

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

**ЯДЕРНАЯ ГЕОФИЗИКА И РАДИОМЕТРИЯ СКВАЖИН**

**Методические указания по выполнению лабораторных работ**

|                                        |                                     |
|----------------------------------------|-------------------------------------|
| Направление подготовки/специальность   | 21.05.02 Прикладная геология        |
| Направленность (профиль)/специализация | Геология месторождений нефти и газа |

Ставрополь, 2026

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 1. Лабораторная работа № 1                                                                     |   |
| УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДЕТЕКТОРОВ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....                         | 6 |
| 2. Лабораторная работа №2                                                                      |   |
| ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА НЕЙТРОНОВ.....                                |   |
| 3. Лабораторная работа № 3                                                                     |   |
| ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ СГДТ.....                                                |   |
| 4. Лабораторная работа № 4                                                                     |   |
| ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ГАММА-ГАММА-ПЛОТНОМЕРА. МОДИФИКАЦИИ ПРИБОРА.....         |   |
| 5. Лабораторная работа № 5                                                                     |   |
| ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ РАДИОИЗОТОПНЫХ ПЛОТНОМЕРОВ И НЕЙТРОННЫХ ВЛАГОМЕРОВ ..... |   |
| СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....                                                           |   |

### ***Предисловие***

Целью дисциплины «Ядерная геофизика и радиометрия скважин» является формирование будущего специалиста по специальности 21.05.03 Технология геологической разведки. Дисциплина относится к дисциплинам базовой части профессионального цикла ООП ВПО и предполагает знание студентами следующих дисциплин «Общая геология» Б1.Б.20, «Структурная геология» Б1.Б.21, «Физика» Б1.Б.10, «Физика горных пород» Б1.Б.24.04, «Физика Земли» Б1.Б.24.01, «Математика» Б1.Б.09, «Электротехника и электроника» Б1.Б.16, «Информатика» Б1.Б.12, «Геофизические исследования скважин» Б1.Б.24.05, «Аппаратура геофизических исследований скважин» Б1.В.08.05. В результате изучения дисциплины у студента формируются указанные выше компетенции, приобретаются знания теоретических и геологических основ радиоактивных и ядерных методов исследования скважин, принципов построения аппаратуры для проведения радиоактивных методов ГИС, областей применения методов и решаемые ими задачи, методики проведения исследований каждым методом, появляются навыки практического применения теоретических знаний для определения эффективности радиоактивных методов по результатам исследований в данном разрезе и на этой основе формировать рациональный комплекс методов для решения конкретных геологических, эксплуатационных и технических задач; оценки качества каротажных диаграмм. появляются навыки практического применения знаний методики проведения исследований каждым методом применительно к конкретным условиям.

## Лабораторная работа №1

### ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ РК, РЕШЕНИЕ ПРЯМЫХ ЗАДАЧ ЯДЕРНОЙ ГЕОФИЗИКИ

#### Цель:

- Закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях
- Ознакомить студентов с прямой и обратной задачей ГИС

#### Актуальность темы:

При выполнении заявки на проведение ГИС выполняется прямая и обратная задача с целью решения конкретной геологической задачи.

#### Теоретическая часть:

Прямые задачи ядерной геофизики связаны с изучением пространственно-энергетического и пространственно-временного распределения излучения в веществе при известных: сечениях элементарных процессов взаимодействия излучения с веществом; свойствах вещества; заданных геометрических условиях. Теоретическое решение прямых задач основано на использовании математических моделей переноса излучения в заданных средах. Наряду с теоретическим моделированием необходимым является экспериментальное моделирование, которое является критерием оценки точности теоретических исследований, а в ряде случаев – единственно возможным решением прямых задач в ядерной геофизике.

Обратные задачи ядерной геофизики представляют собой определение элементного состава или других свойств среды (плотность, пористость, влажность и др.) по данным измерения интегральных или спектральных характеристик полей ядерного излучения.

Как правило, регистрируемая плотность потока ядерного излучения зависит от целого ряда параметров среды – ядерное излучение, в процессе его переноса в веществе, может испытывать десятки элементарных процессов взаимодействия. Именно этим объясняется широкое разнообразие методов ядерной геофизики, классификация которых базируется на учете особенностей физических процессов и типа регистрируемого излучения.

Принципиальная особенность ядерно-геофизических методов состоит в том, что они дают информацию непосредственно о вещественном составе горных пород и руд. И если классические методы геофизической разведки (гравиразведка, магниторазведка, электроразведка, сейсморазведка) можно назвать «геологическими» (они дают сведения об условиях залегания аномальных объектов, оценивают их форму и геологические структуры), то ядерная геофизика стоит ближе к геохимии, поскольку решает геологических задачи путем выявления закономерностей распределения в геологических образованиях петро- и рудогенных элементов.

Особое достоинство ядерно-геофизических методов состоит в том, что они позволяют вести количественные определения целого ряда элементов таблицы Менделеева непосредственно в естественных условиях. Это качество методов ядерной геофизики имеет принципиальное значение и делает их незаменимым средством интенсификации геологоразведочных работ. Ядерно-геофизические методы представляют также основу для решения задач экологии, уменьшения потерь полезных ископаемых при их обогащении и более полного комплексного их извлечения из недр.

Кроме радиоактивных семейств имеются одиночные радионуклиды, в которых радиоактивный распад ограничивается одним актом превращений. Среди них наиболее распространен калий-40. В целом в земной коре повышены концентрации следующих трех радиоактивных элементов: урана-238 ( $2,5 \cdot 10^{-4} \%$ ), тория ( $1,3 \cdot 10^{-3} \%$ ) и калия-40 (2,5%). Поэтому в радиометрии изучают только эти элементы. Они находятся в горных породах в рассеянном состоянии в виде изоморфных примесей и самостоятельных минералов.

Геофизические методы изучения геологического разреза скважин, основанные на измерении характеристик полей ионизирующих излучений (естественных и искусственно вызванных), происходящих в ядрах атомов элементов, называют радиоактивным каротажем (РК). Наиболее широкое распространение получили следующие виды радиоактивного каротажа: гамма-картаж, предназначенный для изучения естественного  $\gamma$ -излучения горных пород; гамма-гамма-картаж и нейтронный картаж, основанный на эффекте взаимодействия с горной породой источников  $\gamma$ -излучения и нейтронов. Радиоактивностью называется способность неустойчивых атомных ядер самопроизвольно (спонтанно) превращаться в более устойчивые ядра других элементов, испуская альфа-бета-гамма-лучи и элементарные частицы (электроны, нейтроны, протоны, позитроны и нуклоны). Радиоактивностью атомных ядер, находящихся в естественных условиях, получила название естественной радиоактивности, а радиоактивный распад атомных ядер при их бомбардировке элементарными частицами (электронами, протонами, нейтронами,  $\gamma$ -частицами и др.) – искусственной радиоактивности. Однако эти названия отражают лишь способ получения радиоактивного изотопа, а радиоактивность в обоих случаях определяется свойствами атомных ядер переходить из одного состояния в другое, более устойчивое, с иными физическими и химическими свойствами. Процесс превращения одного изотопа химического элемента в другой называется радиоактивным распадом, который обусловлен внутренним состоянием атомного ядра, поэтому на скорость радиоактивного распада не оказывает влияния температура и давление, электрическое и магнитное поле, вид химического соединения данного радиоактивного элемента и его агрегатное состояние.

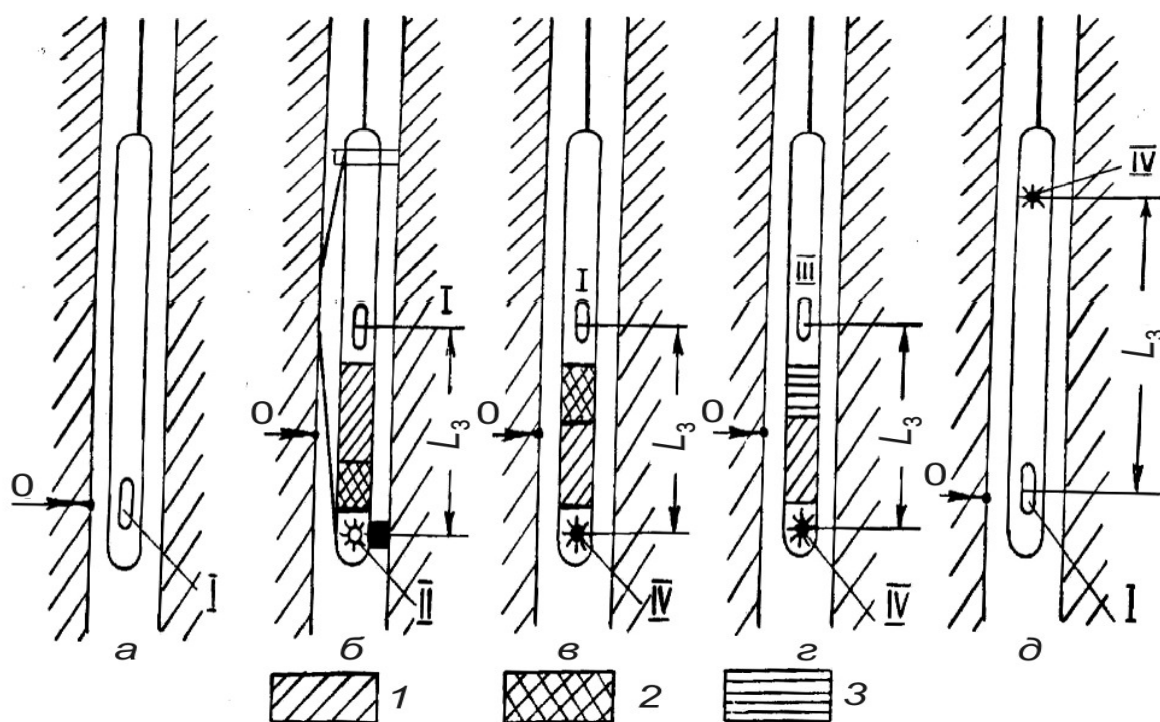


Рисунок 3.1 - Схема установки радиоактивного каротажа: а – ГК; б – ГГК; в – НГК; г – НК (НК-т или НК-н); д – АГК; 1 – стальной экран; 2 – свинцовый экран; 3 – парафин (или другой материал с высоким водородосодержанием);  $L_3$  – длина зонда; О – точка записи измерений; I – индикатор  $\gamma$ -излучений; II – источник  $\gamma$ -излучения; III – индикатор плотности нейтронов; IV – источник нейтронов

При радиоактивном каротаже изучаются протекающие в горных породах процессы, обусловленные наличием естественной или искусственно вызванной радиоактивности.

В природе наряду с устойчивыми элементами существуют элементы, ядра которых самопроизвольно распадаются. Такие элементы называются радиоактивными и являются источниками естественного поля радиоактивности.

Распад радиоактивного элемента приводит к возникновению нового элемента с иными физико-химическими свойствами, который также может оказаться неустойчивым, и будет распадаться, превращаясь в новый элемент. Процесс этот будет происходить до образования устойчивого элемента.

Радиоактивные элементы образуют три больших радиоактивных ряда – урана, тория, актиния, в которых каждый последующий элемент возникает в результате распада предыдущего. Во всех трех рядах конечным, устойчивым элементом является стабильный изотоп свинца.

Каждый из радиоактивных элементов характеризуется присущим ему временем распада или, как принято говорить, периодом полураспада, т. е. временем, в течение которого распадается половина всех атомов данного элемента.

Кроме того, в процессе различных ядерных реакций могут возникать искусственные радиоактивные изотопы элементов. Искусственная радиоактивность – это результат превращения стабильных атомных ядер элементов в неустойчивые радиоактивные изотопы. Искусственные радиоактивные изотопы широко применяются в науке и технике. В промысловой геофизике их используют при исследовании технического состояния скважин.

Все использованные для исследования скважин методы радиоактивного каротажа основаны на регистрации гамма-излучения и потока нейтронов. Гамма-лучи – электромагнитное излучение, возникающее в результате радиоактивных превращений атомов элементов. Гамма-лучи возникают и распространяются в виде отдельных квантов (порций) энергии. Энергия гамма-квантов, испускаемых горными породами, содержащими в рассеянном состоянии радиоактивные элементы радий, уран, торий и радиоактивный изотоп калия, составляет от 0,05 до 3 МэВ (мегаэлектрон-вольт). Чем выше энергия гамма-квантов, тем больше их проникающая способность. Вследствие взаимодействия квантов с окружающей средой энергия их уменьшается. Уменьшение энергии пропорционально плотности вещества. Например, гамма-лучи с энергией 2 МэВ поглощаются наполовину слоем воды толщиной около 14 см, слоем алюминия толщиной 5,7 см, слоем меди толщиной 1,8 см и слоем свинца толщиной 1,2 см.

При прохождении через вещество гамма-лучи взаимодействуют преимущественно с электронными оболочками атомов, что определяет их ионизирующее действие.

Содержание радиоактивных элементов в разных горных породах неодинаковое. Это позволяет различать породы по радиоактивности.

Наибольшей радиоактивностью среди *изверженных* пород обладают кислые породы, наименьшей -- основные.

Содержание радиоактивных элементов в *изверженных* породах понижается с уменьшением окиси кремния  $\text{SiO}_2$ .

Присутствие радиоактивных элементов в *осадочных* породах связано с процессами разрушения залежи первичных минералов.

Осадочные породы обладают наименьшей радиоактивностью. Самую *высокую радиоактивность* среди них имеют :глубоководные илы; черные битуминозные глины; аргиллиты; глинистые сланцы; калийные соли. *Средняя радиоактивность* характерна для: неглубоких и континентальных глин; глинистых песчаников; мергелей; глинистых известняков; доломитов. К породам с *низкой радиоактивностью* относятся :ангидриты; гипсы; пески; песчаник; доломиты; угли; каменная соль; большая часть сульфидных, полиметаллических и железных руд.

ГК – заключается в измерении интенсивности естественного гамма-излучения пород вдоль ствола скважины.

Интенсивность измеряется индикатором гамма-излучения помещенным в глубинный прибор

В общем случае показания ГК  $\sim$  пропорциональны гамма-активности пород.. однако, при одинаковой гамма-активности породы с большей плотностью отмечаются меньшими значениями на кривой ГК из-за более интенсивного поглощения ими гамма-лучей.

Из данных наблюдений за показаниями ГК в осадочных породах следует, что увеличение содержания в породе глинистых и илистых частиц приводит к повышению радиоактивности.

