

ИМПУЛЬСНЫЙ НЕЙТРОННЫЙ КАРОТАЖ

Цель работы: Получение начальных навыков работы с современными ядерно-физическими аппаратными комплексами.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Физические основы импульсного нейтронного каротажа

Каротаж - это геофизические исследования свойств окружающих скважину горных пород, основанные на измерении параметров естественных и искусственных физических полей в скважине и околоскважинном пространстве. Исследования проводятся с целью выявления полезных ископаемых и оценки их запасов, а также для технологического контроля за разработкой месторождений.

«Инструментом» исследования горных пород нейтронными методами является поле нейтронов, образованное в замедляющей среде (горной породе) стационарным или импульсным источником. Испускаемые источником нейтроны высоких энергий могут испытывать как упругое, так и неупругое взаимодействие с ядрами элементов, входящих в состав горной породы.

Теория импульсных нейтронных методов призвана определить пространственные и временные характеристики излучений в зависимости от свойств среды, в которой и рядом с которой перемещается скважинный прибор (СП). Иными словами, теория решает прямую задачу — по заданным свойствам среды, геометрическим характеристикам и элементному составу, возможно определить в различные моменты времени и в различных областях пространства плотность потока нейтронов и гамма-квантов. Полученные из теории плотности потоков спектры преобразуются, для нейтронного излучения во временной спектр тепловых или надтепловых нейтронов, а для гамма-квантов - в энергетические спектры гамма-квантов неупругого рассеяния быстрых нейтронов на ядрах гамма-квантов, возникающих при радиационном захвате медленных нейтронов ядрами гамма-квантов, возникающих при распаде созданных и естественных радиоактивных элементов, и временной спектр убывания плотности потока гамма-квантов радиационного захвата. Дальше решают большое количество прямых задач для различных сочетаний геометрических характеристик и элементного состава, уточняют решения с помощью экспериментальных измерений на моделях горных пород, и находят решение обратной задачи подбором наиболее близкого решения прямой задачи. Упрощенно можно представить, что измеренный в скважине спектр сопоставляется с банком аналогичных спектров, полученных из решений прямых задач пока не будет найдено наилучшее приближение. И тогда геометрия и элементный состав этой «наилучшей» прямой задачи считается решением задачи каротажа.

Многочисленные компьютерные эксперименты, а также отдельные модельные исследования показали, что на оси скважины будет иметь место следующая приближенная зависимость плотности тепловых нейтронов от t и z :

$$n(t, z) \approx B \left\{ \frac{C}{\sqrt{\Lambda_z^2 + D_n t} (\Lambda_\rho^2 + D_n t)} \exp \left[-\lambda_n t - \frac{z^2}{4(\Lambda_z^2 + D_n t)} \right] + \chi(t, z) \exp(-\lambda_c t) \right\}, \quad (1)$$

где C – безразмерная константа; D_n – коэффициент нейтронной диффузии в пласте;

$$\lambda_n = \sqrt{\frac{3kT}{2m}} \Sigma_{nn} + \Delta(z) \quad (2)$$

– декремент спада плотности тепловых нейтронов в пласте; $\Delta(z)$ – поправка ~10%, получаемая для данного типа аппаратуры ИННК и скважины в результате компьютерного и модельного эксперимента; $\chi(t,z)$ – слабо изменяющаяся во времени на фоне экспоненциального сомножителя функция размерности м^{-3} ; $\lambda_c = \sqrt{\frac{3kT}{2m}} \Sigma_{nc}$ – декремент спада плотности тепловых нейтронов в скважине, Σ_{nc} – макросечение поглощения нейтронов в скважине.

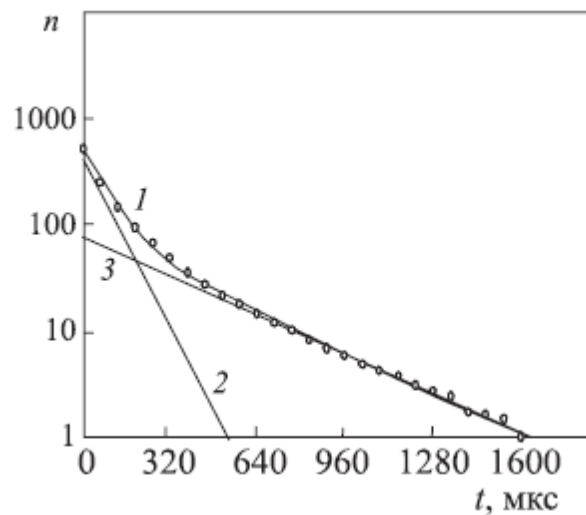


Рисунок 1 – пример разделения экспонент в каротажном сигнале: 1 – зависимость счета измеренных ядерных событий от времени; 2 – скважинный компонент каротажного сигнала; 3 – пластовый компонент.

На рисунке 1 приводится пример типичного сигнала ИННК, содержащего два экспоненциальных компонента.

В настоящее время подобный метод обработки сигналов ИННК получил широкое признание и используется во многих производственных и научных организациях. После определения значений λ_n производится его пересчет с помощью формулы (2) на важный физический параметр пласта – макросечение поглощения тепловых нейтронов Σ_{nn} , которое связано с известными сечениями радиационного захвата отдельных компонентов пласта следующим соотношением:

$$\Sigma_{nn} = \Sigma_{ск} k_{ск} + \Sigma_{н} k_{н} + \Sigma_{в} (k_{в} + k_{св}) + \Sigma_{г} k_{гл},$$

где $\Sigma_{ск,н,в,гл}$ – макроскопические сечения радиационного захвата нейтронов в скелете, продуктивном флюиде, воде и глине соответственно, определяются в процессе анализа образцов горной породы на исследовательских реакторах и нейтронных генераторах, а также расчетным путем; $k_{ск}$ – относительное объемное содержание твердой фазы (скелета) в пласте, определяется при лабораторном анализе керна в результате положительного гамма-каротажа; $k_{н}$ – искомая относительная объемная концентрация продуктивного флюида (коэффициент нефтенасыщенности и газонасыщенности) – один из важнейших искомых параметров состояния действующей скважины; $k_{с,св}$ – соответственно относительные

объемные концентрации свободной и связанной воды в порах (коэффициент водонасыщенности); $k_{гп}$ - относительная объемная концентрация глины в порах (коэффициент глинистости).

