

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

# АППАРАТУРА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

---

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Специальность 21.05.03 Технология геологической разведки  
Специализация «Геофизические методы исследования скважин»

Квалификация выпускника – горный инженер-геофизик

Ставрополь  
2018

УДК 552.08:53(075.8)  
ББК 26.31:22.3 я73  
А 76

Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
Северо-Кавказского федерального  
университета

**Рецензенты:**

канд. техн. наук, доцент **Т. А. Гунькина**,  
канд. геол.-минерал. наук **С. М. Дудаев**  
(ООО «СевКавнефтегазгеофизика-новые технологии»)

**А 76    Аппаратура геофизических исследований скважин:**  
лабораторный практикум / авт.-сост.: А-Г. Г. Керимов,  
С. Б. Бекетов, Е. В. Сторчак. – Ставрополь: Изд-во СКФУ,  
2018. – 208 с.

Пособие представляет лабораторный практикум, разработанный в соответствии с программой дисциплины и образовательным стандартом.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 21.05.03 Технология геологической разведки, а также для аспирантов, геофизиков и геологов производственных, научных, учебных заведений.

УДК 552.08:53 (075.8)  
ББК 26.31:22.3 я73

**Авторы-составители:**

д-р техн. наук, профессор **А-Г. Г. Керимов**,  
д-р техн. наук, профессор **С. Б. Бекетов**,  
ассистент **Е. В. Сторчак**

© ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский  
федеральный университет», 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	4
1. Многоэлектродная зондовая установка прибора ЭК. Обобщенная схема промыслово-геофизических телеметрических систем приборов ЭК. Использование мультиметров для проверки радиодеталей . . . . .	6
2. Принципы измерений обычными зондами КС. Методы фокусированных зондов . . . . .	24
3. Детекторы ионизационных излучений . . . . .	39
4. Принцип действия электронного блока прибора ДРСТ-3 . . . . .	59
5. Полупроводниковые счетчики. Источники ионизационных излучений . . . . .	67
6. Аппаратура акустических исследований скважин на головных волнах . . . . .	76
7. Калибровка аппаратуры акустического каротажа . . . . .	90
8. Аппаратура для измерения искривления скважины . . . . .	96
9. Компьютеризированная каротажная станция СКГ . . . . .	108
10. Прихватопредельители, прихватомеры и локаторы муфт . . . . .	132
11. Метрологическое обеспечение геофизических исследований скважин. Контрольные скважины . . . . .	155
12. Вспомогательное оборудование ГИС компьютеризированной каротажной станции СКГ . . . . .	176
Приложение А . . . . .	199
Приложение Б . . . . .	202
Литература . . . . .	206

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное пособие позволит студенту освоить работу со скважинными приборами и наземным оборудованием, профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование и средства измерения, получить навыки работы с геофизической аппаратурой электрического, радиоактивного, акустического, термического и других каротажей, а также выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической аппаратуры и оборудования.

Большое разнообразие геофизических методов исследования скважин, многоплановая деятельность геофизических предприятий привели в 80-е годы к общему низкому уровню стандартизации и унификации геофизических приборов и, как следствие, отрицательно сказывались на эксплуатации, ремонте и, в конечном счете, на времени и качестве исследования скважин. В то же время в приборостроительной отрасли страны стали заметны тенденции построения геофизической аппаратуры на основе агрегатирования.

Принципы агрегатирования приборов состоят в выделении элементов (блоков), обладающих наибольшими комбинационными возможностями, и обеспечении их конструктивной, информационной, электрической, метрологической, эксплуатационной совместимости при построении из этих элементов аппаратуры с заданными функциями. Конструктивная совместимость обеспечивается на основе создания и использования унифицированных типовых конструкций при проектировании и производстве аппаратуры; информационная – на основе нормированных входных и выходных сигналов, использования унифицированной телесистемы; электрическая – путем нормирования параметров питания приборов и электронных блоков, использования стандартных межблочных электрических разъемов с единой классификацией позиций контактов и т. д.; метрологическая – внедрением Государственной системы измерений (ГСИ), единого подхода к выбору и нормированию метрологических характеристик блоков системы, а также методами их поверки; эксплуатационная – на основе идентичности эксплуатационных характеристик блоков, таких как термобаростойкость, надежность, условия эксплуатации и др.

