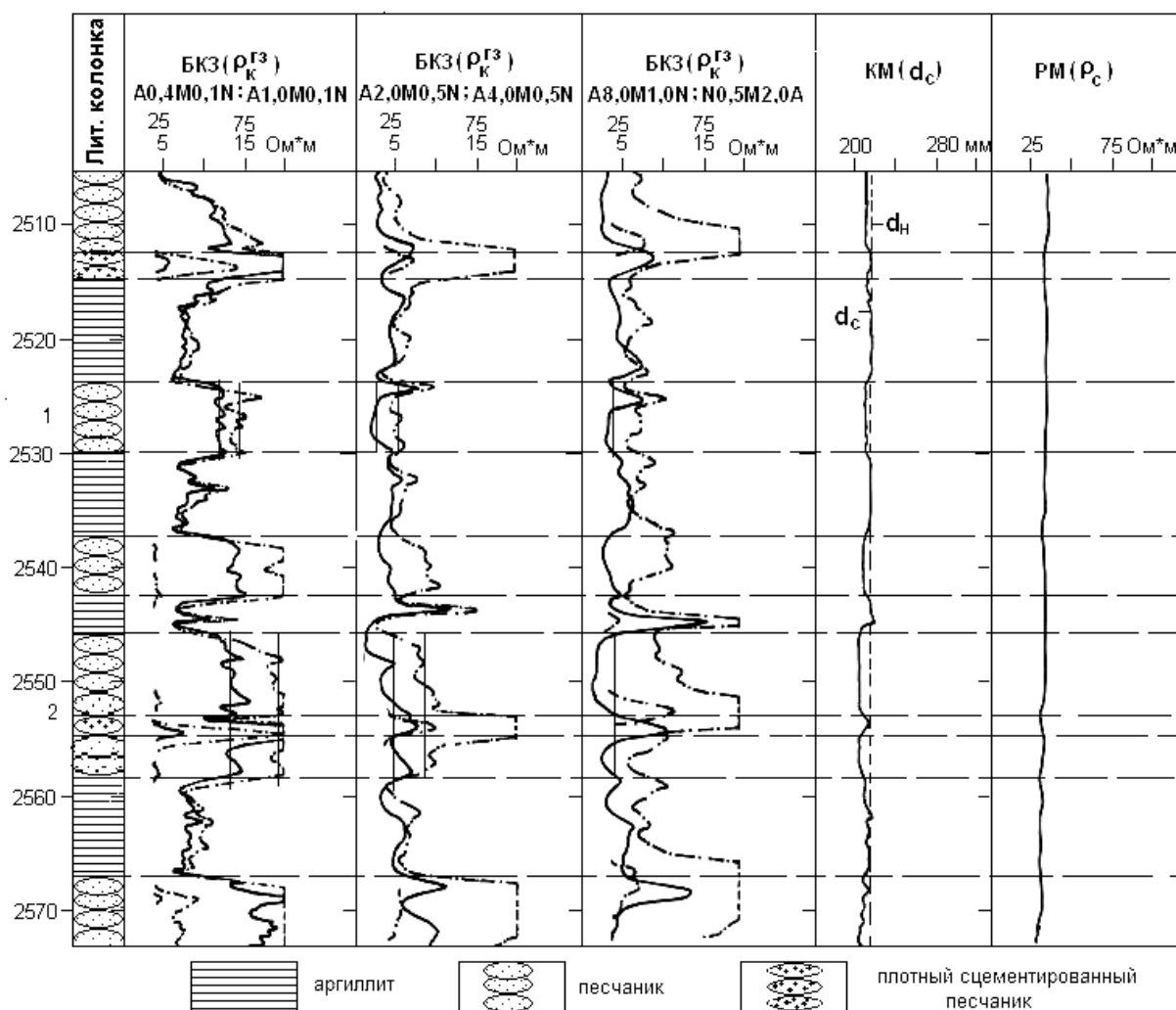


Рисунок 4.4 – Сопоставление каротажных диаграмм БКЗ в разрезе нефтегазовой скважины (Западная Сибирь)