Повышение радиоактивности глинистых пород объясняется их:

- высокой удельной поверхностью и способностью к адсорбции радиоактивных элементов

- длительностью накопления пелитового материала, обеспечивающего повышение содержания урана и тория в осадке.

- повышенным содержанием калия

- повышенным содержанием органических остатков в глинах.

Показания ГК являются функцией не только радиоактивности и плотности пород, но и условий измерений в скважине (диаметр скважины, уд. вес ПЖ, и др.)

Влияние скважины на показания ГК проявляются в повышении интенсивности гамма-излучения за счёт естественной радиоактивности: колонны, ПЖ, цемента и в ослаблении гамма-излучения горных пород из-за поглощения их: колонной, ПЖ, цементом

В связи с преобладающим значением второго процесса влияние скважины сказывается главным образом в поглощении гамма-излучения горных пород. Это приводит к тому, что при выходе прибора из ПЖ показания ГК возрастают. Также при выходе из обсаженной части, т.е. из колонны и из цемента.

Содержание радиоактивных элементов ряда U – Ra, ряда Th, а также нестабильного изотопа калия K в различных породах неодинаково. Из осадочных пород наибольшим общим содержанием характеризуются тонкодисперсные глубоководные илы, глины, аргиллиты, минералы, в состав которых входит K (калиевые полевые шпаты, калийные соли). Минимальное содержание радиоактивных веществ отмечается в натриевой соли (галите), ангидрите, гипсе, известняке, крупнозернистом кварцевом песчанике и доломите. Присутствие в известняке, кварцевом песчанике и доломите глинистого материала ведёт к повышению радиоактивности. На этом основано использование результатов ГК для определения глинистости пород. Исходными данными для получения зависимостей регистрируемых значений ГК от глинистости  $C_{gl}$  служат результаты лабораторных исследований глинистости и радиоактивности керн.

Повышенная радиоактивность обломочных пород может быть обусловлена не только глинистостью и присутствием обломков радиоактивных минералов, но и адсорбцией ионов урана, калия и соединений урана и тория на поверхности частиц и, следовательно, большой удельной поверхностью пелитовых и алевроитовых кварцевых частиц, входящих в скелет песчаных пород.

Максимальной радиоактивностью характеризуются глины, минимальной – кислые кварцевые песчаники. Полимиктовые песчаники даже при малой глинистости обладают значительной радиоактивностью, поскольку у них часть зёрен скелетной фракции представлена калийсодержащими минералами – полевым шпатом, глауканитом, микроклином. Низкой радиоактивностью характеризуется большинство хемогенных пород, за исключением калийных солей. Радиоактивность природной нефти обычно низкая. Высокую радиоактивность благодаря содержанию в них урана имеют природные битумы и битуминозные породы. Радиоактивность карбонатных пород, как правило, низкая. Повышенная радиоактивность карбонатных пород обусловлена вторичными процессами, связанными с доломитизацией отложений.

Таким образом, связь естественной радиоактивности с глинистостью в общем случае неоднозначна, однако в конкретных условиях влияние остальных факторов может быть относительно небольшим.

Регистрируемое излучение  $I_{\text{жк}}$  представляет собой сумму излучений пласта, промывочной жидкости и собственного фона прибора. Практические кривые гамма-активности существенно отличаются от теоретических или расчётных кривых двумя особенностями:

- иззубренностью кривой, которая вызвана статистическими флуктуациями
- влиянием инерционности регистрирующей аппаратуры, связанной с наличием в измерительном канале интегрирующей ячейки, которая характеризуется постоянной времени  $\tau = RC$ . Постоянная времени  $\tau$  выбирается при записи диаграмм  $I_{\gamma}$  с таким расчётом, чтобы дорожка статистических флуктуаций была наименьшей, а скорость регистрации наибольшей. По форме диаграмма ГК (и других радиоактивных методов) заметно отличается от теоретической. Поскольку регистрация диаграммы ведётся снизу вверх, аномалия за счёт инерционности интегрирующей ячейки при большой скорости подъёма прибора  $v$  либо при большом значении  $\tau$  медленно нарастает против подошвы пласта высокой активности и медленно спадает выше его кровли. При большой скорости  $v$  либо большом значении  $\tau$  (при увеличении  $v\tau$ ) аномалия становится ассиметричной, максимум смещается вверх, располагаясь в кровле пласта. Чем выше  $v\tau$ , тем больше понижается  $\Delta I_{\gamma}$  по сравнению с  $\Delta I_{\gamma\infty}$  и увеличивается ширина аномалии  $h_{\phi}$  по сравнению с истинной толщиной  $h$  пласта. Такое снижение аномалии ухудшает характер диаграммы. Вместе с тем при увеличении  $\tau$  уменьшается ширина дорожки статистических флуктуаций, что улучшает форму кривой  $I_{\gamma}$ . При радиоактивном каротаже обычно регистрируется скорость счета гамма-квантов, т. е. количество импульсов в минуту (имп/мин). В процессе измерения скорости счета наблюдается явление статистической флуктуации, представляющее собой непрерывное, беспорядочное колебание интенсивности излучения около его средней величины в одних и тех же условиях. Флуктуации вносят погрешность в измерения. Для уменьшения погрешностей принимают меры к увеличению числа регистрируемых импульсов. С этой целью в регистрирующих схемах используют высокоэффективные детекторы гамма-излучения либо увеличивают их количество (разрядные счетчики), а также ограничивают скорость записи.

При проведении ГГК в скважину опускается прибор, состоящий из источника и детектора гамма-излучения, разделенных свинцовым экраном. Экраном поглощаются те кванты, которые распространяются по прямой линии от источника до детектора. Гамма-кванты, проникающие в породу, рассеиваются на электронах, входящих в состав атомов пород, часть из них после нескольких актов рассеяния попадает в детектор и регистрируется.

Чем больше плотность пород, тем меньше гамма-квантов приходит в детектор.

Плотность горных пород в разрезах нефтяных и газовых скважин изменяется от 2 до 3 г/см<sup>3</sup>, а плотность ПЖ от 1 до 1,5 г/см<sup>3</sup>, следовательно, большинство гамма-квантов будет стремиться пройти по стволу скважины. Поэтому источник и детектор обычно прижимается к стенке скважины и экранируется от скважины свинцом.

Следовательно, на диаграмме против пластов, представленных плотными породами наблюдается min кривой ГГК, против пластов, представленных породами малой плотности –max ГГК.

При селективном ГГК (ГГК-С) применяется источник гамма-излучения малой энергии и индикатор, рассчитанный на регистрацию мягкой компоненты (с энергией менее 200кэВ)

Величина мягкой компоненты зависит не только от рассеяния гамма-квант, но и в значительно большей степени от их поглощения (фотоэлектрического эффекта)

Поглощающие свойства среды в основном зависят от содержания в единице объёма атомов с большим атомным номером (тяжелых элементов). Увеличение их содержания приводит к усилению поглощения и снижению величины мягкой компоненты, а, следовательно, и измеряемого излучения.

ГГК-С обеспечивает высокую чувствительность к присутствию примесей элементов с высокими атомными номерами (вольфрам, свинец, ртуть и т. д.).

Основным недостатком измерительных установок является искажение результатов, возникающее при наличии между прибором и стенкой скважины промежуточной среды, например, гл. корки или слоя ПЖ в кавернах. Погрешность возрастает с уменьшением длины зонда.

Сильное влияние промежуточного слоя объясняется малой глубиной ГТК. При  $L_z = 30$  см -- 90% регистрируемого излучения поступает от слоя пород толщиной 10 – 12 см, а при  $L_z = 12 - 15$  см -- от слоя 6 – 7 см.

Для исключения влияния промежуточной среды на практике используют измерительные установки с двумя зондами ГТК относительно большой и малой длины.

Скважинные приборы снабжены прижимным устройством и специальными экранами. Система пружинных рессор или шарнирно соединительных рычагов прижимает прибор стороной, на которой расположены источник и индикатор, к стенке скважины; с противоположной стороны в приборе помещены экраны, защищающие индикатор от гамма-излучения, рассеянного буровым раствором. Применяются также экраны с каналами (коллиматоры), направляющими рассеянное породой излучение на индикатор.

Для исследования необсаженных нефтяных и газовых скважин применяются двухзондовые приборы с автоматической обработкой измерений. Использование двух зондов размерами 15 – 40 см с прижимным устройством позволяет практически полностью исключить влияние скважины, как среды, сильно отличающейся от изучаемых пород по плотности. Такое устройство прибора не снимает влияние промежуточного слоя низкой плотности – глинистой корки, которое на зондах, больших 10 см, приводит к увеличению рассеянного  $\gamma$ -излучения. Наличие в приборе двух зондов исключает этот эффект.

Характер зависимостей показаний нейтронного гамма-метода от пористости имеет ряд особенностей, которые определяют целесообразные границы применения метода:

- 1) показания метода наиболее чувствительны к изменению водородосодержания в пластах низкой и средней пористости и менее чувствительны в высокопористых отложениях;
- 2) на показания метода практически не оказывает влияние распределение водорода и, следовательно, строение порового пространства;
- 3) значительное влияние оказывает гигроскопически связанная и кристаллизационная вода.

В результате этого нейтронный гамма-метод целесообразно использовать для вычисления пористости карбонатных отложений, которые характеризуются сложным строением порового пространства и средними или низкими значениями пористости.

Для вычисления пористости терригенных отложений нейтронные методы используются реже, так как для них характерны высокие значения  $k_n$  и большое содержание связанной воды.

Стационарные нейтронные методы в комплексе с гамма-каротажом и другими геофизическими методами дают возможность выделять в разрезе глины, плотные породы и участки повышенной пористости. Если поры чистой породы заполнены пресной водой или нефтью, нейтронный каротаж характеризует емкость этих пор. В сочетании с ГТК-Н нейтронные методы используются для выявления газонасыщенности зон (характерное влияние газа на показания ГТК-П и НК улучшает выделение газоносных пород).

### **Вопросы и задания:**

#### ***Методика и порядок выполнения задания***

1. Определить границы дорожки флуктуаций на диаграмме РК (предоставляется преподавателем);
2. Выявить аномалии на диаграмме РК;
3. Определить границы пласта;
4. Выделить возможные реперы.

### **Содержание отчета и его форма**

По результатам самостоятельных определений составляется краткий отчет.

Результаты свести в табл. 1.

### **Контрольные вопросы:**

1. Известные методы РК?
2. Почему возникают статические флуктуации?
3. Можно уменьшить величину флуктуаций?
4. Как отбить границы пласта?
5. Форма кривой против пласта?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2**

### **Тема: УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДЕТЕКТОРОВ РАДИОАКТИВНОГО КАРОТАЖА**

#### **Цель работы:**

- Закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях
- Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы детекторов радиоактивного излучения;
- Изучение характеристики различных типов детекторов радиоактивного излучения

#### **Формирование компетенций ПК-2, ПК-3, ПК-12**

##### **1. Теоретическое обоснование:**

Детектором радиоактивного излучения является чувствительный элемент средств измерения, предназначенный для преобразования энергии ионизирующего излучения в другой вид энергии, удобный для передачи на расстояние, измерения и регистрации. В практике геолого-поисковых работ используются главным образом газоразрядные и сцинтилляционные детекторы гамма – излучения и нейтронов.

##### **1.1 Газоразрядные детекторы**

Газоразрядные детекторы (рис.1.1) представляют собой стеклянный или

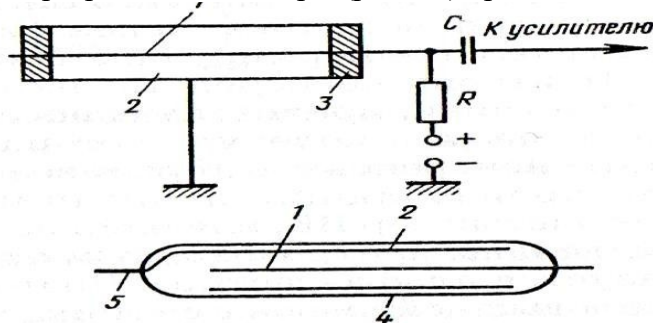


Рисунок 1.1- Газоразрядный детектор

металлический баллон, по оси которого натянута тонкая металлическая проволочка. На внутренней поверхности баллона, заполненного под низким давлением смесью инертных газов и паров высокомолекулярного соединения, нанесен тонкий слой металла (серебро, вольфрам, медь и т.д.). Металлизированная поверхность (катод) и нить (анод) подключаются к источнику постоянного тока высокого напряжения.

Работа газоразрядные детекторы основывается, с одной стороны, на явлениях взаимодействия гамма-излучения с веществом стенок баллона и, с другой стороны, на явлении электропроводности газов.

##### **1.2 Методика регистрации гамма-квантов газоразрядным детектором**

Счетчики для регистрации гамма-квантов заполняются смесью инертного с парами высокомолекулярных органических соединений или с галогенами. При взаимодействии гамма-излучения с катодом из него выбивается электрон. Электрон, попадающий в заполненный газ объем счетчика, осуществляет ионизацию газа (рис.1.2 участок БВ), т.е., в свою очередь, вырывает электроны из атомов газа, превращая их в положительно заряженные ионы. Эти электроны называются первичными.

Если к электродам детектора приложить некую разность потенциалов  $\Delta U$ , между электродами возникает движение ионов – электрический ток. Зависимость силы тока  $I$  от приложенной разности потенциалов называется вольтамперной характеристикой (рис.1.2).