Указанные концентрации связаны между собой следующими соотношениями:

$$k_{ск} + k_{гп} + k_{в} + k_{св} + k_{н} \approx 1,$$

$$k_{в} + k_{н} = k_{п}.$$

Постановка задачи каротажа

Рассмотрим задачу каротажа. Первое, с чем необходимо разобраться — это взаимное расположение зонда, находящегося в СП, скважины и пласта, возможные геометрические модели для них, и характерные зоны, на которые делится пласт. Эта модель, которую далее будем называть «геометрия», необходимо поместить поле нейтронов, энергия которых меняется со временем. Выберем две пространственные зоны (детекторы) и два временных «окна», в котором будут независимо одно от другого существовать четыре нейтронных поля. Далее, поместим в построенные нейтронные поля ядра элементов, образующих каротажный прибор, скважинную жидкость, стальную обсадную колонну, кольцо тампонажного цемента вокруг обсадной колонны,и, наконец, пласт с интересующими нас нейтронными и геологическими характеристиками. Поле быстрых нейтронов источника будет взаимодействовать с ядрами указанных геометрических зон, при этом в них будут возникать вторичные поля нейтронов и гамма-квантов. Мы будем рассматривать вторичное поле каждой зоны как источник излучения для каждой из двух выбранных ранее пространственных зон детекторов в двух характерных временных «окнах». Для простоты решения задачи рассмотрим влияние каждой зоны на каждый детектор и в каждой временной зоне по отдельности, а затем сравним влияние от каждой зоны в зависимости от её нейтронных характеристик. Нейтронные характеристики, для простоты описания, свяжем с геологическими характеристиками. Несмотря на простоту модели, не станем перебирать все возможные варианты и сочетания, а остановимся на наиболее характерных свойствах. Таким образом, задача каротажа в нашей модели сильно упрощена, что позволит без мощной математики разобраться на качественном уровне с теорией импульсного нейтронного каротажа (ИНК). Однако нужно заметить, что в практической деятельности разработчики методик и аппаратуры ИНК давно уже используют не сложные математические модели, а математические испытания по методу Монте-Карло, дополненные результатами физического моделирования.

Каротажная геометрия.

Самая простая геометрия — однородная бесконечная среда с заданной плотностью ядер определенного типа. Зададим в этой среде сферическую систему координат и поместим нестационарный источник быстрых нейтронов в начало координат. Однородность среды позволяет свести задачу к одномерной, поскольку выделенного направления нет. Во времени моментом начала отсчета будем считать начало нейтронного импульса. Далее выделяются временные области во время нейтронного импульса, первые миллисекунды после окончания нейтронного импульса, первые сотни миллисекунд после окончания нейтронного импульса, в которых исследуются распространение и замедление нейтронов возникновение гамма-квантов в реакциях нейтронов с ядрами элементов пласта. Решение прямых задач в такой простой геометрии позволяет получить только самые общие

представления о характере распространения нейтронов. Дело в том, что в пластовых условиях нейтронные поля претерпевают существенные изменения на расстояниях в первые десятки сантиметров.

В реальной скважине прибор практически всегда движется по стенке скважины. Эта геометрия — скважина, бесконечный пласт и скважинный прибор на стенке скважины — самый простой вариант практически полезной геометрии решения прямых задач для ИНК. Аналитические решения здесь получить невозможно (в форме, пригодной для практического использования), поэтому основными являются численные методы решения — сеточные, статистических испытаний, или их комбинации.

Характеристики нейтронных и гамма полей.

Первичное излучение нейтронного генератора, используемого в СП (ИНГ-10), представляет собой практически изотропное распределение моноэнергетических нейтронов с энергией 14 МэВ. В первых столкновениях с ядрами в скважине и пласте энергия нейтронов весьма велика, и наиболее вероятными процессами являются неупругие столкновения. Здесь наибольший интерес представляют столкновения с ядрами кислорода и углерода. После снижения энергии нейтронов до единиц МэВ главным процессом становится упругое взаимодействие, при которых энергия уменьшается всего быстрее на ядрах водорода. Это происходит во время импульса от нейтронного генератора. Если импульс длится более десяти — двадцати микросекунд, то энергия нейтронов успевает упасть до уровня теплового равновесия 0,025 эВ, и сильно возрастает сечение реакций радиационного захвата нейтронов ядрами водорода и аномальных поглотителей тепловых нейтронов (хлор, бор, алюминий, железо, гадолиний и др., таких, у которых сечение захвата нейтрона больше барна, который соответствует площади ядра). Причем при захвате нейтрона может образоваться как стабильное ядро, так и радиоактивное, которое претерпит распад через некоторое время после захвата. И в том, и в другом случае возбуждение ядра снимается через гамма-излучение.

При каротаже детекторы скважинного прибора регистрируют пришедшие из скважины и из пласта нейтроны и гамма-кванты.

Современные каротажные установки регистрируют следующие излучения:

- гамма-кванты неупругого рассеяния в виде энергетического спектра, регистрация во время импульса генератора от 10 до 30 микросекунд;
- гамма-кванты радиационного захвата в виде энергетического спектра, регистрация преимущественно после импульса генератора от 100 микросекунд до 2000 микросекунд;
- гамма-кванты наведенной активности в виде энергетического спектра в самых разных интервалах по времени после окончания излучения генератора;
- плотность потока медленных нейтронов, отношение скоростей счета на двух расстояниях от мишени генератора во время импульса генератора или сразу после него;
- изменение плотности потока медленных нейтронов в виде временных спектров, регистрация двумя детекторами на разных расстояниях от мишени.