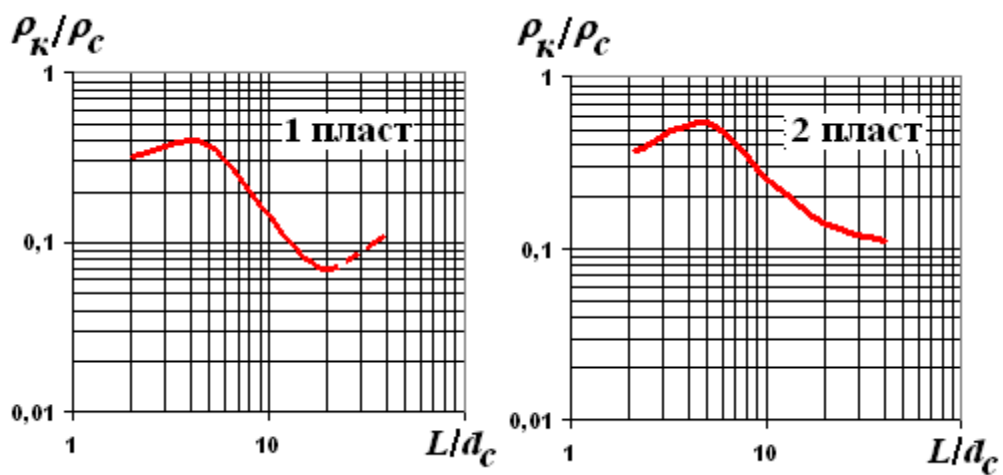


Рисунок 4.5 – Фактические кривые БКЗ

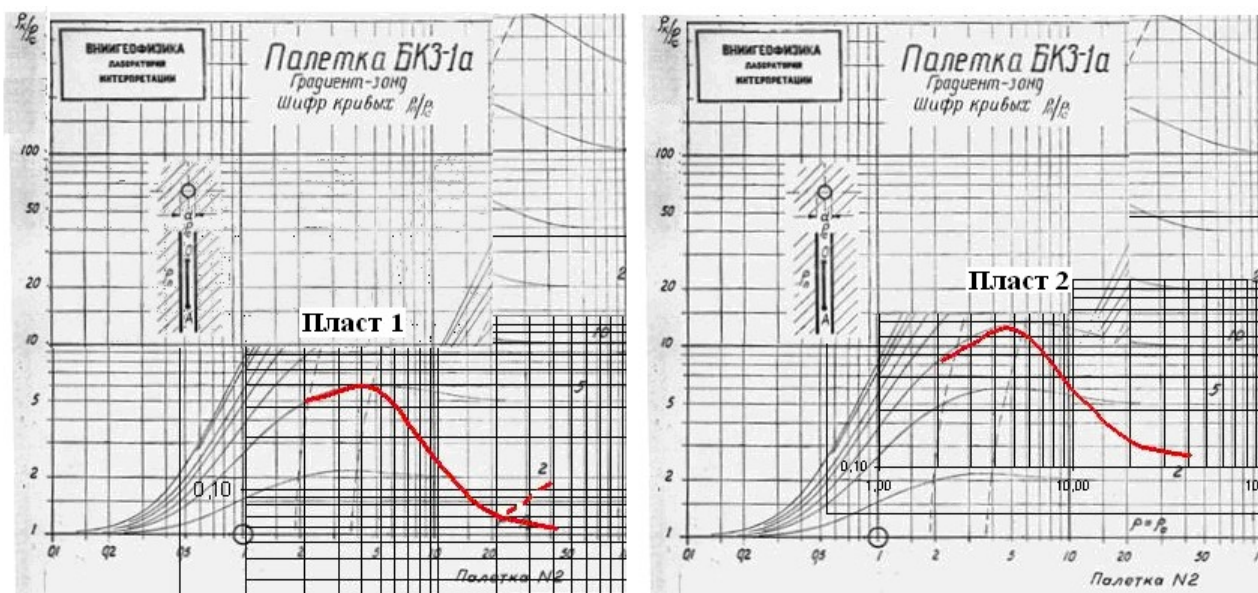


Рисунок 4.6 – Сопоставление фактических кривых БКЗ для пластов 1 и 2 с теоретическими двухслойной палетки 1А