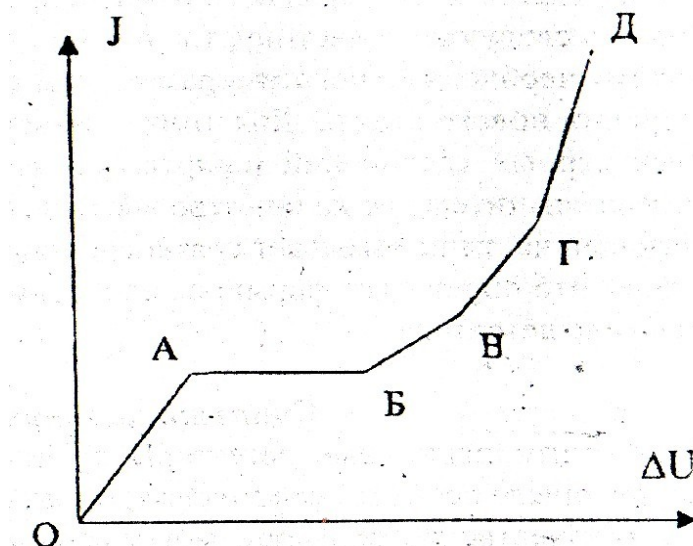


Рисунок 1.2 – Вольтамперная характеристика газоразрядного детектора

Первичные электроны, ускоренные электрическим полем, по пути к аноду вызывают вторичную ионизацию и т. д. В результате число электронов лавинообразно возрастает (рис.1.2 участок ВГ), превышая число первичных электронов в тысячи и сотни тысяч раз – в счетчике возникает разряд (рис.1.2 участок ГД). Общее число электронов, возникающих при разряде, увеличивается с ростом напряжения, приложенного к счетчику. При относительно небольшом напряжении общее число электронов оказывается пропорциональным числу первичных электронов, а следовательно, энергии ядерной частицы, регистрируемой детектором. Поэтому детекторы, работающие в таком режиме, называются пропорциональными. При большом напряжении между катодом и анодом общее число электронов перестает зависеть от числа первичных электронов и от энергии регистрируемой частицы. Такие детекторы называются счетчиками Гейгера-Мюллера. Для регистрации гамма-квантов в радиометрии скважин используются газоразрядные детекторы, работающие на участке ВГ (рис.1.2), не чувствительные к энергии регистрируемых частиц. Следует отметить, что в этой области вольтамперной характеристики напряжение на электродах не так велико, чтобы происходил самостоятельный разряд. Необходим внешний «толчок» – воздействие ионизатора (гамма-кванта), создающего хотя бы одну пару ионов, из которых развивается лавина ионов – начало непрерывного разряда. Разряд в счетчике прекращается после того, как электроны захватываются нитью счетчика, а положительные ионы при движении к катоду нейтрализуются, реагируя с молекулами высокомолекулярного соединения. Период перемещения положительно заряженных ионов от анода к катоду и их нейтрализация характеризуется так называемым «мертвым» временем  $\tau_m$ , в течение которого другие частицы, попадающие в объем счетчика, не регистрируются. По истечении времени  $\tau_m$  счетчик полностью восстанавливает свои свойства. Обычно  $\tau_m < \tau_p$ , поэтому  $\tau_m$  не вносит погрешности в результаты измерений.

### 1.3 Эффективность газоразрядных счетчиков

Эффективность счетчиков характеризуется отношением числа зарегистрированных частиц к общему числу частиц, прошедших через объем счетчика за то же самое время. Для газоразрядных счетчиков эффективность обычно составляет не более 2 – 3% и зависит от энергии регистрируемых частиц и материала катода. Для повышения эффективности газоразрядные счетчики группируют: устанавливают до шести газоразрядных счетчиков, включенных в две пачки по три счетчика параллельно. Одно из основных преимуществ газоразрядных счетчиков – стабильность их работы в широком диапазоне температур: от – 50 до 300°С.

#### 1.4 Сцинтилляционные детекторы

Сцинтилляционный детектор состоит из сцинтиллятора (люминофора), сопряженного с фотоэлектронным умножителем (ФЭУ) (рис.1.3)

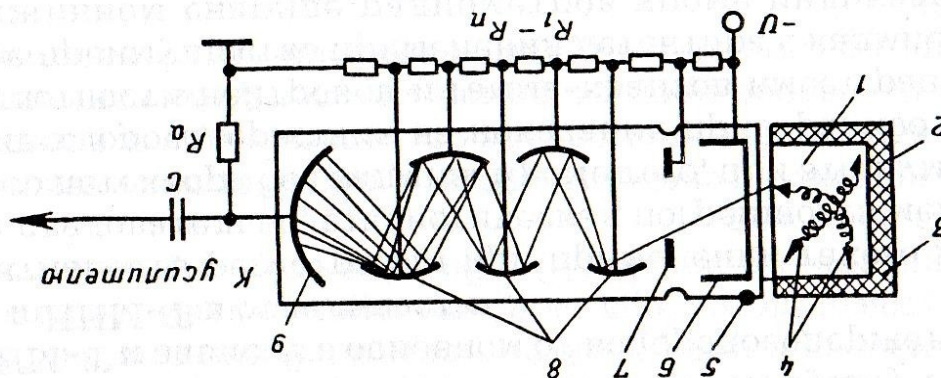


Рисунок 1.3 – Сцинтилляционный детектор

1 – сцинтиллятор; 2 - корпус; 3 – отражатель; 4 – фотон; 5 – корпус ФЭУ; 6 – фотокатод; 7 – фокусирующий электрод; 8 – диноды; 9 – собирающий электрод (анод);  $R_1 - R_n$  – делитель напряжения

#### 1.5 Методика регистрации в сцинтилляционном детекторе

В сцинтилляционном детекторе регистрация частицы происходит за счет возбуждения атомов и молекул сцинтиллятора при попадании в него  $\gamma$ -кванта. Возбужденные атомы через некоторое время переходят в основное устойчивое состояние, испуская электромагнитное излучение, часть которого лежит в световой области. Кванты света, попадая на фотокатод ФЭУ, выбивают из него электроны. Электроны ускоряются электрическим полем и через диафрагму (фокусирующий электрод) 7 фокусируются на первый динод ФЭУ. В дальнейшем на каждом из последующих динодов, между которыми сохраняется определенная разность потенциалов, наблюдается явление вторичной электронной эмиссии, в результате чего происходит скачкообразное увеличение числа электронов. Следовательно, на аноде ФЭУ от одной световой вспышки возникает значительный импульс тока.

#### 1.6 Эффективность сцинтилляционных счетчиков

По сравнению с газоразрядными сцинтилляционные детекторы имеют гораздо большую эффективность 30 – 50% и позволяют изучать спектральный состав  $\gamma$ -излучения. К основным недостаткам сцинтилляционных детекторов относят большое влияние изменения окружающей температуры на их счетную характеристику. В связи с этим сцинтилляционные детекторы обычно термостатируют с помощью сосудов Дьюара.

#### 1.7 Счетчики для регистрации нейтронов

Нейтроны не обладают электрическим зарядом, не могут непосредственно ионизировать вещество в рабочем объеме детектора. Поэтому счетчики, предназначенные для регистрации нейтронов, заполняют газом, в молекулу которого входит вещество, при взаимодействии нейтронов с которым возникают быстрые заряженные частицы, производящие ионизацию. Таким веществом является газ фтористый бор  $\text{BF}_3$  или один из изотопов гелия  $^3\text{He}$ . При поглощении медленных нейтронов ядром изотопа  $^{10}\text{B}$  образуется альфа-частица. Поэтому при попадании тепловых и надтепловых нейтронов в счетчик,

заполненный соединением бора, возникают альфа-частицы, вызывающие разряд в газовом объеме счетчика и импульс напряжения на его выходе. При захвате нейтронов ядром  $^3\text{He}$  возникает быстрый протон.

Счетчики нейтронов работают в пропорциональном режиме, что позволяет исключить импульсы от гамма-квантов, которые имеют гораздо меньшую величину, чем импульсы от альфа-частиц, или протонов.

В комплект скважинного прибора может входить до семи сменных детекторов излучения: для проведения измерений гамма-методом (ГК) – монокристалл иодистого натрия и ФЭУ; НГК – газонаполненный счетчик Гейгера-Мюллера (типа СИ-23Г) или кристалл иодистого натрия с ФЭУ; ННК по тепловым нейтронам – сцинтиллятор и ФЭУ; ГК - монокристалл иодистого натрия и ФЭУ.

В качестве детекторов надтепловых нейтронов обычно применяют детекторы медленных нейтронов, окруженные кадмиевой фольгой, обладающей высоким сечением поглощения тепловых нейтронов.

## **2. Аппаратура, оборудование и материалы**

Детекторы радиоактивного излучения.

## **3. Указания по технике безопасности**

1. Перед включением ПЭВМ пользователь должен проверить:
  - отсутствие посторонних предметов на клавиатуре;
  - нет ли влаги на клавиатуре.
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.

## **4. Порядок выполнения работы**

### **4.1 Задание к практическому занятию**

- Изучить устройство и принцип работы газоразрядного детектора;
- Изучить устройство и принцип работы сцинтилляционного детектора;
- Изучить вольтамперные характеристики детекторов.

### **4.2 Содержание, форма и правила оформления отчета по практической работе**

Каждый студент, выполнивший практическое задание, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

- Название и цель работы.
- Принципы и схемы измерения интенсивности естественной и искусственной радиоактивности в скважине?
- Вольтамперную характеристику детектора.
- Таблицы экспериментальных и расчетных данных.
- Выводы по результатам работы, в которых должна быть дана оценка исследуемых явлений, подтверждение в выполнении законов, объяснение характера кривых.

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

## 5. Контрольные вопросы

1. Расположите следующие названия горных пород в порядке возрастания их радиоактивности: чистые каменные соли, глинистые известняки, кварцевые пески средней глинистости, чистые известняки, глинистые и полевошпатовые песчаники, глины.
2. В каких областях энергии гамма-квантов преобладают различные виды взаимодействия гамма-квантов с горными породами?
3. На регистрации каких видов излучений основаны основные методы радиометрии скважин – ГК, НГК, ННК, ГГК?
4. Как определить эффективность детектора?
5. Что такое «мертвое время» детектора?
6. Как определить эффективность детектора?
7. От чего зависит эффективность детектора?
8. Чем отличаются детекторы надтепловых нейтронов от детекторов тепловых нейтронов?
8. В чем различие детекторов гамма-квантов и нейтронов?

## Лабораторная работа № 3

### Тема: ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА НЕЙТРОНОВ

#### Цель работы:

- Закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях
- Ознакомление с назначением, устройством и принципом генератора нейтронов;

#### Формирование компетенций ПК-2, ПК-3, ПК-12.

#### 1. Теоретическое обоснование:

В качестве источников нейтронов в скважинной аппаратуре используют ампульные (радиоизотопные) источники, а также скважинные генераторы нейтронов на базе линейных ускорителей.

*Ампульный радиоизотопный источник нейтронов* представляет собой обычно смесь или сплав  $\alpha$ -излучателя с бериллием или бором. При бомбардировке Be или B  $\alpha$ -частицами происходит реакция  $(\alpha, n)$ , например  ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^{12}\text{C}$  ;  ${}^{11}\text{B}(\alpha, n){}^{14}\text{N}$ . Спектр нейтронов для этих реакций сплошной (рис. 15) в первую очередь за счет потери части энергии  $\alpha$ -частиц на ионизацию в веществе самого источника.

#### 1.1 Физические основы

При импульсном нейтронном методе (ИНМ) применяют импульсный источник, испускающий быстрые нейтроны периодически с частотой  $1\text{—}10^3$  Гц в течение коротких интервалов времени

$$\Delta t_{\text{и}} = 1\text{—}102 \text{ мкс}$$

Важнейший блок скважинного прибора—генератор нейтронов *ГН*, состоит из источника высокого напряжения *ИВН*, ускорительной нейтронной трубки *НТ* и блока управления *БУ*. Ускорительная (нейтронная) трубка является основной частью генератора нейтронов. Работа источника высокого напряжения в импульсном режиме обеспечивается подачей импульса положительного напряжения на анод ионного источника *НТ*. Лишь в течение времени действия этого импульса происходит образование ионов дейтерия, а следовательно, и нейтронов. Управляющая схема *БУ* обеспечивает подачу импульсов заданной длительности ( $1\text{—}10^2$  мкс) через определенные (2500 мкс) интервалы времени. Выход нейтронов составляет обычно  $10^7\text{—}10^8 \text{ с}^{-1}$ . Расход дейтерия восполняется из

хранилища, представляющего собой титановую проволоку, насыщенную дейтерием. Для выделения сорбированного дейтерия из хранилища последний нагревается электрическим током.

*Скважинные генераторы нейтронов* представляют собой линейные ускорители дейтонов. Нейтроны возникают при бомбардировке дейтонами мишеней, содержащих дейтерий, тритий или бериллий. Наибольший выход нейтронов (с энергией 14 МэВ) дает реакция  $^3(d, n) ^3\text{He}$ . Дейтоны обычно ускоряют нейтроны до 100—200 кэВ. Реакция  $^2\text{H}(d, n)^3\text{He}$  дает нейтроны с энергией 2,5 МэВ, причем выход нейтронов почти на два порядка ниже, чем для реакции в тритиевой мишени.

Основными частями скважинного генератора нейтронов являются источник ионов, ускорительная трубка и источник высокого напряжения. Ускорительная трубка представляет собой стеклянный баллон 4, заполненный дейтерием, под давлением  $(3—5) \cdot 10^{-2}$  Па. Внутри трубки расположены, высоковольтный электрод 7 с титановой мишенью 7, насыщенный  $^3\text{H}$  активностью 37ГБк. Электроны, эмитируемые катодом 6 ионного источника, ускоряются разностью потенциалов в несколько сотен вольт, приложенной между катодом и анодом 2 ионного источника, и производят ионизацию дейтерия, заполняющего трубку. Для удлинения пути электронов и усиления их ионизирующего действия на трубку надета катушка 3, создающая продольное магнитное поле. Под совместным действием продольного магнитного и электрического полей электроны движутся по спиралям. Образовавшиеся ионы дейтерия притягиваются мишенью, находящейся под высоким ( $\sim 10^5$  В) отрицательным напряжением. При бомбардировке ими ядер  $^3\text{H}$ , сорбированного в мишени, генерируются нейтроны. Подавая импульсное напряжение на анод ионного источника, получают импульсные потоки нейтронов. Титановая проволока 5 служит хранилищем дейтерия. В настоящее время разработана серия нейтронных трубок (НТ-10, НТ-16, НТ-21 и др.) для скважинных генераторов с выходом нейтронов  $10^8—10^9 \text{ с}^{-1}$ .

Нейтронные трубки серии АРЕВ имеют относительно небольшую длину (рис. 2.1, 2.2).

Для них были разработаны блоки формирования высоких напряжений (БФВН) и алгоритмы поддержания стабильности работы (АПСР) на различных частотах генерации нейтронов, нейтронных выходах и температурах окружающей среды. В силу того, что оба типа нейтронных трубок имеют одинаковую конструкцию ионного источника, БФВН и АПСР для них принципиально ничем не отличаются.