Также прибор импульсного нейтронного каротажа используют для измерения «ТАУ», то есть среднего времени жизни тепловых нейтронов в пласте и водородосодержания - процентный объем водорода по отношению к общему объему пласта. Первый параметр используется для определения

нефтенасыщенности, а второй — пористости. «ТАУ» вычисляется путем обработки временных спектров первого и второго детекторов прибора ИНК, а водород — как отношение интегральных скоростей счета первого зонда (S1) ко второму (S2) на заданной временной задержке относительно момента срабатывания импульсного нейтронного генератора (ИНГ). Для «ТАУ» обоих зондов хорошим эталоном является бак с пресной водой — значение 205 мкс. должно воспроизводиться исправным прибором и программой расчета с точностью до 1%. А вот для содержания водорода нужны модели. Бак с водой является моделью 100% -ного содержания водорода, и значение отношения S1/S2, полученное в баке, принимается за «условную единицу» водородосодержания.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Назначение и технические характеристики аппаратуры импульсного нейтронного каротажа АИНК-43-50

Назначение: аппаратура импульсного нейтронного каротажа (АИНК) предназначена для геофизических исследований методом двухзондового импульсного нейтрон - нейтронного каротажа (ИННК) в необсаженных и обсаженных скважинах (в том числе оборудованных насосно-компрессорными трубами) с проходным отверстием от 60 мм и более, глубиной до 7000 м.

Технические характеристики АИНК

3.1.1 Диапазон определяемого макроскопического сечения поглощения тепловых нейтронов от $7,4 \cdot 10^{-3}$ до $22 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ с погрешностью определения не более 10 %.

3.1.2 Диапазон определения коэффициента водонасыщенной пористости горных пород от 1 до 40 % с абсолютной погрешностью определения не более 5 %.

3.1.3 Дополнительная относительная погрешность определения параметров по 3.1.1 и 3.1.2 при температуре окружающей среды от плюс 5 до плюс 120 °С не более 5 %.

3.1.4 Технические характеристики составных частей АИНК.

3.1.4.1 Технические характеристики скважинного прибора (СП):

-тип используемого импульсного нейтронного генератора, включающий:	ИНГ-10-20-120Т
- блок трубки	ИНГ-10-20-120ТБТ
- блок питания и управления	ИНГ-10-50БПУ
- начальный поток нейтронов, нейтр./с, не менее	$1,0 \cdot 10^8$;
- длительность нейтронного импульса, мкс, не более	2,0;
- мертвое время 1- го и 2- го зонда, мкс, не более	3,8;
- количество зондов	2;
- количество временных окон для каждого зонда	60;
- длительность временного окна, мкс	32;
- напряжение питания на головке СП, В	150 ± 10 ;
- потребляемая мощность, Вт, не более	45;

- средний ток, потребляемый в тестовом режиме, мА, не более	80;
- средний ток, потребляемый в рабочем режиме, мА, не более	250;
- длина СП, мм, не более	3400;
- внешний диаметр защитного кожуха, мм, не более	43;
- длина секции излучателя, далее по тексту СИ, мм, не более	1800;
- длина секции регистрации, далее по тексту СР, мм, не более	1660;
- масса СП, кг, не более	18;
- расстояние от нижнего края головки СП до мишени блока трубки (БТ) (L3), мм	1690;
- расстояние от мишени БТ до ближайшего торца, мм:	
- ближнего детектора (L1)	321 ± 10;
- дальнего детектора (L2)	585 ± 12;
-тип головки СП (по ГОСТ 14213-81)	НК1-36;
-количество используемых жил геофизического кабеля	1;
Допустимые условия эксплуатации СП:	
- максимальное рабочее давление, МПа	100;
- диапазон рабочих температур	от плюс 5 до плюс 120 °С.

3.1.4.2 Корпус СП выполнен из стали 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72

Исполнение СП взрывозащищенное,

Маркировка взрывозащиты

2ExsIIATIX

Технические характеристики пульта управления ПУ-10М (ПУ):

-габаритные	размеры	145×145×240;
(высота×ширина×глубина), мм, не более		
-масса, кг, не более		5;
-напряжение питания, В		220 ± 15%;
-частота напряжения питания, Гц		50 ± 1;
-потребляемая мощность, Вт, не более		14;
-система связи с СП		модулированный RS-232;
-вид модуляции		манипуляция биполярными импульсами;
-система связи с ПЭВМ		стандартный LAN;

Допустимые условия эксплуатации ПУ:

-диапазон рабочих температур, °С	от плюс 10 до плюс 45;
-относительная влажность воздуха при температуре 30 °С, не более, %	90.

3.1.5 Средний срок службы АИНК (с учетом производимых замен) не менее 5 лет, при среднем ресурсе составных частей АИНК не менее:

- ПУ, ч1000;
- СП, ч600.

Эксплуатационные ограничения

Если АИНК транспортировалась при температуре ниже 0 °С, то перед началом работы ее следует выдержать при температуре свыше 10 °С в течение 2 ч. СП можно выдержать в скважинной жидкости - не менее 30 мин.

ВНИМАНИЕ!

1 РАБОЧЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ СП - ВЕРТИКАЛЬНОЕ. ВКЛЮЧАТЬ СП В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ПОЛОЖЕНИИ БОЛЕЕ ЧЕМ НА 2 Ч, ЗАПРЕЩАЕТСЯ.

2 ВКЛЮЧАТЬ СП БЕЗ ГОФИЗИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ ИЛИ ЕГО ЭКВИВАЛЕНТА ЗАПРЕЩАЕТСЯ.

Время непрерывной работы СП в рабочем положении должно быть не более, ч:

- в диапазоне температур от плюс 5 до плюс 100 °С 8;
- в диапазоне температур от плюс 100 до плюс 120 °С 2.

Конструкция АИНК

3.2.1 СП состоит из секции излучателя (СИ) и секции регистратора(СР), соединенных между собой с помощью резьбового соединения с уплотнением. В свою очередь, СИ содержит соединенные между собой блок трубки (БТ) и блок питания и управления (БПУ), электрические контакты между которыми обеспечивает специальный высоковольтный соединитель.