Плост 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

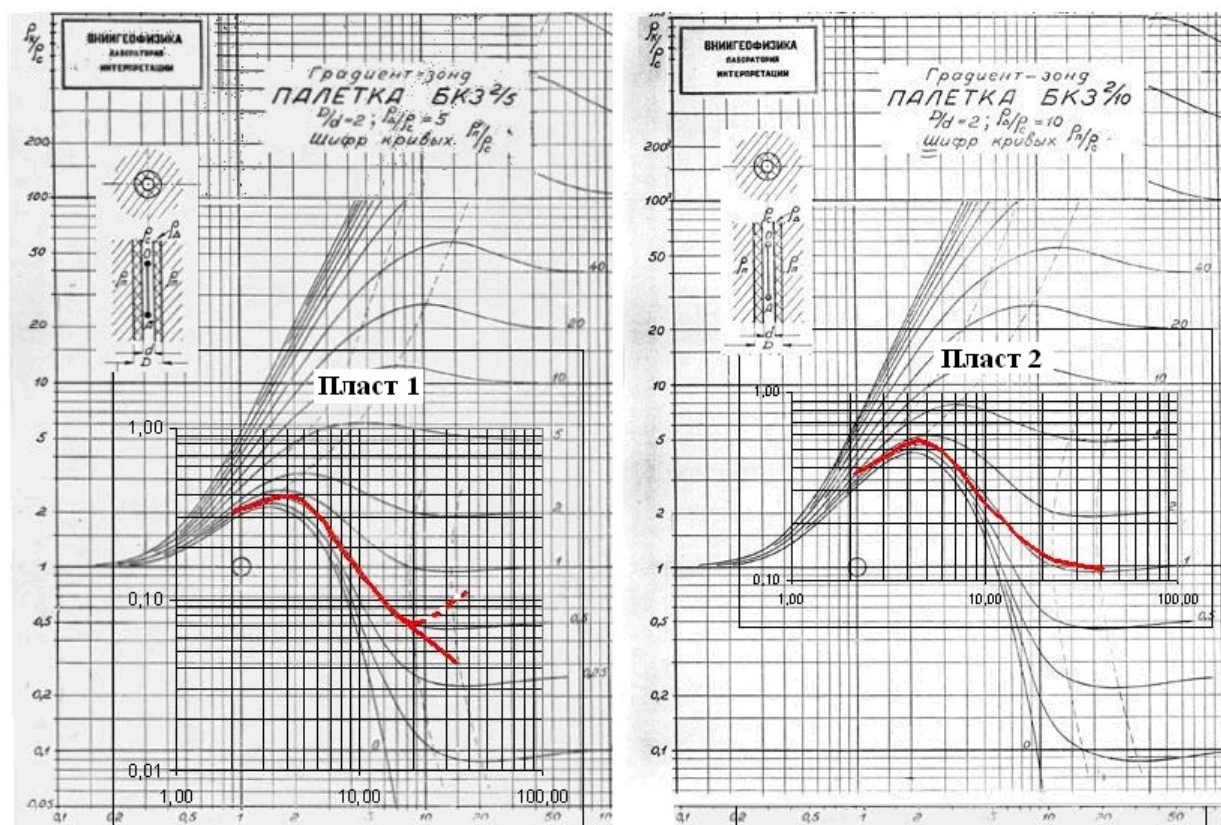


Рисунок 4.7 – Сопоставление фактических кривых БКЗ для пластов 1 и 2 с теоретическими трехслойными палетками 4А и 5А

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: Высокочастотный индукционный каротаж изопараметрических зондирований

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 ($\rho_{\text{п}}$) каждого выделенного прослоя, по данным БК. Значение $\rho_{\text{п}}$ 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 $\rho_{\text{п}}$.

Правило снятия отсчетов $\rho_{\text{к}}$ 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 ($\rho_{\text{к}}$) регистрируемую против исследуемого пласта, оказывают влияние: скважина ($\rho_{\text{с}}$), зона проникновения ($\rho_{\text{зн}}$) и неизменная часть пласта ($\rho_{\text{п}}$). Эту зависимость и отражает уравнение интегрального геометрического фактора, которое в общем случае имеет вид:

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

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:

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

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;

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

– 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)	B_c	$B_{зп}$	B_n	ρ_n , 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 ρ_n .
- Заполнить таблицу 5.1.

- Оформить работу на ПК.

Порядок выполнения:

1. Найти границы пластов высокого и низкого сопротивлений по диаграммам ρ_k (выдается преподавателем). Выделить прослой в пласте.
2. Снять значения ρ_k в каждом прослое.
3. Рассчитать последовательно параметры V_c , V_{zp} , V_n 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: Гамма-каротаж