Блок-схема включения нейтронной трубки приведена на рис.2.3

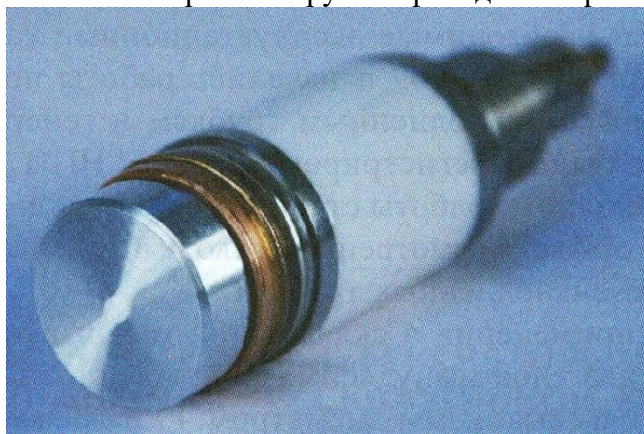


Рисунок 2.1 – Внешний вид трубки АРЕВ-40

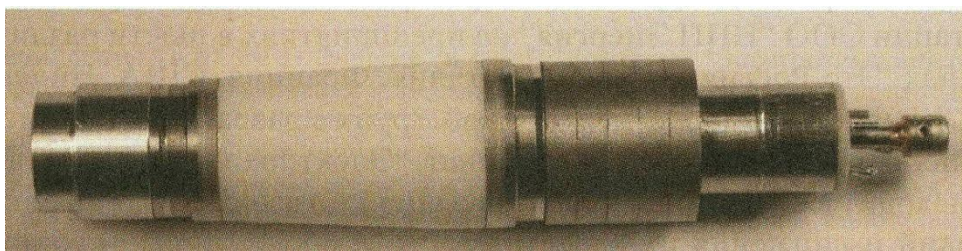


Рисунок 2.2 – Внешний вид трубки АРЕВ-28

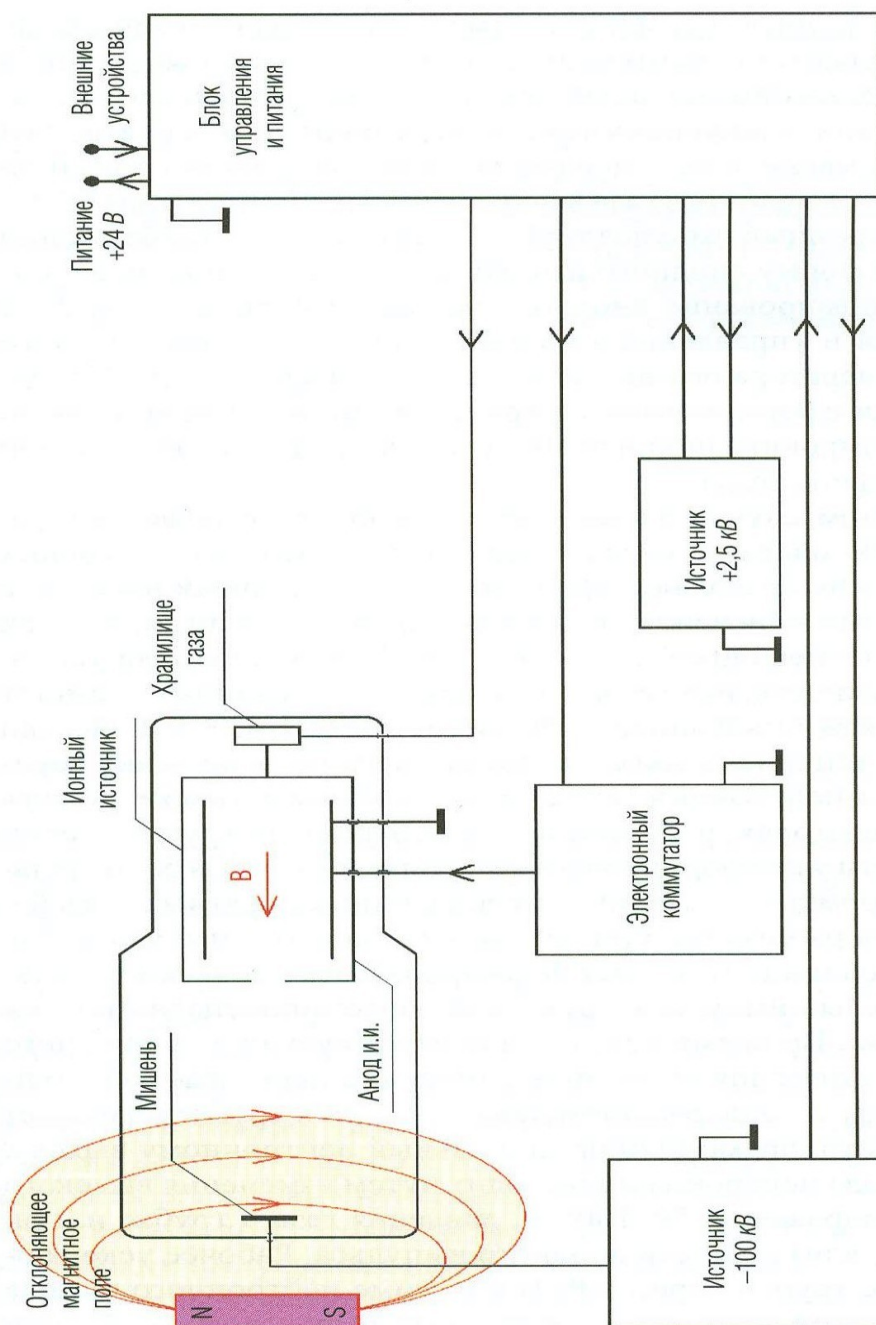


Рисунок 2.3 – Блок-схема включения трубки

Генераторы, изготовленные на основании нейтронных трубок типа АРЕВ получили коммерческое название –многофункциональный нейтронный генератор (МФНГ). На рис. 2.4 показаны временные спектры, регистрируемые в интегральных каналах аппаратуры

углеродно-кислородного каротажа типа АИМС. Форма нейтронной вспышки генератора МФНГ (рис. 2.4,б) по своим характеристикам выгодно отличаются от формы нейтронного импульса, генерируемого схемой с анодным трансформатором (рис. 2.4,а).

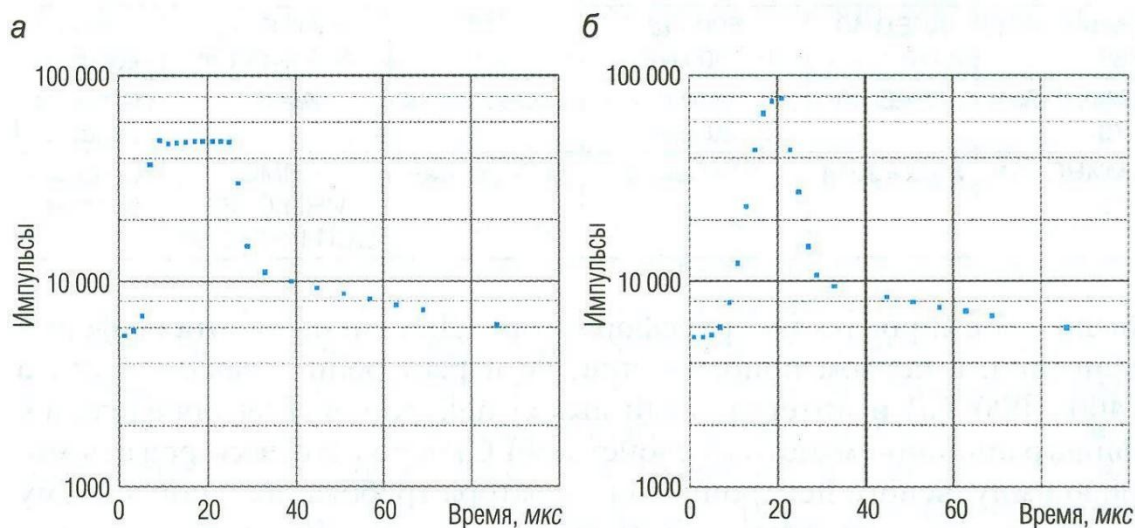


Рисунок 2.4 – Временные спектры в интегральных каналах аппаратуры АИМС: а – форма нейтронного импульса, генерируемая схемой с анодным трансформатором; б - форма нейтронной вспышки МФНГ

В табл.2.1 приведены основные данные по изготавливаемым нейтронным генераторам и их применению. Это достаточно условная таблица, так как все типы генераторов могут работать в широком диапазоне частот скважностей. Если не брать во внимание надежность и ресурс, такие геологические задачи, как С/О-каротаж и сигма-каротаж (каротаж измерения макроскопического сечения поглощения тепловых нейтронов горных пород) достаточно успешно выполнялись до настоящего времени и с помощью существующих российских импульсных нейтронных генераторов.

Первое было возможно благодаря относительно короткому нейтронному импульсу для С/О-каротажа (10 – 20 мкс), который можно было сформировать на трансформаторе. Для сигма-каротажа форма вспышки,

Таблица 2.1 – основные характеристики генераторов нейтронов

| Название генератора, диаметр, мм | Тип нейтронной трубки | Основной режим работы: частота/скважность | Решаемая геологическая задача              | Тип скважинной аппаратуры    | Состояние разработки |
|----------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|----------------------|
| МФНГ-341, 34                     | АРЕВ-28               | 500 Гц/<br>400 мкс                        | Определение ФЕС коллекторов, сигма-каротаж | ПИЛК-42                      | Опробование          |
| МФНГ-411, 41                     | АРЕВ-28               | 500 Гц/<br>400 мкс                        |                                            | ПИЛК-MWD                     | Разработка           |
| МФНГ-601, 60                     | АРЕВ-40               | 500 Гц/<br>400 мкс                        |                                            | ПИЛК-76, АПРК-ПИЛК           | На производстве      |
| МФНГ-701, 70                     | АРЕВ-40               | 10 кГц/<br>20 мкс                         | С/О-каротаж                                | АИМС                         | На производстве      |
| МИНГ-701, 70                     | Ж83-Р2044             | 10 кГц/мкс                                | С/О-каротаж                                | АИМС, ИНГКС-95, ЦСП-ИНГКС-90 | На производстве      |

в первом приближении, не играет роли – важны частота (400-1000 Гц) и интегральный выход нейтронов. Для определения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пород-коллекторов с помощью импульсного нейтронного генератора требования к последнему существенно повышаются и выпускаемые серийно отечественные импульсные генераторы их не обеспечивали.

Метод определения ФЕС пластов-коллекторов получил название ИНК-Л (импульсный нейтронный каротаж литологический). Метод базируется на тесной

корреляционной связи между количеством связанной воды и количеством сорбированных в коллекторе элементов с аномально высокими сечениями поглощения тепловых нейтронов. В первую очередь это Gd, В. При условии, что водород входит только в состав химически и физически связанной воды и подвижного флюида, можно вычислить эффективную пористость коллектора, измеряя общее водородосодержание породы и макросечение поглощения тепловых нейтронов в ней. Соответственно, импульсный нейтронный генератор должен обеспечить такой режим работы, при котором возможно определять как общее водородосодержание, так и макросечение поглощения тепловых нейтронов. Для этого оптимальными являются следующие значения (в качестве регистрирующей рассматривается как минимум двухзондовая нейтронная установка): частота генерации нейтронов 400-600 Гц, длительность нейтронного импульса 400-500 мкс, выход нейтронов должен обеспечить 80-90% от максимально допустимой загрузки регистрирующего тракта во время нейтронного импульса (определяется геометрией регистрирующего зонда скважинного прибора, геологическим разрезом и конструкцией скважины), время между режимами работы нейтронной трубки да/нет не более 1 мкс, неконтролируемое относительное изменение выхода нейтронов во время проведения скважинных исследований не более 7%.

Нейтронные генераторы серии МФНГ полностью укладываются в данный оптимальный режим работы. Диапазон генерируемых частот – до 50 кГц, длительность нейтронного импульса – от 7 мкс до режима непрерывного излучения. Выход нейтронов до  $2 \cdot 10^8$  н/с обеспечивает требования по интегральной нагрузке измерительного тракта практически всех известных зондов скважинной аппаратуры. В настоящий момент генератор МФНГ-601 (рис.2.5) применяется в скважинной аппаратуре ПИЛК-76 для определения ФЕС пластов-коллекторов.



Рисунок 2.5 – Генератор МФНГ-601

Импульсные нейтронные методы позволяют *разделять газоносные пласты от водоносных*, насыщенных минерализованной водой, а при не слишком больших (<30—40 МПа) пластовых давлениях — также от *нефтеносных пластов* и пластов, насыщенных пресной водой. В случае значительного различия значений  $A_n$  для газа и воды возможно количественное определение газонасыщенности.

## 2. Аппаратура, оборудование и материалы

Генераторы нейтронов.

## 3. Указания по технике безопасности

1. Перед включением ПЭВМ пользователь должен проверить:
  - отсутствие посторонних предметов на клавиатуре;
  - нет ли влаги на клавиатуре.
4. Включение ПЭВМ производится на мониторе, а затем на системном блоке.
5. 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.

#### **4. Порядок выполнения работы**

##### **4.1 Задание к практическому занятию**

- Изучить устройство и принцип работы генератора нейтронов;
- Изучить разновидности генераторов нейтронов;

##### **4.2 Содержание, форма и правила оформления отчета по практической работе**

Каждый студент, выполнивший практическое задание, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

- Название и цель работы.
- Принципы и схемы устройства генератора нейтронов?
- Методика проведения исследований при ИНК?
- Выводы по результатам работы, в которых должна быть дана оценка исследуемых явлений, подтверждение в выполнении законов, объяснение характера кривых.

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

#### **5. Контрольные вопросы**

1. Какое назначение генераторов нейтронов?
2. Преимущество генераторов нейтронов перед стационарными и источниками нейтронов?
3. Объясните процесс взаимодействия нейтронов с веществом.
4. Какие параметры пласта-коллектора можно определить по данным НК?

### **Лабораторная работа № 4**

**Тема:** ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА НАСЫЩЕНИЯ ПОРОД ПО ДАННЫМ ЯМК

#### **Цель работы:**

- Закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях
- Ознакомление с назначением, устройством и принципом работы скважинного прибора ЯМК;
- Изучение физических основ ЯМК.