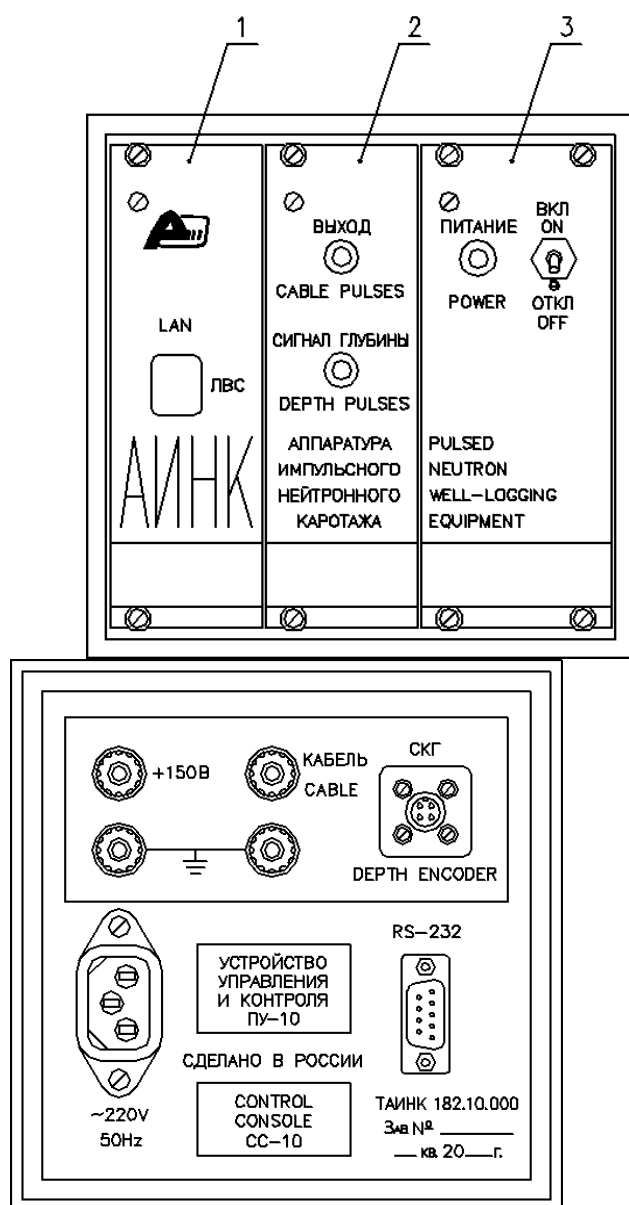
Геофизический кабель подсоединяется к головке СП через кабельный наконечник.

Конструкция СП обеспечивает его герметичность и работу при давлении не более 100 МПа и в то же время допускает замену любого из блоков БТ и БПУ в полевых условиях.

3.2.2 Устройство управления и контроля (ПУ), передняя и задняя панели которого представлены на рисунке 2, выполнен в пластмассовом корпусе, в котором расположены три съемных блока:

- блок интерфейса ТАИНК182.10.020;
- блок процессора телеметрии с модемом ТАИНК182.10.030;
- блок питания ТЖИУ.435114.002.

Соединение блоков между собой осуществляется с помощью коммутационной платы, установленной внутри корпуса.



- 1 - блок интерфейса ТАИНК182.10.020;
- 2 - блок процессора телеметрии с модемом ТАИНК182.10.030;
- 3 - блок питания ТЖИУ.435114.002.

Рисунок 2

3.3 Схема включения АИНК в составе каротажного комплекса

На рисунке 3 представлена схема включения АИНК, в составе каротажного комплекса.

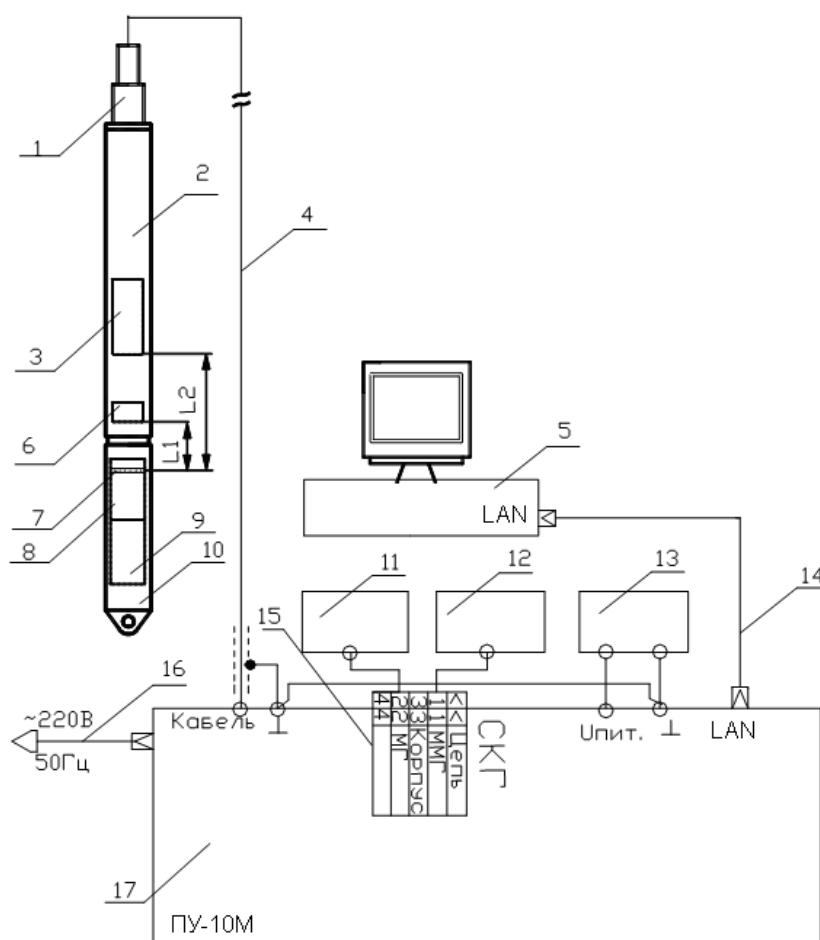
СП состоит из СИ, поз. 10, и СР, поз. 2., содержащей два детектора тепловых нейтронов поз.3 и поз.6, расположенных на разных расстояниях (L_1 и L_2) от мишени поз. 7 нейтронной трубки установленной в БТ поз. 8, а также электронные блоки, обеспечивающие питание всех узлов аппаратуры, управление работой прибора, регистрацию тепловых нейтронов и двустороннюю передачу информации по геофизическому кабелю поз. 4.

Питание СП производится от автономного ИП поз. 13, который обеспечивает на входе СП поз. 1 стабилизированное напряжение постоянного тока в диапазоне от

140 до 160 В. В СП это напряжение преобразуется в напряжение питания низковольтных схем и высокое напряжение для питания детекторов тепловых нейтронов. Питание составных частей СИ (БПУ поз. 9 и БТ поз. 8) производится также от ИП.

Питание наземного пульта ПУ поз. 17 производится от сети переменного тока напряжением 220 В.