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					

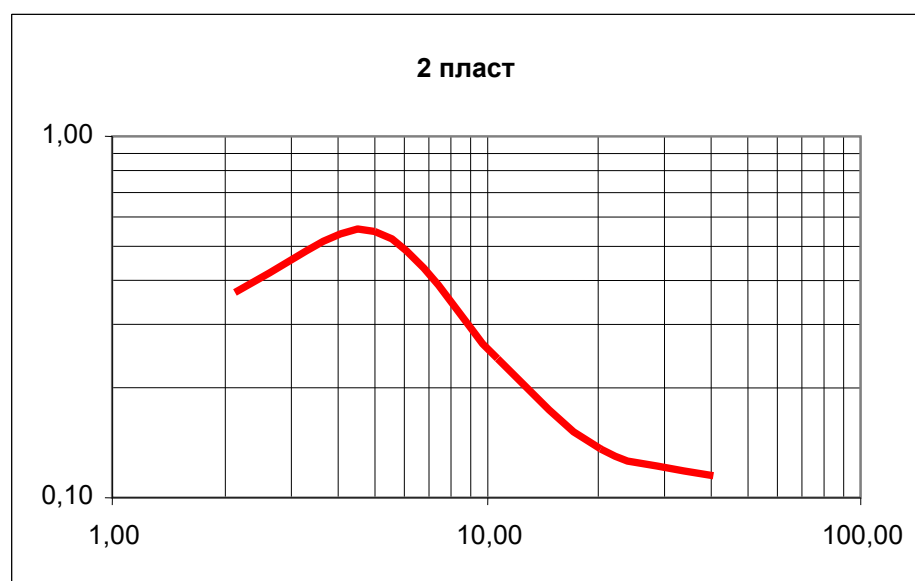


Рисунок 6.1 – Фактическая кривая зависимости ρ_k/ρ_c от $f(L/d_c)$

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_{Δ}/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_{Π} 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	$\rho_{\Pi}^{\text{БКЗ}}$, Омм	$\rho_{\Pi}^{\text{ВИКИЗ}}$, Омм
----------	---------------------	------	---------------------------------	-----------------------------------

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 $\rho_{\text{п}}^{\text{БКЗ}}$ и $\rho_{\text{п}}^{\text{ВИКИЗ}}$.

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 диаграммам БКЗ значений кажущихся удельных электрических сопротивлений (ρ_{κ}), выполнение графических построений.

3. Компьютерное сопоставление кривых бокового зондирования с палеточными, определение количественных показателей (истинного сопротивления ($\rho_{\text{п}}$) 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. Порокуна, 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: Гамма-гамма каротаж

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).

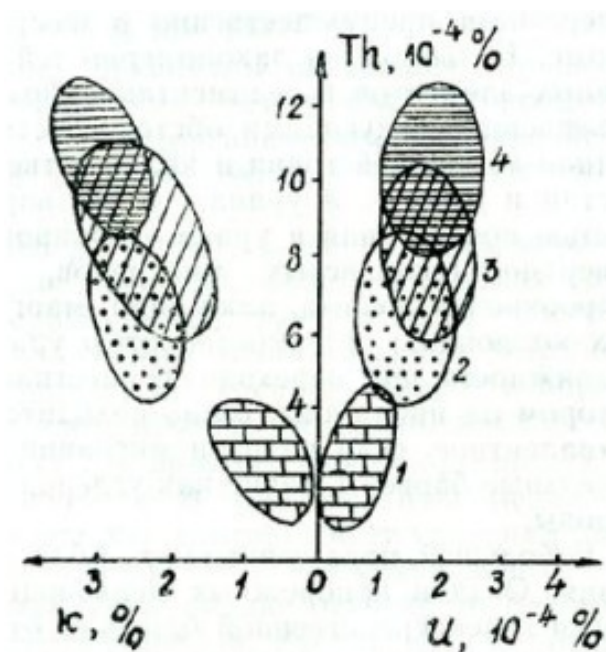


Рисунок 7.1 – Содержание радиоактивных элементов в сеноманских отложениях Амударьинского нефтегазоносного бассейна (по материалам Р.А. Алексеева и др., 1973): 1 – известняки; 2 – песчаники; 3 – алевролиты; 4 – глины

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):