#### **Формирование компетенций ПК-2, ПК-3, ПК-12**

##### **1. Теоретическое обоснование:**

В основе метода ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) лежит изучение взаимодействия ядер атомов и внешних магнитных полей. Их основа – явление ядерно-магнитного резонанса, которое состоит в том, что ядра некоторых элементов, в частности водорода, имеют механический и магнитный моменты, оси которых совпадают. В постоянном магнитном поле Земли магнитные моменты ядер этих элементов стремятся принять направление внешнего поля, чему препятствует тепловое движение молекул. В результате магнитные моменты ядер

прецессируют вокруг направления поля подобно оси вращения

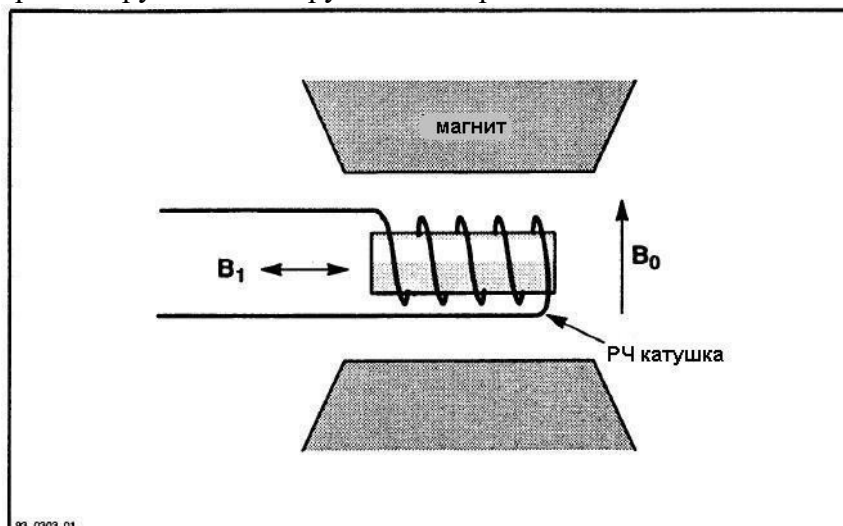


Рисунок 5.1- Основное устройство ядерно-магнитного резонанса

волчка. При воздействии на ядра переменного магнитного поля (наряду с одновременным воздействием постоянного внешнего поля) происходит аномальное поглощение энергии этого поля ядрами элементов, у которых характерная для них частота прецессии совпадает с частотой переменного поля. Это и есть явление ядерно-магнитного резонанса.

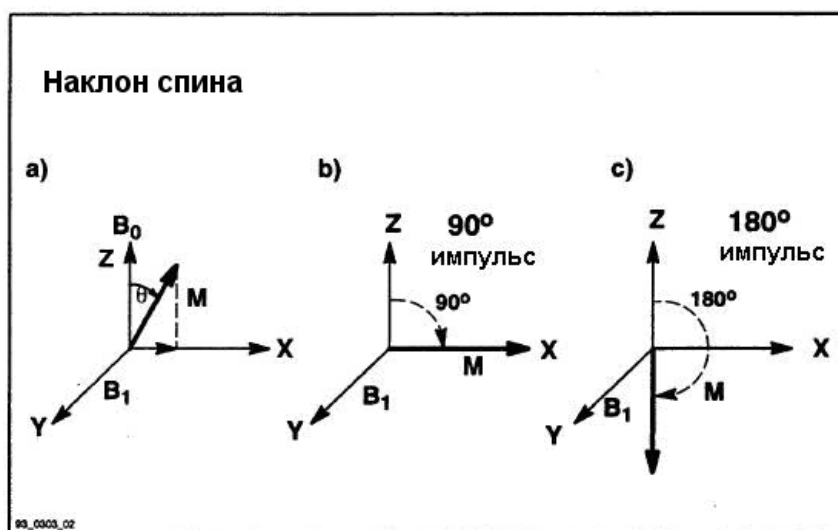


Рисунок 5.2 - Принципы импульсного измерения ЯМР.

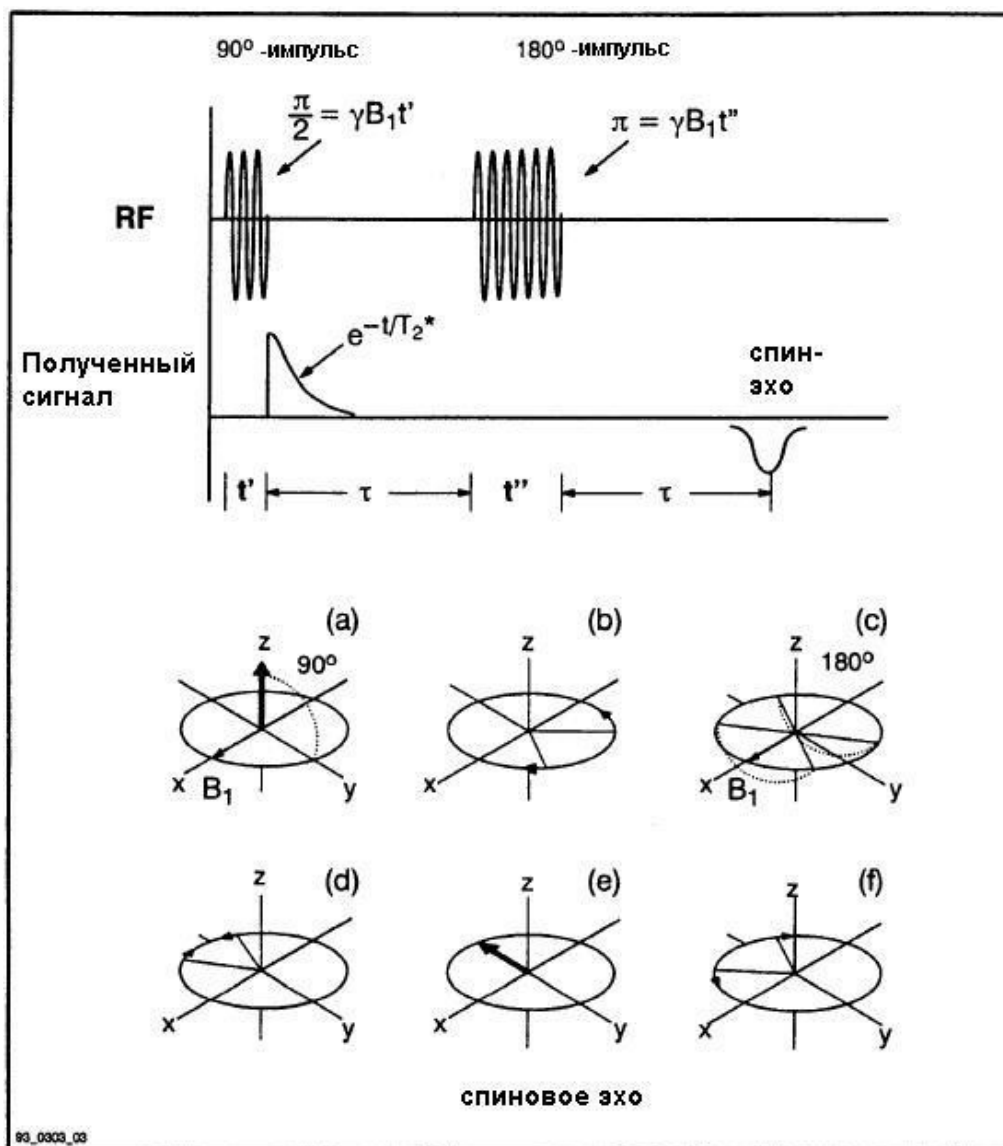


Рисунок 5.3 - Принципы формирования спин-эхо.

**Решаемые задачи:**

- изучение структуры порового пространства осадочных, магматических, метаморфических пород с оценкой распределения пористости по размерам пор и на этой основе определение фильтрационно-емкостных свойств пород, в том числе:
  - коэффициент общей пористости, независимый от литологии пород;
  - коэффициент эффективной пористости (в карбонатах дополнительно – с выделением доли каверновой пористости);
  - коэффициент остаточной водонасыщенности и выделением долей капиллярно-связанной воды и воды глин;
  - коэффициент проницаемости.
- изучение наличия, состава и свойств остаточных флюидов в зоне исследования, в том числе:
  - изучение вертикальной зональности распределения углеводородов по высоте залежи;
  - выделение интервалов с наличием остаточных углеводородов в эффективных порах: свободного газа и нефти с дифференциацией по вязкости преобладающих компонент (легкой, средней, тяжелой, битума);
  - оценка остаточной нефте- и газонасыщенности.

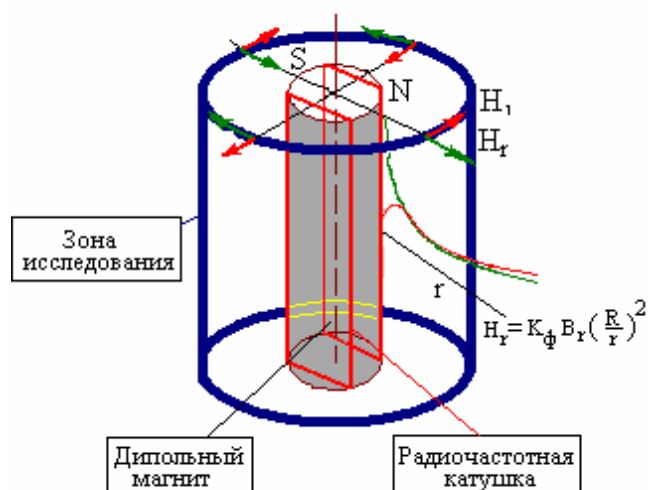


Рисунок 5.4 - Создание в окружающем его пространстве магнитного поля  $H_r$

Зонд прибора ЯМТК с помощью постоянного магнита создает в окружающем его пространстве магнитное поле  $H_r$  (рис.5.4). Это поле, воздействуя на ядра водорода, вызывает намагниченность пластовых флюидов (вода, нефть, газ).

Для возникновения эффекта ядерно- магнитного резонанса зондом формируется импульсное радиочастотное поле  $H_1$ , направленное в каждой точке пространства перпендикулярно постоянному полю  $H_r$ . Частота радиочастотного поля равна частоте прецессии ядер водорода в поле магнита в заданной зоне исследования. Так как равенство этих двух частот соблюдается только в узком цилиндрическом слое, коаксиальном оси зонда, то и сигнал ЯМР формируется только в этом слое.

Для измерения релаксационной кривой  $T_2$  используется последовательность радиоимпульсов Карра-Перселла-Мейбум- Гилла. После каждого  $180^\circ$  импульса возникает сигнал спин-эхо. Релаксационная кривая является огибающей амплитуд сигналов спин- эхо. Импульсная последовательность характеризуется тремя параметрами – временем намагничивания  $T_w$ , временем раздвижки между импульсами  $T_e$ , числом импульсов  $N$ .

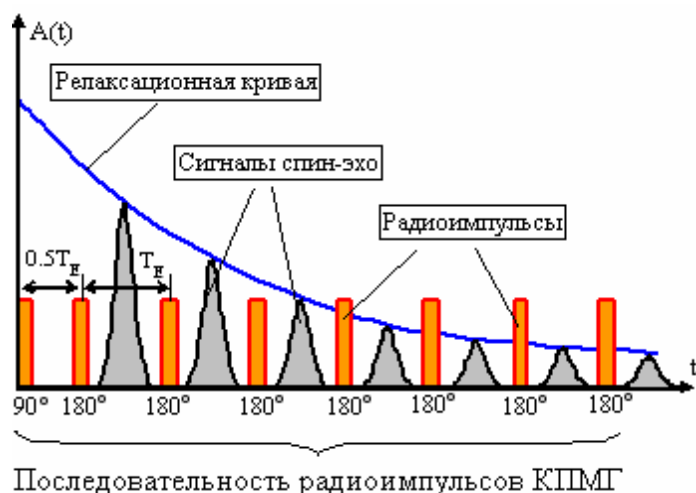


Рисунок 5.5 - Импульсная последовательность радиоимпульсов

В аппаратуре ЯМТК реализовано более 10 режимов измерений с различной комбинацией величин  $T_w$  ( $0.75 \div 8$  с),  $T_e$  ( $0.8 \div 4.8$  мс),  $N$  ( $400 \div 1000$ ).

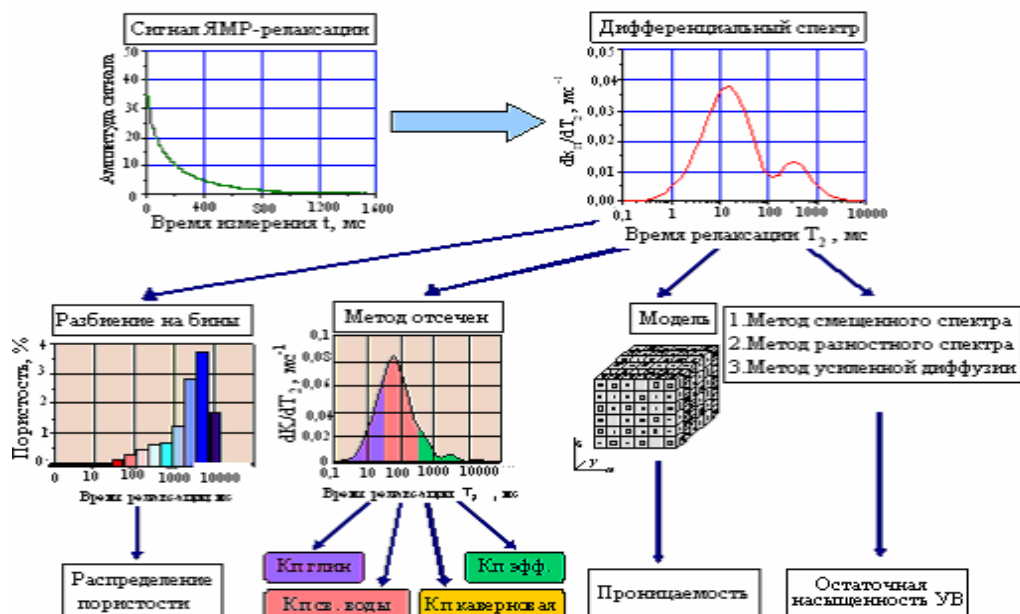


Рисунок 5.6 - Схема обработки данных ЯМТК

Исходной информацией для обработки является зарегистрированная релаксационная кривая, представляющая собой зависимость сигнала ЯМР от времени измерения. Из нее с использованием специальных математических процедур рассчитывается спектр ЯМТК, который представляет собой распределение пористости по времени поперечной релаксации  $K_p(T_2)$  (или  $dK_p/dT_2$  от  $T_2$ ). Так как время релаксации пропорционально размеру

пор, то спектр качественно характеризует и распределение пористости по размерам пор

Распределение пористости по «бинам» отражает пористость, приходящуюся на определенные интервалы времени  $T_2$  (в мс), называемых «бинами». Биновое представление позволяет увидеть соотношение пористости, приходящейся на поры различного размера. Чем больше номер бина, тем больших размеров поры формируют его емкость.