Переключение режимов работы АИНК и запись результатов измерений осуществляется с помощью программы регистрации АИНК, установленной на ПЭВМ поз.5.



1 - головка СП; 2 – СП; 3 - дальний детектор; 4 - геофизический кабель; 5 - ПЭВМ; 6 - ближний детектор; 7 - мишень БТ; 8 – БТ; 9 – БПУ; 10 –СИ; 11 - блок формирования МГ; 12 - блок формирования ММГ; 13 – ИП; 14 - кабель связи с ПЭВМ; 15 - соединитель СКГ; 16 - сетевой кабель; 17 – ПУ.

Рисунок 3 -Схема включения АИНК в составе каротажного комплекса

Порядок работы с аппаратурой импульсного нейтронного каротажа

Подготовка АИНК к эксплуатации

При подготовке к работе, учитывая требования безопасности, необходимо:

- а) заземлить каротажный комплекс до начала работ с АИНК;
- б) все подсоединения в электрических цепях проводить только при отключенной

от источников питания аппаратуре;

в) для включения ПУ в сеть использовать розетку, имеющую заземленное гнездо, соответствующее заземляющему контакту вилки сетевого кабеля.

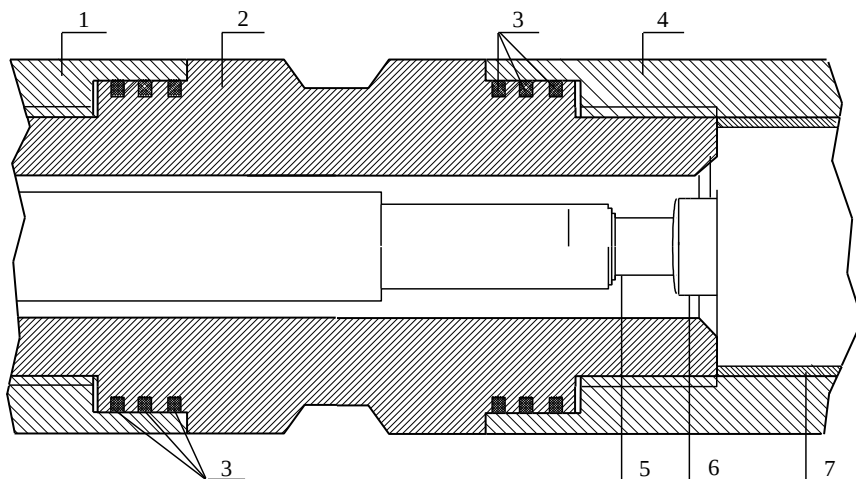
Подготовка АИНК к работе включает следующие операции:

- визуальный контроль;
- сборка (соединение составных частей) и подключение АИНК к каротажной станции;
- установка рабочей программы на ПЭВМ каротажной станции;
- настройка на геофизический кабель;
- тестирование.

После извлечения СР и СИ из транспортной тары снять защитные заглушки и провести визуальный контроль соединительных узлов прибора.

Резьбовые соединения блоков и уплотнительные кольца не должны иметь механических повреждений и трещин. Проверить качество уплотнительных колец, в случае необходимости загрязненные места протереть чистой тканью.

Собрать импульсный нейтронный генератор, соединив БТ и БПУ. Установить генератор в СИ. Для этого необходимо закрепить СИ в трубных тисках, отвернуть заглушку (хвостовик) СИ, потянуть за заглушку и вынуть лоток СИ, в который устанавливается генератор. Отвернуть винты крепления БТ, снять транспортное крепление муфты с вилкой СНЦ. Установить втулку, как продолжение БПУ со стороны 4-х контактного соединителя СНЦ (розетки). При этом проводники и вилка соединителя СНЦ пропускаются внутри втулки. Установить импульсный нейтронный генератор в лоток СИ, закрепить БТ винтами, блоки БТ и БПУ зафиксировать в лотке кольцами с резьбой со стороны БПУ. Разборка СИ в дальнейшем проводится только для замены БТ или БПУ. Подробнее смотри п.4.4.3. Произвести сборку-соединение составных частей СП. Для этого, надежно закрепив в трубных или специальных тисках (или приспособлении) муфту 2 СИ (рисунок 4), навинтить на нее по часовой стрелке СР (руками в перчатках). При этом происходит электрическое соединение СИ с СР при помощи триаксиального соединителя LEMOSA.



1 Корпус СР; 2 Муфта; 3 Уплотнительные кольца; 4 Корпус СИ; 5 Вилка СР; 6 Розетка СИ; 7 Втулка.

Рисунок 4 - Узел соединения СИ с СР.

Примечание - Навинчивание СР не требует применения вспомогательного инструмента, достаточно силы рук. Приложение чрезмерных усилий говорит о неисправности конструкции.

Подключить ПУ к оборудованию каротажного комплекса в соответствии с рисунком 2.

Перед включением аппаратуры рекомендуется произвести предварительный расчет напряжения источника питания каротажной станции $U_{ин}$ для двух режимов - с выключенным импульсным нейтронным генератором и включенным по следующим формулам

$$U_{ин}^{мест} = 150 + 0,04 (R_{ж} + R_{б}), \quad (3)$$

$$U_{ин}^{раб} = 150 + 0,2 (R_{ж} + R_{б}), \quad (4)$$

где: $U_{ин}^{мест}$ - напряжение источника питания каротажной станции для режима работы с выключенным генератором нейтронов, В;

$U_{ин}^{раб}$ - напряжение источника питания каротажной станции для режима работы с включенным генератором нейтронов, В;

$R_{ж}$ - сопротивление жилы геофизического кабеля, Ом;

$R_{б}$ - сопротивление брони геофизического кабеля, Ом.

Источник питания каротажной станции должен обеспечивать напряжение большее, чем $U_{ин}^{раб}$.

Разместить СП за защитой от нейтронного излучения.

Подключить СП к кабельному наконечнику так, чтобы была возможность измерения напряжения на головке СП.76.

Для этого надо соединить проводами один из контактов головки СП с контактом кабельного наконечника, а корпус СП - с броней кабеля.

Примечания

1 Допускается проводить присоединение любого из трех контактов разъема в головке СП, т.к. они соединены между собой.

2 В случае использования трехжильного кабеля измерение напряжения на головке СП можно осуществлять на коллекторном конце кабеля (на свободной жиле относительно земли).