**Целью освоения дисциплины** является формирование набора профессиональных компетенций:

– способность профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование, оргтехнику и средства измерения (ПСК-2, 4);

– способность выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях будущего специалиста в области обучения, воспитания и развития, соответствующим целям ОП ВО специальности «Технология геологической разведки» (ПСК-2, 6).

**Задачи дисциплины** – ознакомить студентов функциональным и принципиальным схемам аппаратуры ГИС, а также навыкам работы с приборно-методическими комплексами промысловой геофизики.

Ценность и актуальность настоящего издания заключается в том, что за последние 5 лет не издавались федеральные учебники по приборостроению.

Настоящее издание обобщает многолетний опыт по проведению лабораторных занятий по данной дисциплине, а также опыт предыдущих учебных изданий и фондовых материалов.

# 1. МНОГОЭЛЕКТРОДНАЯ ЗОНДОВАЯ УСТАНОВКА ПРИБОРА ЭК. ОБОБЩЕННАЯ СХЕМА ПРОМЫСЛОВО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИБОРОВ ЭК. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИМЕТРОВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ РАДИОДЕТАЛЕЙ

**Цель работы.** Изучение конструкции многоэлектродной установки электрического каротажа.

## **Формируемые компетенции или их части**

ПСК-2,4 – способность профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование, оргтехнику и средства измерения.

## **Теоретическая часть**

Измерения кажущегося сопротивления (КС) выполняют обычными зондами, специальными зондами КС и микрондами. Наиболее широко применяемый обычный зонд состоит из трех электродов, располагаемых вдоль оси скважины на некотором расстоянии один от другого. Кроме этих электродов используется электрод, находящийся вдали от зонда (например, на поверхности). Через два электрода, называемых питающими или токовыми и обозначаемых буквами А и В, пропускают ток, создающий электрическое поле в породе. При помощи двух других электродов, называемых измерительными и обозначаемых буквами М и N, измеряют разность потенциалов  $\Delta U$  между двумя точками этого поля.

Чтобы определить, как связана измеряемая разность потенциалов  $\Delta U$  с сопротивлением, используем характеристики: электрический потенциал  $U$ , градиент потенциала  $gradU$ , плотность тока электрического поля, возникающего в однородной среде с удельным сопротивлением  $\rho_k$ , при пропускании через точечный электрод А ток силой  $I(1)$ :

$$\rho_k = K \frac{\Delta U}{I}, \quad (1.1)$$

где  $K$  – коэффициент зонда,  $K = 4\pi \frac{AM * AN}{AN}$ ;  $\Delta U$  – измеряемая разность потенциалов;  $I$  – сила тока.

Полученное таким образом значение  $\rho_k$  называют кажущимся удельным электрическим сопротивлением (КС). КС является

функцией многих физических величин (удельных сопротивлений и мощностей пластов и вмещающих пород, диаметра скважины и заполняющей ее промывочной жидкости, характера изменений в прилегающей к скважине части пласта) и свойств зондов (типа и размера). Таким образом, задача измерений КС состоит в том, чтобы, используя свойства зондов, получить перечисленные выше влияющие величины, т. е. полезную геологическую информацию. Для этого разработано множество модификаций зондов КС (стандартных, специальных, микрозондов) и методик измерений, например боковое электрическое зондирование и др.

Чтобы иметь сопоставимые данные, все измерения в скважинах одного и того же района проводят одинаковыми (одним или двумя) стандартными для данного района зондами. Стандартный зонд выбирают так, чтобы регистрируемая кривая сопротивления была наиболее благоприятной для решения поставленных геологических задач: четкое расчленение геологического разреза, выделение перспективных пластов и правильное определение удельного сопротивления пород. В качестве стандартных для нефтяных и газовых скважин обычно применяют градиент-зонд длиной около 2 м и потенциал-зонд длиной 0,5 (0,75) м.