Характеристики емкости ( $K_p$  эфф,  $K_p$  св. воды,  $K_p$  каверновая,  $K_p$  глин) оцениваются путем интегрирования спектра в заданных интервалах времен релаксации, соответствующих группам пор определенных размеров. Капиллярно связанная пористость и пористость глин вместе составляют емкость, заполненную остаточной водой.

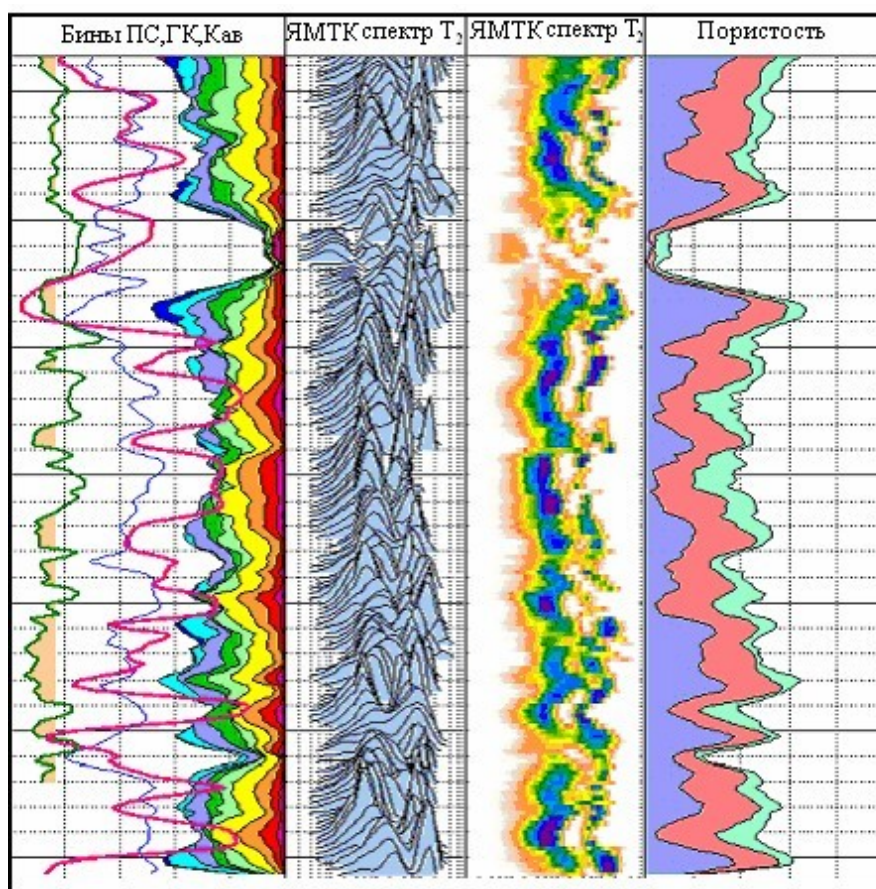


Рисунок 5.7- Пример записи

**Структуру порового пространства** характеризует спектр ЯМТК, отражающий распределение пористости (ось ординат) по времени поперечной релаксации  $T_2$  (ось абсцисс) для каждой точки глубины. На планшете спектры приведены в трех формах представления, облегчающих визуальный анализ:

- стандартной («волновая картина», поле 2);
- в виде цветовой диаграммы («амплитудная картина», поле 3);

- в виде распределения пористости по бинам (поле 1).

Информация спектров позволяет судить об особенностях структуры порового пространства (диапазон изменения размеров пор, преобладание определенных групп пор и др.). Так, биновое представление (поле 1) позволяет увидеть соотношение пористости, приходящейся на поры различного размера – синий цвет характеризует наиболее крупные по размерам поры, красный – мелкие.

**Информация о емкости порового пространства** приведена в поле 4 в виде объемной модели. Найденная емкость подразделяется на эффективную (показана синим цветом), капиллярно-связанную (темно-красный) и пористость глин (зеленый). Полная пористость по ЯМТК соответствует сумме всех выделенных компонент пористости. Она показана как огибающая черная линия.

#### **Определение границ пластов.**

Однородный пласт на кривых ССП выделяется симметричной аномалией с максимумом в середине пласта. Его границы определяются точками перегиба кривой.

Величину  $I_{сф.к}$  определяют на участке максимального отклонения кривой  $U$  в середине пласта, толщина которого больше размера зонда.

#### **Выделение коллекторов и определение их эффективной пористости.**

Величина  $I_{сф.п}$  близка к значению эффективной пористости коллектора  $k_{п.эф}$ , поэтому график  $I_{сф.п}$  рассматривают как диаграмму параметра  $k_{п.эф}$  и определяют его, полагая  $k_{п.эф} = I_{сф.п}$ . Коллекторами считают пласты, в которых  $k_{п.эф} > 1 - 3\%$ , учитывая, что значения  $k_{п.эф} < 1 - 3\%$  могут соответствовать отклонениям кривых  $U$ , обусловленным аппаратными помехами.

В водоносном пласте значение  $k_{п.эф}$  равно значению  $I_{сф.п}$ , в газоносном -  $k_{п.эф} = I_{сф.п} + k_{го} k_{п}$ , где  $k_{го}$  и  $k_{п}$  – соответственно содержание остаточного газа и коэффициент пористости, а в нефтеносном пласте -  $k_{п.эф} = I_{сф.п} + k_{но} k_{п} (1 - I_{са})$ , где  $k_{но}$  и  $I_{са}$  – соответственно коэффициент остаточного нефтенасыщения и индекс снижения амплитуды, равный отношению сигналов от пластового флюида и воды.

## **Лабораторная работа № 5**

### **Тема : ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ГАММА-ГАММА-ПЛОТНОМЕРА. МОДИФИКАЦИИ ПРИБОРА**

#### **Цель работы:**

- Закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях
- Ознакомиться с основными принципами классификации, обозначения и устройства плотномеров.
- Изучение методики определения состава притока;
- Преимущества и недостатки методики определения состава притока по данным гамма-гамма-плотномера;

#### **Формирование компетенций ПК-2, ПК-3, ПК-12**

#### **1. Теоретическое обоснование:**

**Цель работы:** Формирование у студента компетенций ПСК-2.2, ПСК-2.4, ПСК-2.5. Для этого следует ознакомиться с основными принципами классификации, обозначения и устройства плотномеров.

#### **1. Теоретическое обоснование:**

Плотнометрия основана на изучении плотности жидкостей в стволе скважины с помощью гамма-гамма -метода в его селективной модификации по поглощению гамма-квантов. Определение плотности жидкости базируется на зависимости интенсивности

рассеянного гамма-излучения от эффективного атомного номера изучаемой среды, состоящей из различных химических элементов. При ограничении энергии излучения сверху величиной 1 МэВ, а снизу — величиной, при которой комптон-эффект в среде на два порядка больше фотоэффекта, результаты измерений гамма-гамма-методом отражают плотностную характеристику среды.

Разработаны два способа определения плотности флюида по изменению интенсивности гамма-излучения после прохождения гамма-квантов через слой жидкости, находящейся между источником и детектором гамма-излучения,— ГГК-П и по рассеянию гамма-квантов окружающей прибор жидкостью - ГГК-Р.

## 2. Аппаратура, оборудование и материалы

Из методов для изучения состава смеси плотнометрия является наиболее предпочтительным и используется для решения следующих вопросов контроля эксплуатации площади:

а) с другими промыслово-геофизическими методами — выявление интервалов и источников обводнения

б) в комплексе с методами дебитометрии и термометрии — выявление интервалов притока в скважину воды и газа при оценке эксплуатационных характеристик пласта

в) при изучении технического состояния скважины — исследование состояния забоя скважины и др.

Модификация ГГК-П позволяет изучать плотность смеси между источником и детектором, а с помощью ГГК-Р получают среднюю плотность смеси по всему сечению колонны.

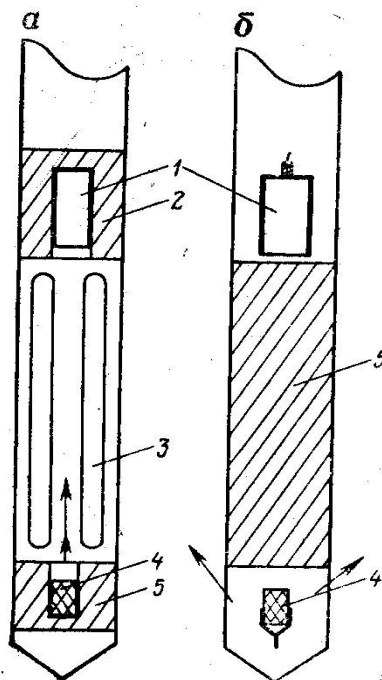


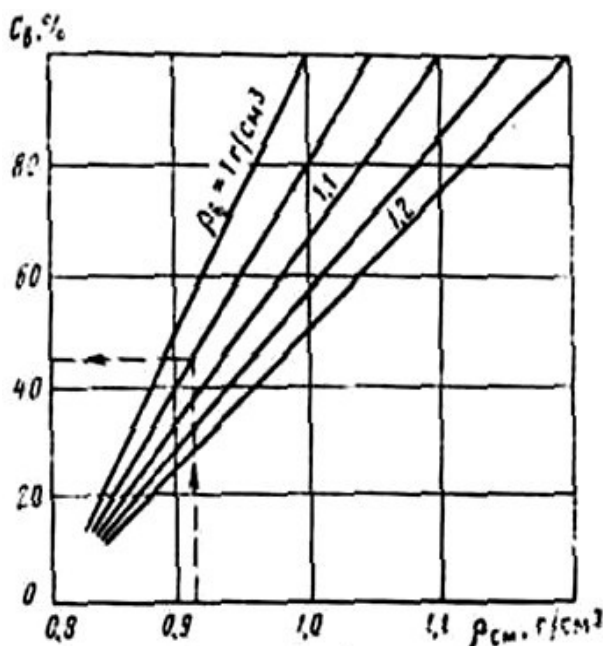
Рисунок 6.1- Схема конструкции зондовой части гамма-плотнометра

а — для ГГК-П; б- для ГГК-Р; 1-датчик, 2-экран на датчике, 3-фонарь, 4-источник гамма-квантов, 5-экран на источнике; стрелками показано направление распространения гамма-квантов.

Зонд прибора ГГК-П содержит источник гамма-излучения и расположенный от него на расстоянии 0,3—0,4 м индикатор гамма-лучей, прошедших через слой исследуемой жидкости. Зонд помещен в свинцовые экраны с коллимационными отверстиями, находящимися на одной оси и направленными навстречу друг другу. Пространство между коллимационными отверстиями свободно промывается исследуемой жидкостью. Интенсивность источника выбрана такой, чтобы свести к минимуму влияние стенок скважины. В качестве источника мягкого гамма-излучения применяется тулий-170 с энергией  $341,6 \cdot 10^{-16}$  Дж, Скорость записи кривой прибором ГГК-П составляет 5—100 м/ч.

Рисунок 6.2 - Эталонировочный график

Значения интенсивности рассеянного гамма-излучения, зарегистрированное плотномером, с помощью эталонировочных графиков переводятся в значения плотности. Эталонирование плотномеров выполняется в пресной воде или другой жидкости с плотностью близкой к  $1 \text{ г/см}^3$ . Между интенсивностью гамма-излучения и плотностью изучаемой среды существует обратная связь. Следовательно, на кривых плотногограммы переход от воды к газу отмечается повышением интенсивности рассеянного гамма-излучения. Кажущееся содержание воды  $S_v$  и нефти  $S_n$  в продукции скважины



определяется соотношением:

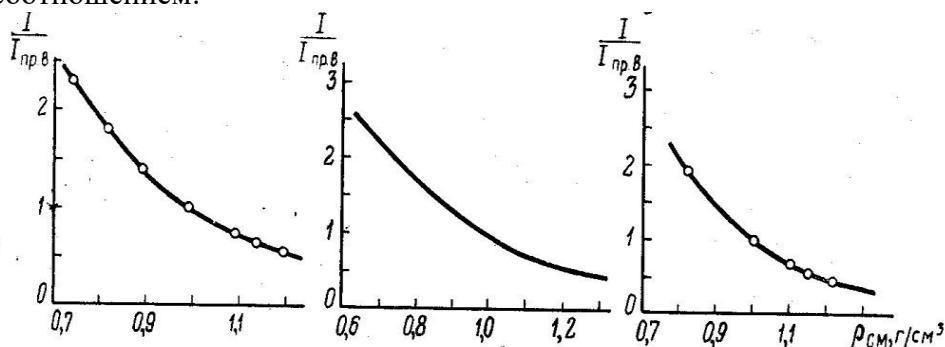


Рисунок 6.3 - Градуировочные зависимости показаний гамма-плотнмера от плотности среды а – в – приборы ГГП-1М, ГГП-2, ГГП-3

$$C_B = \frac{\rho_{см} - \rho_H}{\rho_B - \rho_H} \cdot 100; \quad C_H = (100 - C_B) \text{ или с помощью номограммы} \quad (4.4)$$

### 3 Указания по технике безопасности

1. Перед включением ПЭВМ пользователь должен проверить:
  - отсутствие посторонних предметов на клавиатуре;
  - нет ли влаги на клавиатуре.
6. Включение ПЭВМ производится на мониторе, а затем на системном блоке.
7. 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.

### 4. Порядок выполнения работы

#### 4.1 Задание по лабораторной работе

1. Ознакомиться с особенностями измерения состава притока
  2. Изучить принципы классификации плотномеров
  - 4.2 Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе
- Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.
- Отчет должен содержать:
1. Название и цель работы.
  2. Принципы и схемы измерения состава притока в скважине
  3. Полную характеристику плотномеров, предложенных преподавателем.
- Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

### 5. Контрольные вопросы

1. Методы для изучения состава смеси в стволе скважины могут быть классифицированы следующим образом:
  - объёмные?
  - локальные?
  - инверсионные?
2. достоверность определения состава смеси?