3. Для диагностики и ознакомления с работой АИНК допускается подключать только СР. При этом в связи с отсутствием СИ радиоактивное излучение отсутствует.

Определить задействованную жилу на коллекторном конце кабеля и правильность подключения СП следующим образом:

а) подсоединить клемму «-» омметра к выводу жилы кабеля, а клемму «+» к броне; прибор должен показать сопротивление в диапазоне от 20 до 800 Ом (в зависимости от типа используемого прибора и длины кабеля);

б) поменять полярность подключения омметра. Измеренное сопротивление должно быть не менее 10 кОм.

Соединить выводы жилы и брони коллектора геофизического кабеля каротажного комплекса с клеммами «КАБЕЛЬ» и «⊥» ПУ соответственно.

Для контроля тока потребления установить амперметр в цепи «ПУ - ИП».

Включить ИП каротажного комплекса, установить выходное напряжение равным $U_{ин}^{тест}$, но не более 165 В, и снова выключить.

Подключить ПУ к ИП каротажного комплекса следующим образом:

а) соединить проводом клемму «⊥» ПУ с клеммой «⊥» ИП каротажного комплекса;

б) соединить клемму «+150» ПУ с клеммой «+» ИП каротажного комплекса.

Включить ПЭВМ и провести установку рабочей программы в соответствии с инструкцией по работе с прибором АИНК.

Включить сетевой выключатель «ПИТАНИЕ ВКЛ/ОТКЛ», находящийся на лицевой панели ПУ. При этом должен начать светиться индикатор «ПИТАНИЕ». Указатель МГ устанавливается в произвольное положение. Индикатор «ВЫХОД» - не светится.

Включить ИП каротажного комплекса. С момента включения ИП начинает мигать индикатор «ВЫХОД».

ВНИМАНИЕ! ЗАПРЕЩАЕТСЯ ВКЛЮЧЕНИЕ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ (ИП) КАРОТАЖНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ВЫКЛЮЧЕННОМ ПУ.

Измерить потребляемый СП ток по цепи «+Упит». Значение тока должно быть не более 80 мА. Убедиться, что напряжение на головке СП находится в диапазоне от 140 до 160 В.

Запустить рабочую программу AinkWinEth.exe в соответствии с инструкцией по работе АИНК. При наличии ошибок в канале связи, которые можно обнаружить по сообщению программы, провести настройку на геофизический кабель.

Дать имя файлу.

Перевести СП в рабочий режим (надпись на кнопке – «Рабочий»). Включить процесс регистрации данных, нажав кнопку «Запись».

Примечания - При нормальном функционировании АИНК, в начале записи бывает одна - две ошибки, вызванные установлением синхронизации при обмене информацией ПУ и СП.

Измерить напряжение между контактами и корпусом на головке СП. При необходимости изменить выходное напряжение ИП $U_{ин}^{раб.}$ таким образом, чтобы напряжение на головке СП находилось в диапазоне от 140 до 160 В. Значение напряжения $U_{ин}^{раб.}$ устанавливать каждый раз при замене ИП или геофизического кабеля.

Измерить потребляемый СП ток по цепи «+Упит». Значение тока должно быть не более 250 мА.

Провести измерение временных спектров в течение 20 - 30 с..

Выключить рабочий режим работы. Для этого:

- а) если $U_{ин}^{раб.}$ больше 170 В, уменьшить значение напряжения на ИП до $U_{ин}^{тест.}$;
- б) перевести СП в тестовый режим (надпись на кнопке – «Тестовый»);
- в) завершить процесс регистрации данных, для этого нажать кнопку «Стоп».

Примечание – Если измерения проводить больше не требуется, выйти из программы, нажав кнопку «Выход».

Проверить функционирование АИНК с блоками формирования метки глубины (МГ) для чего:

- а) вновь запустить программу измерения;
- б) ввести произвольное значение начальной глубины измерения;
- в) подать сигнал квантования по глубине с блока формирования МГ;
- г) установить режим работы от метки глубины нажав кнопку «Таймер/Метка» (надпись на кнопке - «Метка»);
- д) включить тестовый режим нажатием кнопки «Тестовый/Рабочий» (надпись на кнопке - «Тестовый»). В такт с приходом сигнала должен замигать светодиодный индикатор МГ на ПУ. В правом поле экрана будет отслеживаться изменение глубины.
- е) нажать кнопку «Запись», при этом одновременно с приходом сигнала должен замигать индикатор «СИГНАЛ ГЛУБИНЫ» на ПУ. Если приход сигнала не соответствует интервалу 10 см, необходимо ввести программный делитель частоты прихода МГ;
- е) имитировать сигнал прихода магнитной метки глубины(ММГ);
- ж) остановить процесс регистрации данных, нажав кнопку «Стоп»;
- и) выйти из программы, нажав кнопку «Выход».

Выключить аппаратуру в следующем порядке: ИП, ПУ, ПЭВМ.

На этом тестирование АИНК заканчивается.

Отсутствие в процессе тестирования АИНК отклонений от указаний по включению и тестированию является свидетельством исправности составных частей АИНК и правильности их взаимодействия, т.е. готовности аппаратуры к проведению каротажа.

В СП установлено устройство отключения прибора от кабеля при превышении напряжения на головке СП уровня (175 ± 5) В. При этом ток потребления СП падает до «0». Для приведения СП в рабочее положение после отключения необходимо отсоединить ИП, уменьшить напряжение до нормы и снова подключить ИП.

Проведение каротажа

Во время работы с АИНК, учитывая требования безопасности, необходимо:

- а) выключать АИНК в перерывах между работой;
- б) включение рабочего режима допускается проводить:

- вне скважины в условиях проверки технического состояния при нахождении обслуживающего персонала за защитой или на безопасном расстоянии не менее 10 м

от СП;

- при нахождении СП на глубине не менее 5 м от устья скважины в рабочих условиях применения;

в) все манипуляции с СП после проведения скважинных измерений (извлечение из скважины, разборка, транспортирование и др.) допускается проводить только после выдержки не менее 30 мин с момента отключения рабочего режима, с минимальными затратами во времени; при этом братья за кожух прибора на расстоянии не менее 20 см от мишени нейтронной трубки руками, защищенными рукавицами.