Боковое каротажное зондирование (БКЗ) заключается в проведении в исследуемом интервале скважины измерений несколькими градиент-зондами различной длины. По результатам БКЗ определяют сопротивление пласта, сопротивление и диаметр зоны проникновения, уточняют сопротивление промывочной жидкости.

Микрозондирование состоит в измерении КС зондами небольшого размера, укрепленными на внешней стороне резинового башмака, которой прижимается к стенке скважины. Для прижатия башмака к стенке скважины применяют рессорное (МДО) или управляемое рычажное прижимное устройство Э-2. Управляемое прижимное устройство позволяет выполнить одновременные измерения микрозондами и микрокаверномером. Микрозондирование применяют для выделения коллекторов, определения границ пластов и др.

Для измерения КС применяют многоэлектродные зондовые установки. Число электродов и расстояния между ними выбирают такими, чтобы можно было выполнить измерения стандартной электротометрии и бокового электрического зондирования комплектом зондов БКЗ: однополюсными, последовательными градиент-зондами

A0,4M0,1N; A1,0M0,1N; A2,0M0,5N; A4,0M0,5N; A8,0M1,0N и однополюсным обращенным градиент-зондом N0,5M2,0A.

Особенности конструкции многоэлектродной установки определяются заданным комплектом зондов, способами закрепления электродов и соединения зонда с кабелем и скважинным прибором (рис. 1.1). Нижний конец зондовой установки снабжен зондовым наконечником 3 для механического и электрического соединения со скважинным прибором, сверху расположена стандартная кабельная головка 1, служащая для присоединения к геофизическому кабелю.

Для изготовления многоэлектродных зондовых установок применяют специальный 17-жильный кабель типа КГ17-60-180ШМ в шланговом защитном и изоляционном покрытии. К 16 жилам этого кабеля в соответствующих местах припаивают стальные или свинцовые (для измерения ПС) электроды 2. Для парных электродов выбирают рядом расположенные провода. Места их присоединения тщательно изолируют, сопротивление изоляции должно быть не менее  $10 \text{ МОм}$ . Для предотвращения трения электродов о стенки скважины по обе стороны от каждого электрода устанавливают утолщения из сырой резины. Электроды изготавливают в виде кольца или спирали длиной 4–5 см.

### **Обобщенная схема промышленно-геофизических телеметрических систем приборов ЭК**

В аппаратуре электрического каротажа широко используется, четырехканальная телеизмерительная система с частотной модуляцией и частотным разделением каналов ЧМ-ЧР. Основным элементом этой системы является преобразователь частоты (рис. 1.2), предназначенный для преобразования входного сигнала в частотно-модулированный сигнал с девиацией частоты, пропорциональной амплитуде входного сигнала.

Преобразователь содержит входной усилитель на лампе V1, симметричный мультивибратор на лампах V2-V3 и двухзвенный RC-фильтр (R8, C3, R9, C4).

К части анодной нагрузки входного усилителя подключены сеточные цепи симметричного мультивибратора. Собственная частота мультивибратора определяется параметрами элементов сеточных цепей (C1, C2, R4, R6) и напряжением в точке соединения резисторов R2 и R3. Заданная частота устанавливается путем подбора резисторов R5, R7.