## Лабораторная работа № 6

**Тема:** ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ РАДИОИЗОТОПНЫХ ПЛОТНОМЕРОВ И НЕЙТРОННЫХ ВЛАГОМЕРОВ

### Цель работы:

- Закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях
- Ознакомиться с основными принципами классификации, обозначения и устройства влагомеров.
- Изучение методики определения влажности пласта;

- Задачи решаемые по данным радиоизотопных плотномеров;
- Задачи решаемые по данным нейтронных влагомеров;

## **Формирование компетенций ПК-2, ПК-3, ПК-12.**

### **1. Теоретическое обоснование:**

Устройство для измерения состава флюида, протекающего через напорный трубопровод, содержит трубопровод, выполненный с возможностью присоединения к напорному трубопроводу таким образом, чтобы поток флюида протекал через трубопровод, радиоактивный источник, размещенный так, чтобы излучение от источника проходило через поток флюида и стенку трубопровода, детектор для детектирования излучения, проходящего через поток и стенку, и средство для генерации сигнала, соответствующего излучению, детектируемому детектором. Стенка трубопровода состоит из смолы, армированной волокнами. Детектор представляет собой твердотельный детектор, охлаждаемый элементом Пельтье. Детектор имеет две поверхности, детектирующие излучение, одна из которых закрыта фильтром. Фильтр задерживает излучение с низкой энергией и пропускает излучение с высокой энергией. Технический результат заключается в создании компактного устройства, позволяющего получать точные измерения. 12 з.п. ф-лы, 2 ил.

Когда многокомпонентный флюид транспортируется через напорный трубопровод к перерабатывающей установке, обычно требуется измерять состав флюида либо вдоль напорного трубопровода, либо на его верхнем по потоку торце. В нефтегазовой промышленности флюиды из скважины могут транспортироваться от устья скважины, находящейся на побережье или на небольшом расстоянии от берега, по напорному трубопроводу к перерабатывающей установке, где происходит разделение друг от друга различных компонентов флюида. Флюиды из скважины могут содержать нефть, газ и воду в соотношениях, которые могут изменяться во времени и могут различаться для различных скважин, производящих добычу из одного и того же подземного резервуара. Непосредственное измерение состава флюида в устье скважины или дальше, ниже по потоку, где сливаются потоки из различных скважин, позволяет получать характеристики конкретного резервуара, которые корректируются в течение времени добычи из этого резервуара. Они также позволяют проводить, если это необходимо, своевременные корректирующие измерения. 2.10. При одновременном измерении плотности и влажности грунта радиоизотопными влагоплотномерами применяют следующие схемы измерений (черт.4):

*глубинную (скважинную)* - измерительный преобразователь, содержащий детектор (детекторы) для одновременной или раздельной регистрации плотности потока гамма-излучения и замедленных нейтронов и источник гамма-излучения и медленных нейтронов, помещают в скважину по ее центру для измерения плотности грунта по п.2.5 и влажности по п.2.9,

*поверхностную* - измерительный преобразователь устанавливается на поверхности грунта для измерения плотности и влажности грунта в слое толщиной до 150-200 мм под измерительным преобразователем;

*поверхностно-глубинную* - измерительный преобразователь прижимают к боковой поверхности скважины или обсадной трубы для измерения плотности в слое толщиной до 120 мм и влажности грунта в слое толщиной до 150 мм под измерительным преобразователем;

комбинированную - измерительный преобразователь помещают на поверхности грунта, а источники нейтронов и гамма-излучения погружают поочередно в грунт для измерения плотности и влажности грунта в слое между измерительным преобразователем и источником ионизирующего излучения.

### Схемы измерений нейтронными влагомерами

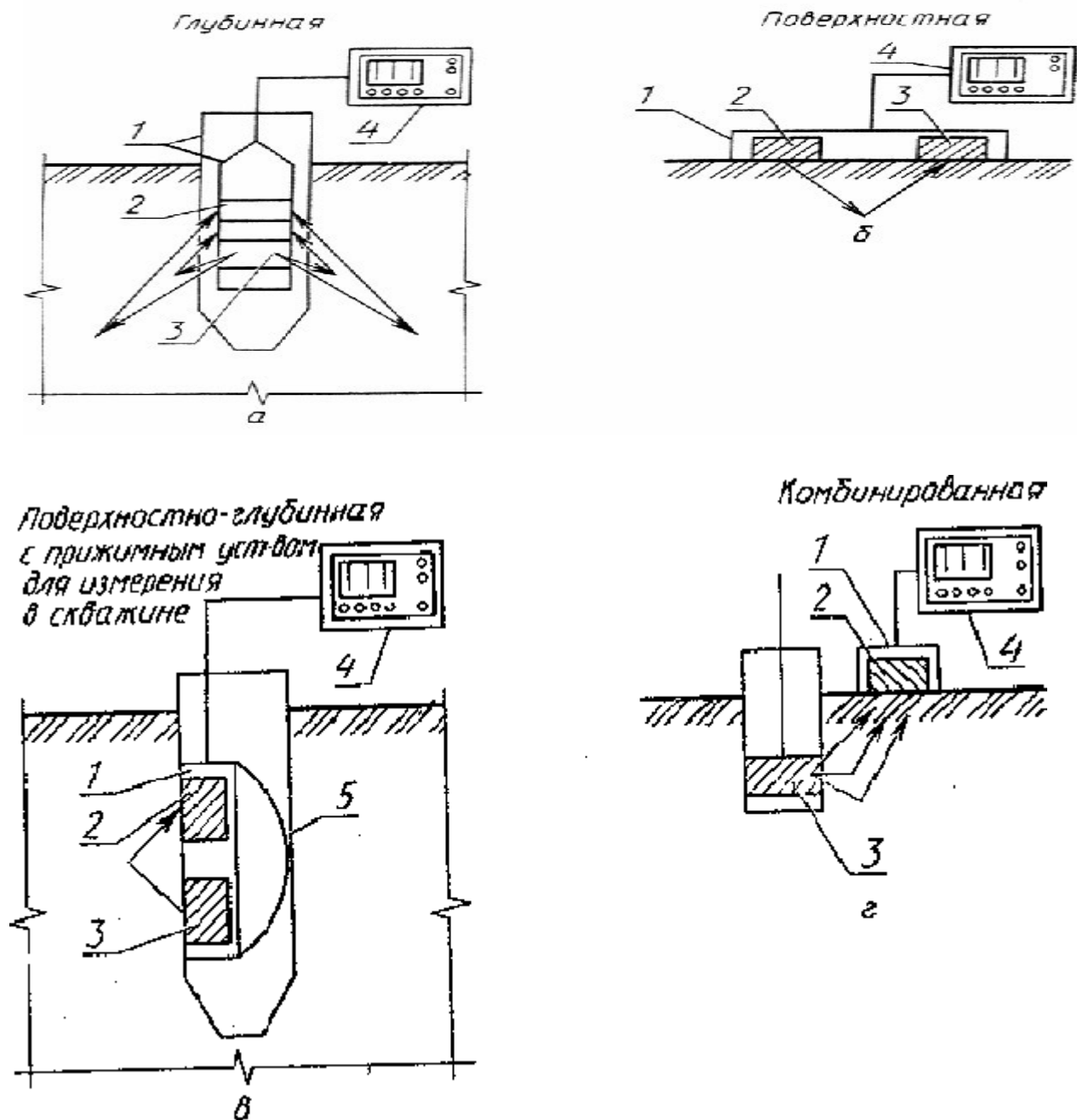


Рисунок 3

1 - измерительный преобразователь; 2 - детектор; 3 - источник нейтронов;

4 - измерительный прибор; 5 - прижимное устройство

# Схемы измерений радиоизотопными влагоплотномерами

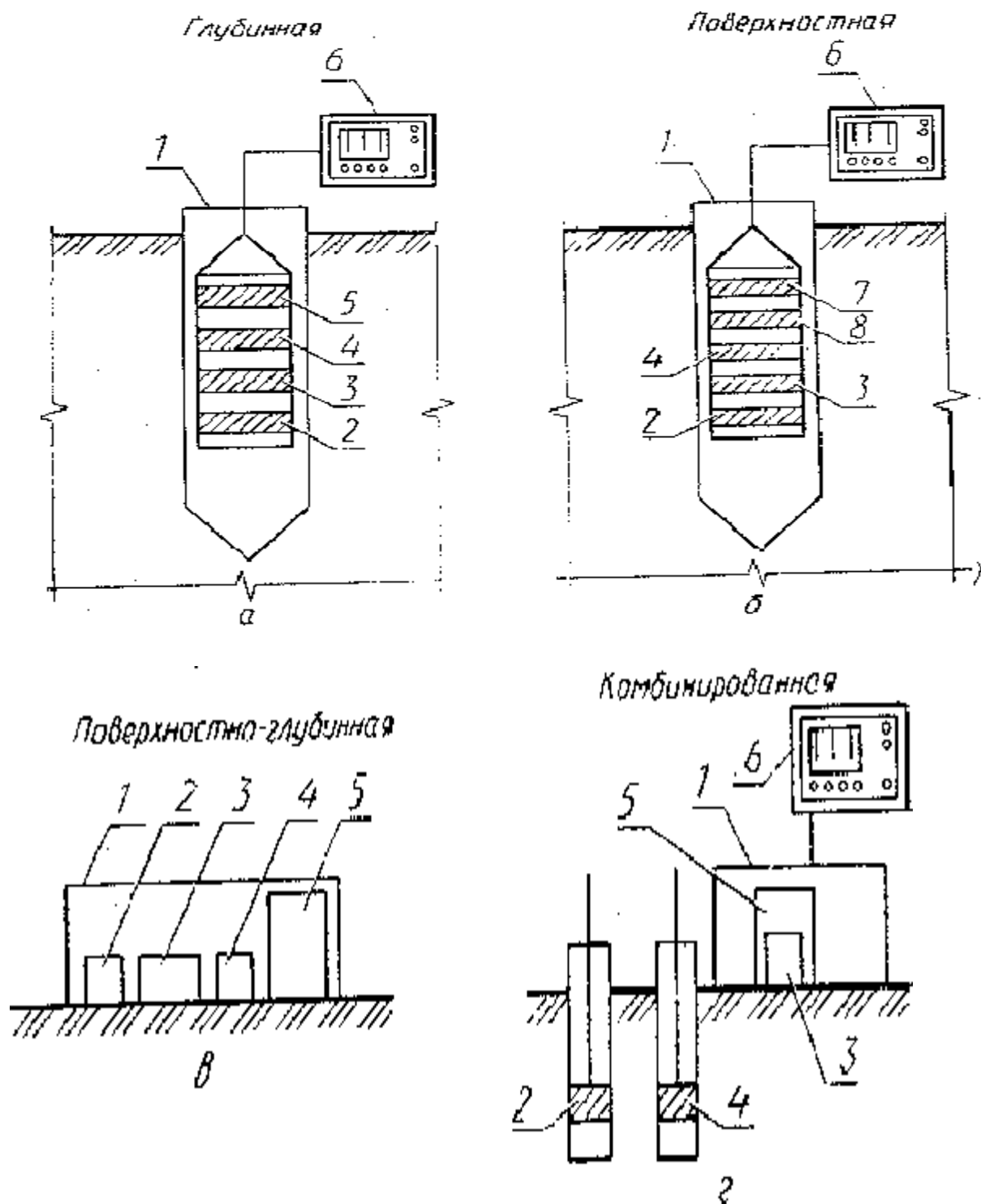


Рисунок 4

1 - измерительный преобразователь; 2 - источник гамма-излучения; 3 - экран; 4 - источник нейтронов;

5 - детектор гамма-излучения и нейтронов; 6 - измерительный прибор;

7 - детектор гамма-излучения; 8 - детектор нейтронов

При глубинных (скважинных) измерениях плотности, влажности в необсаженных скважинах или скважинах с переменным диаметром обсадных труб следует применять индикаторы диаметра (каверномеры и диаметромеры) в составе измерительного преобразователя плотномера, влагомера или влагоплотномера, или в виде отдельных преобразователей. Индикаторы диаметра (каверномеры или диаметромеры) должны обеспечивать возможность измерения диаметра скважин до 90<sup>±5</sup> мм с погрешностью не более  $\pm 2$  мм при доверительной вероятности 0,95.

При поверхностно-глубинных измерениях плотности, влажности в скважинах следует применять прижимные устройства, обеспечивающие надежный контакт измерительного преобразователя со стенкой скважины (обсадной трубы), а также экранирующие устройства в составе измерительного преобразователя, обеспечивающие снижение влияния излучений, рассеянных от стенок скважины (трубы), до постоянных значений.

### **3. ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ**

Для глубинных (скважинных) измерений плотности и (или) влажности следует пробурить скважину и (или) погрузить трубу. Скважина должна иметь диаметр не более 90 мм и не должна быть заполнена водой. При соединении отрезков труб не допускается применять муфтовые или ниппельные соединения.

Отклонение диаметра скважины от принятого при градуировке прибора не должно быть более 2 мм при измерении плотности и не более 5 мм при измерении влажности. Отклонения толщины стенки от принятого при градуировке для стальных и титановых труб не должны быть более 0,5 мм для дюралевок и керамических труб - не более 1 мм. Трубы, погружаемые в грунт, должны иметь диаметр не более 90 мм, в том числе стальные и титановые со стенкой толщиной не более 6 мм, дюралевок и керамические со стенкой толщиной не более 10 мм. Трубы и их стыки должны быть водонепроницаемыми.

При погружении обсадных труб в скважины труба должна входить в скважину.

При измерениях следует применять обсадные трубы, материал и толщина стенки которых не отличаются от принятых при градуировке приборов. Рекомендуемые типоразмеры обсадных труб

При поверхностно-глубинных измерениях в скважинах (обсадных трубах) плотности или влажности диаметр скважины (трубы) должен быть не более 146 мм. Скважины (трубы) не должны быть заполнены водой.

При измерении плотности грунта методами альбедо и альбедо-абсорбционным, а также при поверхностных и комбинированных измерениях влажности измерительный преобразователь, содержащий источник гамма-излучения или замедленных нейтронов, следует устанавливать на расчищенную и выровненную поверхность грунта. Опорная плоскость измерительного преобразователя должна быть плотно прижата (без зазора) к поверхности грунта.

При измерении плотности альбедо-абсорбционным методом и влажности по комбинированной схеме блок источника ионизирующего излучения помещают (внедряют) в грунт на глубину, фиксируемую с погрешностью не более  $\pm 0,5$  мм. Расстояние между измерительным преобразователем плотномера (влагомера) от стенок сооружения или выработки должно быть более 500 мм.