Для проведения каротажных измерений подключить АИНК к оборудованию каротажного комплекса в соответствии с рисунком 1.

Собранный и подключенный СП опустить в скважину на глубину 50 м.

Примечание - При длительном (более 30 минут) пребывании СП при температуре воздуха менее 0 °С, его включение можно осуществлять только после 30-ти минутного пребывания в скважинной жидкости.

Включить ПЭВМ и подготовить его к работе.

Включить сетевой выключатель «ПИТАНИЕ», находящийся на лицевой панели ПУ. При этом должен начать светиться индикатор включения «ПИТАНИЕ».

Включить ИП и подать напряжение $U_{ин}^{мест}$, определенное для работы СП с данным геофизическим кабелем.

Запустить программу AinkWinEth.exe, провести измерение в небольшом интервале глубин с проверкой работоспособности с приемом МГ и ММГ. ВНИМАНИЕ! ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ СП УВЕЛИЧИВАТЬ НАПРЯЖЕНИЕ ИП ДО ЗНАЧЕНИЯ $U_{ин}^{раб}$ МОЖНО ТОЛЬКО ПОСЛЕ ПОЯВЛЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ СПЕКТРОВ НЕЙТРОНОВ.

Снять напряжение с СП. Опустить прибор в скважину на начало заданного интервала измерения.

Включить ИП и подать на СП напряжение $U_{ин}^{мест}$.

Дать имя файлу.

Выбрать номера каналов и скорость счета, которая будет отображаться на экране.

Примечание – Рекомендуется использовать зонд 1, канал 20.

Выбрать F и U, установить время квантования 1 с.

Выбрать режим работы от таймера (надпись на кнопке – «Таймер»). Убедиться, что передача данных из СП осуществляется правильно - отсутствует информация об ошибках.

Перевести СП в рабочий режим (надпись на кнопке – «Рабочий»).

Включить процесс регистрации данных, нажав кнопку «Запись». После того, как на мониторе ПК появятся зарегистрированные временные спектры нейтронов, поднять напряжение питания до величины $U_{ин}^{раб}$. Убедиться в нормальном функционировании АИНК, контролируя в течение нескольких минут потребляемый ток и индикаторы отсутствия ошибок связи.

Выключить процесс регистрации, нажав кнопку «СТОП».

Выбрать файл для записи, ввести начальную глубину (с точностью до десятых долей метра), запустить регистрацию от МГ.

Нажать кнопку «Запись» и начать подъем СП вдоль ствола скважины. Скорость каротажа и количество повторных замеров при работе определяется программой работ на скважине.

Контроль процесса измерения осуществляется по каротажной кривой и изображению временных спектров;

После прохождения интервала измерения уменьшить напряжение питания до величины $U_{ин}^{тест}$, выключить излучение нейтронов, переведя СП в тестовый режим в соответствии с Н.4.1 перечисление в) (надпись на кнопке – «Тестовый»), и остановить процесс регистрации данных в файл кнопкой «Стоп».

Примечание - При необходимости повторных замеров опустить прибор на заданную глубину и повторить измерения.

После окончания измерений выйти из программы, нажав кнопку «Выход», выключить аппаратуру в следующем порядке:

- ИП;
- ПУ;
- блоки формирования МГ;
- блоки формирования ММГ;
- ПК.

СП извлечь из скважины, соблюдая правила техники безопасности, протереть ветошью, разобрать, установить заглушки и поместить в транспортную тару.

Меры безопасности при эксплуатации аппаратуры импульсного нейтронного каротажа АИНК-43-50

СП АИНК выполнен во взрывозащищенном исполнении с уровнем взрывозащиты 2 - оборудование повышенной надежности против взрыва. На корпусе СП нанесена маркировка взрывозащиты 2ExsIIATIX

Взрывозащищенность СП обеспечивается следующим образом:

-СП выполнен в корпусе из стали 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72 с дополнительной упрочняющей обработкой и является взрывонепроницаемой оболочкой, обеспечивающей герметичность СП при наружном гидростатическом давлении до 100 МПа;

-места сопряжения деталей СП уплотнены кольцами из резинопolyмера, стойкого к воздействию агрессивных сред. Конструкция и размеры уплотнительных колец и сопрягаемых деталей - по ГОСТ 9833-73;

-все резьбовые соединения выполнены с количеством витков не менее 8.

АИНК во включенном состоянии является источником электрической и радиационной опасности. Неправильное обращение с АИНК может нанести ущерб здоровью персонала и посторонних лиц.

Основными факторами электрической опасности при работах с АИНК являются:

- высокое напряжение (4 кВ) в СП, на выходе БПУ - входе БТ;
- напряжение переменного тока 220 В, 50 Гц;
- напряжение питания СП свыше 140 В.

Основными факторами радиационной опасности при работе с АИНК являются:

-поток быстрых нейтронов, возникающий при срабатывании БТ в СП. При отсутствии биологической защиты быстрые нейтроны создают основную дозу облучения;

-поток тепловых и промежуточных нейтронов, образующихся при замедлении быстрых нейтронов в материалах конструкции СП и окружающей среды. Тепловые и промежуточные нейтроны создают дополнительную дозу облучения. При наличии вблизи СП больших масс, замедляющих и поглощающих материалов, дополнительная доза может быть значительной;

-вторичное гамма-излучение, образующееся при рассеянии и поглощении быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов конструкционными материалами СП и окружающей среды;

-наведенная γ - и β - активность, образующаяся в результате активации быстрыми, промежуточными и тепловыми нейтронами конструкционных материалов СП и окружающей среды; наведенная радиоактивность действует не только во время работы БТ, но и в течение некоторого времени после его выключения.

Результаты измерения мощности дозы ионизирующих излучений на поверхности корпуса АИНК напротив мишени после 1 ч работы с потоком нейтронов $1 \cdot 10^8$ нейтр./с, при фоне до включения генератора от 0,06 до 0,07 мкЗв/ч, приведены в таблице 1

Мощность дозы наведенной активности увеличивается пропорционально потоку нейтронов и времени непрерывной работы.

Таблица 1.