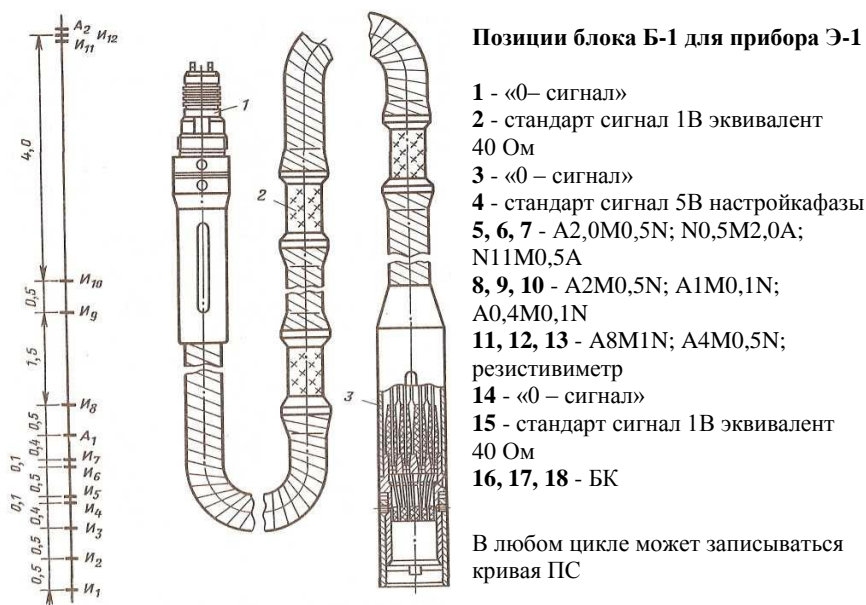


Рис. 1.1. Многоэлектродная зондовая установка прибора Э-1:  
 а – схема многоэлектродной зондовой установки аппаратуры Э-1;  
 б – конструкция зондовой установки

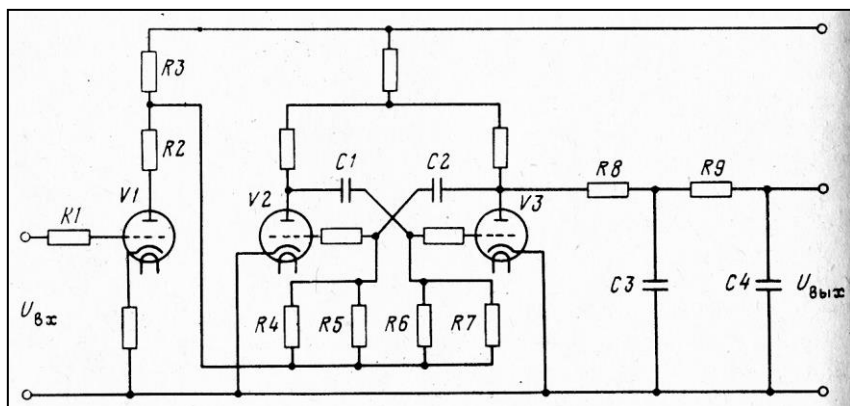


Рис. 1.2. Принципиальная схема преобразователя частоты электрического каротажа

При подаче сигнала на вход преобразователя изменяется напряжение на анодной нагрузке входного усилителя и, следовательно, напряжение питания сеточных цепей мультивибратора. При этом частота мультивибратора будет изменяться пропорционально входному сигналу, т. е. образуется частотно-модулированный сигнал. Этот сигнал с анода лампы V3 поступит на фильтр нижних частот, срезающий высокочастотные составляющие спектра импульсов мультивибратора, а затем подается на суммирующий каскад одновременно с частотно-модулированными сигналами других каналов.

В связи со значительным многообразием телеизмерительных систем (в том числе и скважинных) в основу их классификации могут быть положены различные признаки: принцип действия, род измеряемой величины, дальность действия и т. п. Наибольшее распространение получила классификация по параметру сигнала, передающего измерительную информацию.

Для формирования сигнала могут быть использованы постоянные состояния, колебания или импульсы любой физической природы, которые рассматриваются как носители информации. Как уже отмечалось, в скважинных телеизмерительных системах обычно используют электрические каналы связи, поэтому в них передача информации осуществляется путем изменения одного из параметров тока или напряжения. Процесс управления этим параметром посредством измеряемой величины называется модуляцией, преобразуемый электрический сигнал несущим, а сама измеряемая величина модулирующим сигналом. Основное назначение модуляции уменьшить действие помех в канале связи.