Градуировку и метрологическую аттестацию радиоизотопных плотномеров, влагомеров и влагоплотномеров проводят в заводских или лабораторных условиях по образцовым мерам (стандартным образцам) плотности и влажности, метрологически аттестованными в установленном порядке, а в полевых условиях - в соответствии с приложением 2.

При измерениях по глубинной (скважинной) схеме измерений преобразователь плотномера (влагомера, влагоплотномера) помещают в скважину на заданную глубину св. 0,4 м, центрируют по оси скважины и производят отсчеты по табло прибора.

В необсаженной скважине или скважине, обсаженной трубами переменного диаметра, измеряют диаметр на глубине, совпадающей с точкой отсчета радиоизотопного плотномера и нейтронного влагомера, с погрешностью не более  $\pm 10$  мм.

## **4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ**

Плотность грунта определяют по градуировочной зависимости радиоизотопного плотномера (влагоплотномера), выраженной в виде графика, таблицы или формулы для

### **3 Указания по технике безопасности**

1. Перед включением ПЭВМ пользователь должен проверить:
  - отсутствие посторонних предметов на клавиатуре;
  - нет ли влаги на клавиатуре.
8. Включение ПЭВМ производится на мониторе, а затем на системном блоке.
9. 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.

### **4. Порядок выполнения работы**

#### **4.1 Задание по лабораторной работе**

1. Ознакомиться с особенностями измерения состава притока
  2. Изучить принципы классификации влагомеров
  - 4.2 Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе
- Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Принципы и схемы измерения состава притока в скважине
3. Полную характеристику влагомеров, предложенных преподавателем.

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

### **5. Контрольные вопросы**

1. Методы для изучения состава смеси в стволе скважины могут быть классифицированы следующим образом:
  - объёмные?
  - локальные?
  - инверсионные?

2. достоверность определения состава смеси?
3. особенности устройства и принципа работы радиоизотопных плотномеров?
4. особенности устройства и принципа работы нейтронных влагомеров?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### 1. Основная литература:

- Захарченко Л.И. Интерпретация данных геофизических исследований скважин: лабораторный практикум - Ставрополь, Изд-во СКФУ, 2015-112 с.
- Захарченко Л.И., Захарченко В.В. Геофизические методы контроля разработки МПИ: учебное пособие - Ставрополь, Изд-во СКФУ, 2017- 2498 с.

### 2. Дополнительная литература:

- Богданович Н.Н., Добрынин В.М. Геофизические исследования скважин: справочник мастера по промысловой геофизике / под общ. Ред. В.Г. Мартынова, Н.Е. Лазуткиной, М.С.Хохловой. – М.: Инфа – инженерия, 2009.- 960с.
  - Тиаб Дж., Доналдсон Э.Ч. Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения флюидов / перевод с английского. – М.: ООО «Премиум Инжиниринг», 2009. – 868 с. Ил. – (Промышленный Инжиниринг)
- Латышова, М. Г. Практическое руководство по интерпретации данных ГИС : учеб. пособие / М. Г. Латышова, В. Г. Мартынов, Т. Ф. Соколова ; РГУ нефти и газа. - Москва : Недра, 2007. - 326 с. : ил. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). – Библио
- Добрынин, В. М. Петрофизика (физика горных пород) : учебник для вузов / В. М. Добрынин, Б. Ю. Вендельштейн, Д. А. Кожевников. - М. : Нефть и газ ; РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004. - 368 с. : ил. - Библиогр.: с. 355-357. - Предм. указ.: с.358-36
- Промысловая геофизика : учебник для вузов / В. М. Добрынин, Б. Ю. Вендельштейн, Р. А. Резванов, А. Н. Африкян ; под ред. В. М. Добрынина, Н. Е. Лазуткиной. - М. : Издательство "Нефть и газ" РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004. - 400 с. : ил. – Предм

### 3. Методическая литература:

- МУ к выполнению лабораторных работ
- МУ к написанию курсовой работы
- Электронный курс лекций

### 4. Интернет-ресурсы:

- [http: //ansatte.uit.no/webgeology/](http://ansatte.uit.no/webgeology/) сайт Университета Тромсё (Universiti of Tromsø), Норвегия
- [http: //www.gtokniga.org/inbo\[es – Геологический портал GeoKniga](http://www.gtokniga.org/inbo[es)
- [http: //oilcraft.ru/load/2](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 РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПО ОРГАНИЗАЦИИ**  
**САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**  
**Ядерная геофизика и радиометрия скважин**

Специальность  
Специализация

21.05.02 Прикладная геология  
Геология месторождений нефти и газа

**Содержание**

| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> |                                                                               |  |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>1</b>        | Общая характеристика самостоятельной работы студентов при изучении дисциплины |  |
| <b>2</b>        | План-график выполнения самостоятельной работы                                 |  |
| <b>3</b>        | Методические рекомендации по изучению теоретического материала                |  |
| <b>4</b>        | Методические рекомендации по организации работы с литературой                 |  |
| <b>5</b>        | Критерии оценивания компетенций                                               |  |

## ВВЕДЕНИЕ

Современные стандарты подготовки специалистов предусматривают значительный объем внеаудиторной работы. Освоение программы курса предполагает получение, как теоретических знаний, так и формирование навыков практической работы. Поэтому самостоятельная работа в рамках курса ориентирована как на теоретический, так и на практический аспект.

Самостоятельная работа студентов – это выполнение теоретических и практических заданий студентами по усвоению изучаемой дисциплины «Ядерная геофизика и радиометрия скважин».

Дидактические цели самостоятельных занятий:

- формирование профессиональных умений;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- мотивирование регулярной целенаправленной работы по освоению специальности;
- развитие самостоятельности мышления;
- формирование убежденности, волевых черт характера, способности к самоорганизации;
- овладение технологическим учебным инструментом.

Самостоятельная работа включает те разделы курса, которые не получили достаточного освещения на лекциях по причине ограниченности лекционного времени и большого объема изучаемого материала.

Методическое обеспечение самостоятельной работы дисциплине состоит из:

- 1) Определения учебных вопросов, которые студенты должны изучить самостоятельно;
- 2) Подбора необходимой учебной литературы, обязательной для проработки и изучения;
- 3) Поиска дополнительной научной литературы, к которой студенты могут обращаться по желанию, если у них возникает интерес в данной теме;
- 4) Определения контрольных вопросы, позволяющих студентам самостоятельно проверить качество полученных знаний;
- 5) Организации консультаций преподавателя со студентами для разъяснения вопросов, вызвавших у студентов затруднения при самостоятельном освоении учебного материала.

Самостоятельная работа студента – это особым образом организованная деятельность, включающая в свою структуру такие компоненты, как:

- уяснение цели и поставленной учебной задачи;
- четкое и системное планирование самостоятельной работы;
- поиск необходимой учебной и научной информации;
- освоение собственной информации и ее логическая переработка;
- использование методов исследовательской, научно-исследовательской работы для решения поставленных задач;
- выработка собственной позиции по поводу полученной задачи;
- представление, обоснование и защита полученного решения;
- проведение самоанализа и самоконтроля

## **1 Общая характеристика самостоятельной работы студентов при изучении дисциплины «Ядерная геофизика и радиометрия скважин»**

Цель: ознакомить студентов с теоретическими и геологическими основами радиоактивных и ядерных методов бескерновой геологической документации разрезов скважин.

Задачи:

- ознакомление студентов с общими принципами и научными основами проведения исследований в открытом стволе скважины в процессе её строительства целью литологического расчленения разреза, определения подсчетных параметров и с целью установления качества изоляции заколонного пространства;
- ознакомление студентов с общими принципами и научными основами проведения исследований в колонне во время разработки месторождений и эксплуатации ПХГ в эксплуатационных, нагнетательных и наблюдательных скважинах с целью определения технического состояния эксплуатационной и технической колонны, выявления работающих интервалов, определения текущего ВНК и определения состава притока;
- ознакомление с техникой и технологией проведения исследований

Дисциплина относится к дисциплинам базовой части Б1.О.40. Её освоение происходит в 7 семестре.

Основными видами самостоятельной учебной деятельности студентов являются:

- 1) предварительная подготовка к аудиторным занятиям, в том числе и к тем, на которых будет изучаться новый, незнакомый материал.
- 2) своевременная доработка конспектов лекций;
- 3) подбор, изучение, анализ и при необходимости – конспектирование рекомендованных источников по учебным дисциплинам;
- 4) выяснение наиболее сложных, непонятных вопросов и их уточнение во время консультаций;
- 5) подготовка к контрольным занятиям и экзамену;
- 6) систематическое изучение периодической печати, научных монографий, поиск и анализ дополнительной информации по учебным дисциплинам.

Виды самостоятельной работы по дисциплине могут быть разделены на основные (аудиторные) и дополнительные (внеаудиторные).

Основные виды самостоятельной работы выполняются в обязательном порядке с последующим контролем результатов преподавателем, который проводит практические занятия в студенческой группе.

Дополнительные (внеаудиторные) виды самостоятельной работы выполняются по заданию преподавателя без его непосредственного участия.

Дополнительные виды самостоятельной работы по дисциплине рекомендуются тем студентам, которые наиболее заинтересованы в изучении этой дисциплины.

К основным (обязательным) видам самостоятельной работы студентов при изучении дисциплины относится:

- а) самостоятельное изучение теоретического материала;
- б) подготовка к лабораторным работам
- в) подготовка к практическим занятиям
- г) подготовка к экзамену.

## **2 План-график самостоятельной работы студентов по дисциплине «Ядерная геофизика и радиометрия скважин»**

Виды и содержание самостоятельной работы; формы их контроля

| Вид деятельности студентов        | Итоговый продукт самостоятельной работы | Средства и технологии оценки | Объем часов |
|-----------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|-------------|
| Подготовка к лекциям              | Конспект                                | Устный опрос                 | 20          |
| Подготовка к лабораторным работам | Отчет о выполненных работах             | Защита отчетов               | 34          |
| <b>Итого за 7 семестр</b>         |                                         |                              | <b>54</b>   |

### **3 Методические рекомендации по изучению теоретического материала**

Самостоятельное изучение теоретического материала по дисциплине «Ядерная геофизика и радиометрия скважин» предусмотрено на всём протяжении курса. Такая работа сопровождает лекционные, практические и лабораторные занятия, промежуточный и итоговый контроль, и в то же время является отдельным видом самостоятельной работы студента.

Источниками для самостоятельного изучения теоретического курса по дисциплине выступают:

- учебники по предмету;
- курсы лекций по предмету;
- учебные пособия по отдельным темам;
- научные статьи в периодической геологической печати и рекомендованных сборниках;
- научные монографии.

В ходе лекций раскрываются основные вопросы в рамках рассматриваемых тем, делаются акценты на наиболее сложные и интересные положения изучаемого материала, которые должны быть приняты студентами во внимание. Материалы лекций являются основой для подготовки студентов к практическим занятиям.

#### **Работа с конспектом лекций**

Просмотрите конспект сразу после занятий. Отметьте материал конспекта лекций, который вызывает затруднения для понимания. Попытайтесь найти ответы на затруднительные вопросы, используя предлагаемую литературу. Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь на текущей консультации или на ближайшей лекции за помощью к преподавателю.

Каждую неделю отводите время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам и тестам. Умение студентов быстро и правильно подобрать литературу, необходимую для выполнения учебных заданий и научной работы, является залогом успешного обучения. Самостоятельный подбор литературы осуществляется при подготовке к семинарским, лабораторным занятиям, при написании курсовых работ, научных рефератов.

Выполнение СРС на занятиях с проверкой результатов преподавателем позволяет студентам усваивать изучаемый материал более глубоко, меняется отношение к лекциям, так как без понимания теории предмета, без хорошего конспекта трудно рассчитывать на успех в решении заданий. Это улучшает посещаемость как практических, так и лекционных занятий.

**При подготовке к лекциям-беседам тема** сообщается студентам заранее. Участники дискуссии делятся на группы по 8 человек, в течение 10—15 мин подготавливают свой вариант решения проблемы. Следующим этапом дискуссии является выступление представителей от каждой группы из 8 человек и защиты своего варианта решения. В конце общего обсуждения ведущий подводит итоги дискуссии, дает оценку совместно найденного варианта решения.

### **4 Методические рекомендации по организации работы с литературой**

Изучение и анализ литературных источников является обязательным видом самостоятельной работы студентов. Изучение литературы по избранной теме имеет своей задачей проследить характер постановки и решения определенной проблемы различными авторами, аргументацию их выводов и обобщений, провести анализ и систематизировать полученный материал на основе собственного осмысления с целью выяснения современного состояния вопроса.

Проработка отобранного материала обязательно должна идти с одновременным ведением записей прочитанного и своих замечаний. Запись может иметь как форму конспекта, так и выписок, а также картотеку положений, тезисов, идей, методик, что в дальнейшем облегчит классификацию и систематизацию полученного материала. Такого рода записи являются лучшим способом накопления и первичной обработки материал, одной из обязательных форм организации умственного труда.

**Планом** удобно пользоваться при подготовке к устному выступлению по выбранной теме. Каждый пункт плана должен раскрывать одну из сторон избранной темы, а весь план должен охватывать ее целиком.

**Тезисы** предполагают сжатое изложение основных положений текста в форме утверждения или отрицания. Они являются более совершенной формой записей и представляют основу для дискуссии. К тому же их легко запомнить.

**Аннотация** – краткое изложение содержания – дает общее представление о работе.

**Резюме** кратко характеризует выводы, главные итоги источника.

**Конспект** является наиболее распространенной формой ведения записей. Основную ткань конспекта составляют тезисы, дополненные доказательствами и рассуждениями. Конспект может быть текстуальным, свободным или тематическим. Текстуальный представляет собой цитатник с сохранением логики работы и структуры текста. Свободный конспект основан на изложении материала в том порядке, который более удобен автору. В этом смысле конспект представляет собирание воедино мыслей, разбросанных по всей книге. Тематический конспект может быть составлен по нескольким источникам, где за основу берется тема, интерпретируемая по-разному.

Экономия времени дает использование при записях различного рода сокращений, аббревиатур и т.д. многие используют для регистрации исследуемых тем систему карточек. Преимущество карточек в том, что тема там излагается очень сжато, и они очень удобны в использовании, т.к. их можно разложить на столе, перегруппировать и без труда найти искомую тему.

## **5 Критерии оценивания компетенций**

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.