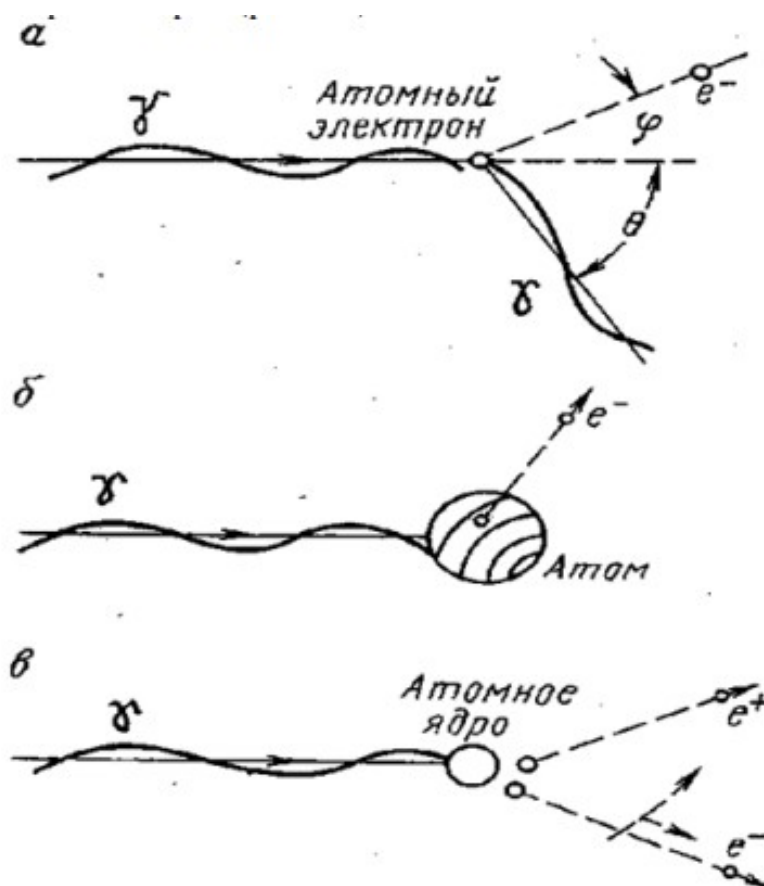


Рисунок 7.2 – Схемы процессов взаимодействия γ -квантов с веществом: а – комптоновское рассеяние; б – фотоэффект; в – эффект образования пар

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 _{γж} , у.е.	l _{γжоп1} , у.е.	l _{γжоп2} , 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 производится «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 $V \cdot \tau$.

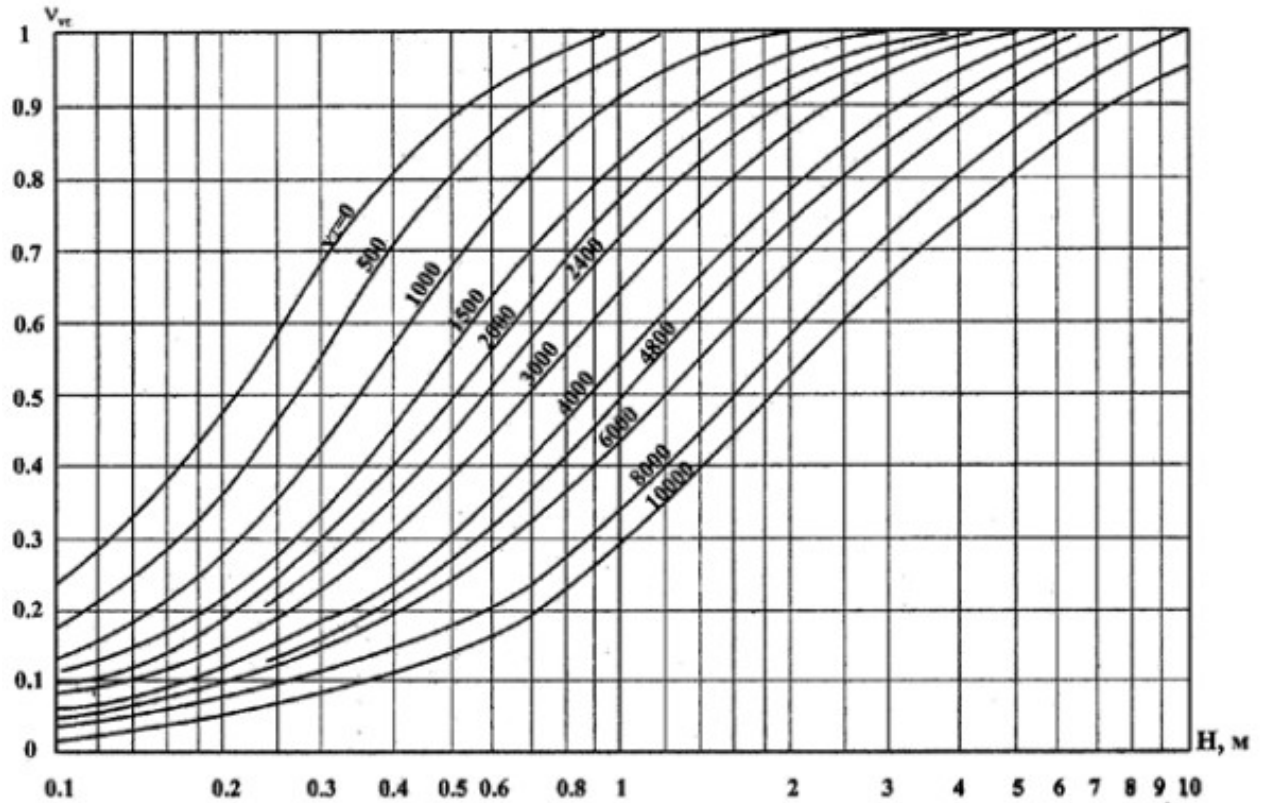


Рисунок 7.3 – Номограмма для определения коэффициента снижения регистрируемой амплитуды гамма активности

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:

$I_{\gamma\infty}^{\text{оп1}}$ – минимальное значение в рамках исследуемого интервала, но не

относящееся к угольному пласту, т.е. показание в пределах пласта песчаника. По значению проводят «линию песков».