Если несущий сигнал изменяется по гармоническому закону, то изменению могут подвергаться амплитуда, частота или фаза колебания. Соответственно происходит частотная, амплитудная или фазовая модуляция.

### **Оборудование и материалы**

Исходными данными для выполнения работы является прибор Э-1 с зондовым устройством, мультиметр и радиодетали.

**Указания по технике безопасности.** К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности (Приложение Б).

## **Задания**

1. Изучить распределение токовых и измерительных электродов на зонде зондовой установке прибора Э-1.
2. Изучить связь, существующую между измеряемой разностью потенциалов  $\Delta U$  с сопротивлением горных пород.
3. Рассчитать значения КС для различных зондов БКЗ при  $U = 1, 10$  или  $100$  В и  $I = 400$  мА.
4. Вычертить принципиальную схему преобразователя частоты электрического каротажа.
5. Изучить принцип действия радиодеталей.

## **Указания по порядку выполнения работы**

### **1. Выполнить по блочное разбиение принципиальной схемы преобразователя частоты**

Принципиальную схему преобразователя частоты электрического каротажа условно можно разбить на 3 блока: входной усилитель на лампе V1, симметричный мультивибратор на лампах V2-V3 и двухзвенный RC-фильтр (R8, C3, R9, C4) см. рис. 1.2.

**!** Обратите внимание, на работу каждого элемента схемы.

Описать принцип действия каждой радиодетали входящей в состав схемы.

### **2. Изучить принцип действия трехэлектродной лампы**

Электронная лампа, имеющая три электрода, называется *триодом*. Устройство одного из типов триодов показано на рис. 1.3.

Триод отличается от диода тем, что между его катодом и анодом находится металлическая сетка, выполненная в виде проволочной спирали. Между сеткой и катодом включается напряжение, которое называется сеточным напряжением  $U_c$ . Анод и катод присоединяются, как у диода, к штырькам цоколя лампы.

Благодаря своему расположению сетка при определенных условиях, о которых будет сказано ниже, помогает или мешает электронам, вылетевшим с катода, достигнуть анода

Когда напряжение на сетке триода равно нулю, лампа работает как диод. Приложенное между сеткой и катодом напряжение  $U_c$  создает дополнительное электрическое поле, воздействующее на летящие от катода к аноду электроны.

Когда на сетку триода подается отрицательное напряжение, вылетающие из катода электроны оказываются под действием

притягивающей силы положительно заряженного анода и отталкивающей силы отрицательно заряженной сетки. Если отрицательное напряжение на сетке мало, то ее отталкивающая сила, действующая на электроны, невелика, и поэтому часть электронов пролетает через сетку к аноду.

Однако с увеличением отрицательного напряжения на сетке отталкивающая сила, действующая на электроны, возрастает. Вследствие этого сквозь сетку к аноду пролетает меньшее число электронов и анодный ток уменьшается.

При некотором значении отрицательного напряжения на сетке величина ее отталкивающей силы становится настолько большой, что ни один электрон не в состоянии пролететь сквозь сетку к аноду; анодный ток становится равным нулю. В этот момент лампа «заперта».

Если к сетке приложить не отрицательное, а положительное напряжение, то на электроны будут действовать две одинаково направленные силы положительного электрического поля и сетки. Благодаря этому большая часть электронов пролетит сквозь сетку и достигнет анода.

При достаточно большом значении положительного напряжения на сетке анодный ток увеличивается до максимального значения.

Сетка находится ближе к катоду, чем анод; поэтому изменение напряжения на ней значительно сильнее влияет на величину анодного тока, чем такое же изменение напряжения на аноде. Это позволяет путем небольшого изменения сеточного напряжения  $U_c$  значительно изменять величину анодного тока.

Таким образом, при помощи изменения напряжения, подаваемого на сетку, можно управлять величиной тока в анодной цепи лампы. Поэтому сетку называют *управляющей*.