Интервал времени после выключения генератора нейтронов, мин	Мощность дозы, мкЗв/ч	
	Тип дозиметра	
	МКС-01Р (излучение γ и β)	ДБГ-06Т (излучение γ)
10	54	35
20	35	22,3
30	30	10,6
70	20	7,2
120	13,5	6,3
240	7,8	4,5
1320	0,5	0,3

Служба радиационной безопасности потребителя должна производить расчеты доз, получаемых при работе с АИНК, исходя из данных таблицы 1 или собственных измерений и регламента проведения работ, принятого у потребителя. Данные в таблице 1 приведены в качестве примера.

Конструкция аппаратуры обеспечивает безопасность персонала при эксплуатации при условии строгого соблюдения требований, изложенных в настоящем РЭ и в следующих документах (или соответствующих национальных стандартах и правилах):

- «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей»;
- «Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок» (ПОТРМ 016-2001);
- «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009);
- «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ – 99/2010);
- «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных веществ»;
- «Правила пожарной безопасности» ППБ-01-03, раздел 9 «Промышленные предприятия», утвержденные ГУПО МВД.

К работе с АИНК следует допускать персонал не моложе 18 лет, прошедший обязательный медицинский осмотр, аттестацию по проверке знаний указанных стандартов и приемов безопасной работы с АИНК.

ВНИМАНИЕ! ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ УКАЗАНИЙ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ВОЗЛАГАЕТСЯ НА РУКОВОДИТЕЛЕЙ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ, ПРОИЗВОДЯЩИХ КАРОТАЖ.

Задания

Внимание! Включение питания скважинного прибора АИНК-43-50 разрешается только после выхода всех учащихся из обозначенной знаками радиационной опасности защитной зоны (не менее 10 м от излучающей мишени). Вход в защитную зону разрешается только после выключения источника питания скважинного прибора. Выключение питания скважинного прибора АИНК-43-50 производится путем выключения кнопкой И размыкания питающей сети путем извлечения вилки кабеля питания, идущего к пульту управления АИНК-43-50, из клеммы блока питания скважинного прибора.

4.1 Составить схему ядерно-физического эксперимента:

- а) исследование поглощающих и рассеивающих характеристик модели ИНК;
- б) зависимость регистрируемых параметров нейтронных полей от расположения поглощающих и рассеивающих веществ в модели по отношению к скважинному прибору ИНК.

4.2 В соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации АИНК-43-50 разобрать скважинный прибор, установить нейтронный генератор в прибор. Составить структурную схему скважинного прибора и объяснить назначение всех блоков. Разметить на прочном корпусе скважинного прибора размещение зондовой установки — мишени генератора и середины нейтронных счетчиков.

4.3 В соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации АИНК-43-50 собрать скважинный прибор.

4.4 В соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации АИНК-43-50 собрать схему аппаратного комплекса, соединив кабелями скважинный прибор, пульт, источник питания, компьютер.

4.5 Включить аппаратный комплекс и запустить программу регистрации в тестовом режиме, без излучения. Проверить работоспособность комплекса в соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации АИНК-43-50. Выключить питание скважинного прибора.

4.6 Собрать в лабораторной модели ИНК схему №1 (п. 4.1 перечисление а)) размещения моделирующих веществ относительно зондовой установки.

4.7 Включить питание скважинного прибора, запустить рабочий режим с излучением и с записью результатов в файл записав 60 квантов по 5 секунд. Выключить питание скважинного прибора.

4.8 Собрать в лабораторной модели ИНК схему №2 (п. 4.1 перечисление б)) размещения моделирующих веществ относительно зондовой установки.

4.9 Включить питание скважинного прибора, запустить рабочий режим с излучением и с записью результатов в файл записав 60 квантов по 5 секунд. Выключить питание скважинного прибора. Выключить питание аппаратного комплекса АИНК-43-50 и разобрать схему.

4.10 Провести обработку файлов данных, зарегистрированных программой AINKPROC, записать в лабораторный журнал усредненные параметры TAY1, TAY2, S1, S2, RAIT, полученные для схемы №1 и схемы №2. Зарисовать в журнале на полулогарифмическом бланке сравнительные диаграммы временных спектров первого и второго зондов АИНК-43-50 для сравнения рассеивающих и поглощающих нейтронных характеристик лабораторной модели в схем. №1 и в схеме №2. Сделать выводы по результатам сравнений.

Выполнение работы рассчитано на 2 астрономических часа.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

5.1 Титульный лист с названием лабораторной работы, фамилией и группой.

5.2 Цель работы.

5.3 Схема эксперимента с двумя вариантами расположения моделирующих веществ относительно зондовой установки скважинного прибора.

5.4 Схема зондовой установки скважинного прибора АИНК-43-50.

5.5 Схема соединений аппаратного комплекса АИНК-43-50.

5.6 Заполненная таблица проверки работоспособности аппаратного комплекса.

5.7 Заполненная таблица результатов обработки данных ИНК для двух вариантов расположения моделирующих веществ относительно зондовой установки скважинного прибора.

5.8 Изображение сравнительных диаграмм временных спектров для первого и второго зонда АИНК-43-50 для двух вариантов расположения моделирующих веществ относительно зондовой установки скважинного прибора.

5.9 Выводы о экспериментально подтвержденной чувствительности скважинного прибора АИНК-43-50 к изменению расположения моделирующих сред.

Вопросы для самоконтроля

6.1 Типы каротажных нейтронных источников.

6.2 Основные характеристики каротажных нейтронных источников.

6.3 Основные характеристики нейтронных полей в скважине.

- 6.4 Основные нейтронные характеристики среды, окружающей скважину.
- 6.5 Основные геологические характеристики нефтегазовых пластов.
- 6.6 Вид формулы для плотности потока нейтронов в бесконечной однородной среде с поглощением и рассеиванием от точечного дельта-импульсного источника.
- 6.7 Физические основы различения нефтяных пластов от водоносных при ИНК.
- 6.8 Физические основы различения высокопористых пластов от низкопористых.
- 6.9 Структурная схема АИНК-43-50.
- 6.10 Структурная схема скважинного прибора АИНК-43-50.
- 6.11 Состав и назначение программного обеспечения АИНК-43-50.
- 6.12 Основы физического моделирования свойств нефтегазовых пластов для разработки и калибровки аппаратного комплекса ИНК.
- 6.13 Типы каротажных нейтронных генераторов.
- 6.14 Физические основы регистрации нейтронов в АИНК-43-50.
- 6.15 Упрощенная принципиальная схема предварительного усилителя АИНК-43-50.