$I_{\gamma\infty}^{\text{оп2}}$ – 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:

$$\Delta I_{\gamma} = \frac{I_{\gamma\infty} - I_{\gamma\infty}^{\text{оп1}}}{I_{\gamma\infty}^{\text{оп2}} - I_{\gamma\infty}^{\text{оп1}}} \quad (7.4)$$

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).

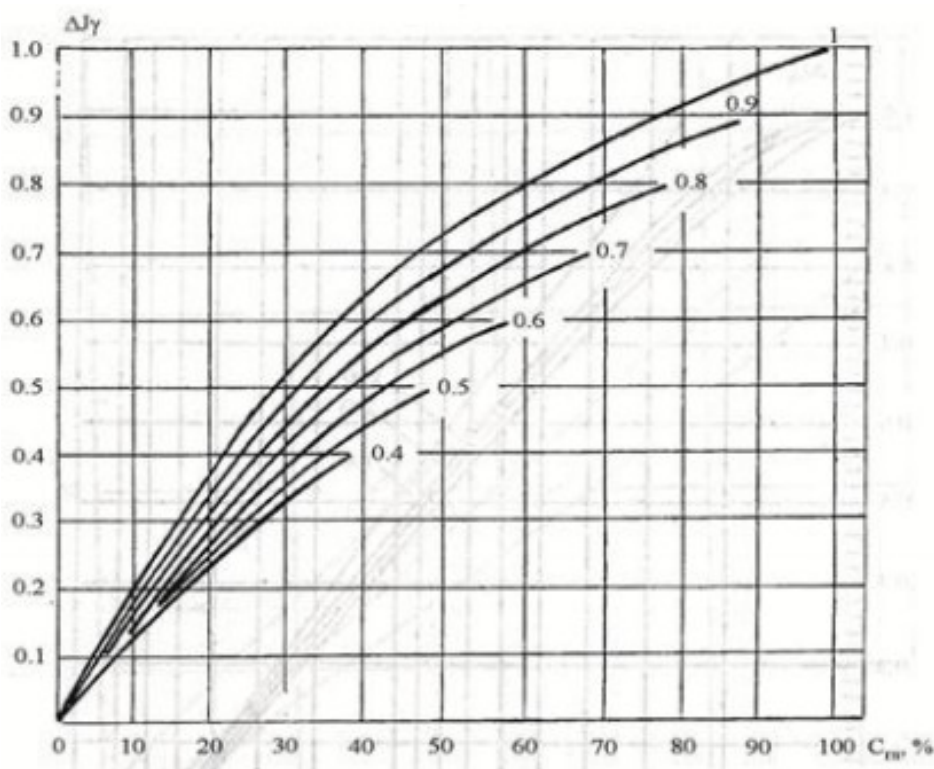


Рисунок 7.4 – Номограмма для определения коэффициента глинистости по величине двойного разностного параметра. Шифр кривых – величина $K_{\text{гл}}^{\text{оп2}}$ – определяется по методу ПС

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?

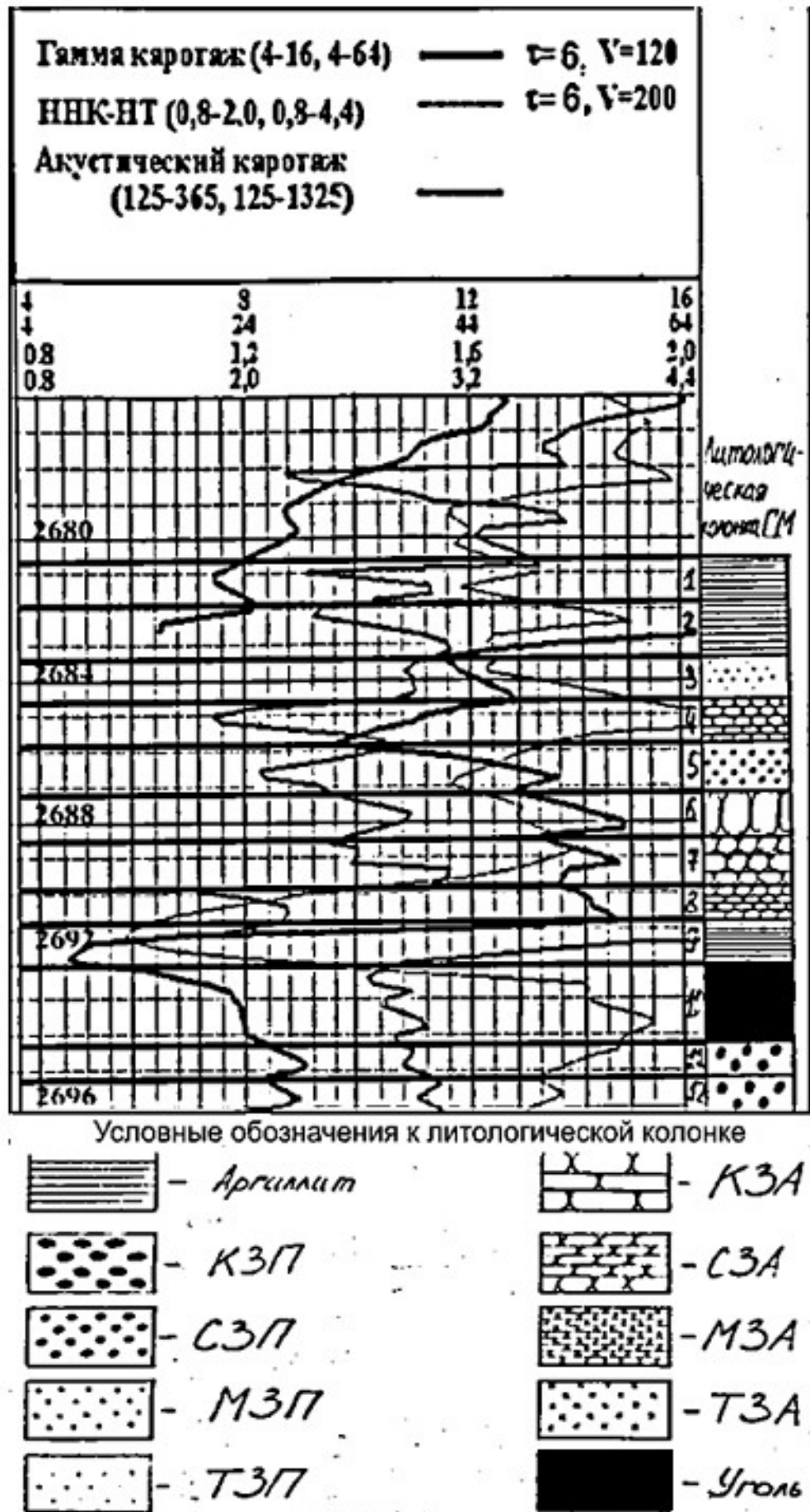


Рисунок 7.5 – Пример расчленения разреза на пласты и определения литологии по данным гамма метода

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 промысловой 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.gtogniga/org/inboles> - Геологический портал GeoKniga.

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

Лабораторная работа № 8

Тема: Взаимодействие нейтронов с веществом

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):

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

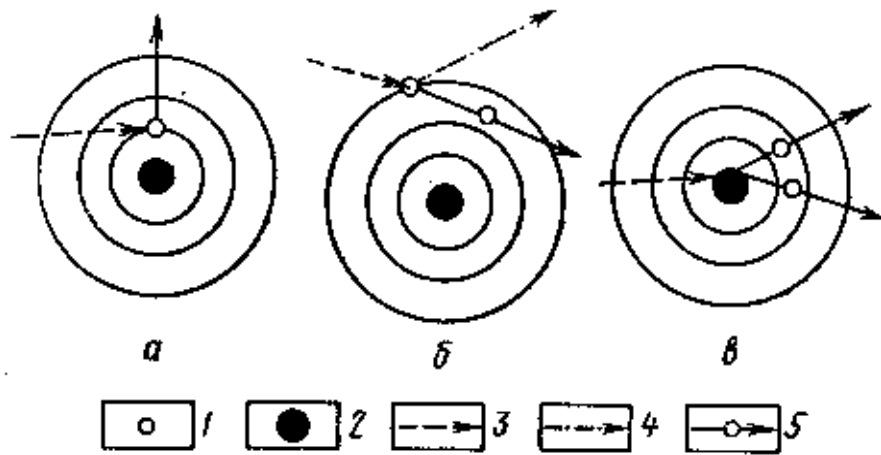
где $E_{св}$ – энергия связи электрона в атоме;

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 вырываемые 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; b – 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 $Z_{эф}$ – эффективный порядковый номер. Вероятность фотоэффекта $\mu_{ф}$ 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 $\mu_{ф}$ 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, b) 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 ($0,05 \leq E_\gamma \leq 15 \text{ МэВ}$), 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 промысловой 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: Нейтронные методы

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 ${}^3\text{He}$ 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:

$$\tau = \lambda_3/v = 1/(v \cdot \Sigma_3), \quad (9.2)$$

где λ_3 – путь нейтрона (по ломаной) от точки замедления до точки поглощения;

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

Σ_3 – 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, Mn, 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 промысловой 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.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Методические указания
по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине**

Петрофизика

Методические рекомендации предназначены для студентов специальности 21.05.02 Прикладная геология, специализации- Геология месторождений нефти и газа

Цель методических рекомендаций:

1. Методическое сопровождение процесса введения и реализации требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (далее ФГОС ВО), помощь при разработке рабочих учебных программ дисциплин образовательной программы (далее ОП).
2. Создания в образовательном учреждении учебно-методического обеспечения образовательного процесса.

Методические рекомендации определяют сущность самостоятельной работы студентов в вузе, ее назначение, планирование, формы организации и виды контроля.

Содержание

1. Нормативное обеспечение самостоятельной работы в ФГОС ВО
2. Назначение и виды самостоятельной работы студентов
3. Контроль самостоятельной работы студентов преподавателями

1. Нормативное обеспечение самостоятельной работы в ФГОС ВО
- 1.1. Требования к условиям реализации ОП:

- требования к обязательному минимуму содержания образовательной программы подготовки специалиста, к условиям ее реализации и срокам ее освоения определяются настоящим ФГОС ВО;
- в программу специалитета входит «Дисциплины (модули)», который включает дисциплины (модули), относящиеся к обязательной части программы и дисциплины (модули), относящиеся к части, формируемой участниками образовательных отношений. Дисциплины (модули), относящиеся к обязательной части программы бакалавриата, являются обязательными для освоения обучающимся вне зависимости от направленности (профиля) программы бакалавриата, которую он осваивает. Набор дисциплин (модулей), относящихся к обязательной части программы бакалавриата, вуз определяет самостоятельно в объеме, установленном настоящим ФГОС ВО. Дисциплины (модули), относящиеся к части, формируемой участниками образовательных отношений определяют направленность (профиль) программы бакалавриата. Набор дисциплин (модулей), относящихся к части, формируемой участниками образовательных отношений, определяет вуз самостоятельно в объеме, установленном настоящим ФГОС ВО. После выбора обучающимся направленности (профиля) программы, набор соответствующих дисциплин (модулей) становится обязательным для освоения обучающимся;
- максимальный объем учебной нагрузки студента устанавливается 54 часа в неделю, включая все виды аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) учебной работы.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся должны быть оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации. Библиотека вуза должна иметь достаточное количество современных учебников и учебных пособий по всем дисциплинам и постоянно восполняться научной литературой и периодическими изданиями нефтегазового профиля.

Объем времени, отведенный на внеаудиторную самостоятельную работу, находит отражение:

- в рабочем учебном плане,
- в рабочих программах учебных дисциплин с распределением по разделам или конкретным темам.

2. Назначение и виды самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности, организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, совершенствованию и самоорганизации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитию исследовательских умений.

Внеаудиторная самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

В учебном процессе образовательного учреждения выделяются два вида самостоятельной работы:

3. Контроль самостоятельной работы студентов преподавателями

Контроль самостоятельной работы студентов предусматривает:

- соотнесение содержания контроля с целями обучения;
- объективность контроля;
- валидность контроля (соответствие предъявляемых заданий тому, что предполагается проверить);
- дифференциацию контрольно-измерительных материалов.

Формы контроля самостоятельной работы

1. Просмотр и проверка выполнения самостоятельной работы преподавателем.
2. Самопроверка, взаимопроверка выполненного задания в группе.
3. Обсуждение результатов выполненной работы на занятии.
4. Тестирование.
5. Письменный опрос.
6. Устный опрос.
7. Индивидуальное собеседование.
8. Коллоквиум.
9. Отчет о проделанной работе.
10. Защита рефератов или курсовой работы.
11. Творческий конкурс.
12. Интернет-конференции.
13. Контрольная работа.

Критерии оценки результатов самостоятельной работы

Критериями оценок результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- уровень освоения студентами учебного материала;

- умения студента использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- сформированность общеучебных умений;
- умения студента активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить требующуюся информацию, изучать ее и применять на практике;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- оформление материала в соответствии с требованиями;
- умение ориентироваться в потоке информации, выделять главное;
- умение четко сформулировать проблему, предложив ее решение, критически оценить решение и его последствия;
- умение показать, проанализировать альтернативные возможности, варианты действий;
- умение сформировать свою позицию, оценку и аргументировать ее.

Содержание внеаудиторной самостоятельной деятельности студентов

Методические указания для студентов по выполнению самостоятельной работы:

1. Подготовка к лекциям;
2. Подготовка к практическим занятиям;
- 3 Самостоятельное изучение учебной литературы.