Из сказанного следует, что триод изменяет свое сопротивление в зависимости от величины (и знака) напряжения, подаваемого на сетку. Это значит, что трехэлектродная лампа является регулируемым сопротивлением.

Триод имеет анодно-сеточную характеристику, которая показывает зависимость анодного тока от напряжения на сетке при неизменном напряжении на аноде лампы.

С изменением сеточного напряжения от некоторого отрицательного значения до нуля анодный ток изменяется от нуля до

определенной величины. Чем выше напряжение на аноде, тем больше величина анодного тока при данном напряжении на сетке.

Важным показателем, характеризующим свойства триода, является коэффициент усиления.

Густая и близко расположенная к катоду сетка воздействует на электроны гораздо сильнее, чем далеко расположенный анод. Поэтому изменить анодный ток на некоторую определенную величину можно либо соответствующим изменением анодного напряжения, либо значительно меньшим изменением напряжения на сетке.

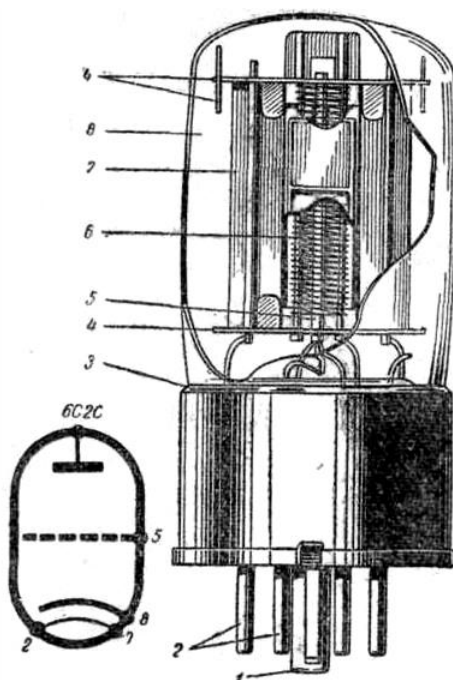


Рис. 1.3. Устройство триода и его условное обозначение: 1 – ключ, 2 – штырьки, 3 – цоколь, 4 – слюдяные изоляторы, 5 – катод, 6 – сетка, 7 – анод, 8 – баллон

### 3. Изучить принцип действия резистора

**Резистор** (англ. resistor от лат. resisto – сопротивляюсь) один из самых распространенных радиоэлементов. Даже в простом

*транзисторном* приемнике число резисторов достигает нескольких десятков, а в современном телевизоре их не менее двух-трех сотен.

Резисторы используют в качестве нагрузочных и токоограничительных элементов, делителей напряжения, добавочных сопротивлений и шунтов в измерительных цепях и т. д.

Основным параметром резистора является **сопротивление**, характеризующее его способность препятствовать протеканию электрического тока. Сопротивление измеряется в омах, килоомах (тысяча Ом) и мегаомах (1 000000 Ом).

Классификация резисторов: постоянные резисторы; переменные резисторы; регулируемые; подстроечные; нелинейные.

Существуют две схемы включения переменных резисторов в электрическую цепь. В одном случае их используют для регулирования тока в цепи, и тогда регулируемый резистор называют реостатом, в другом – для регулирования напряжения, тогда его называют потенциометром. Показанное на рис. 1.4 условное графическое обозначение используют, когда необходимо изобразить реостат в общем виде.

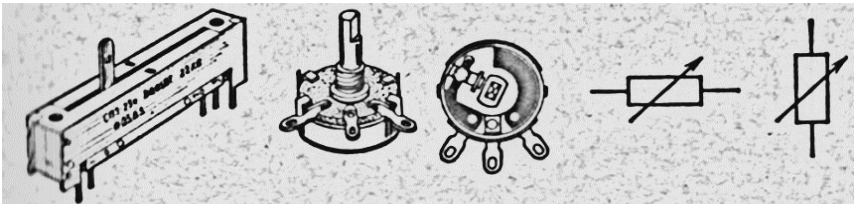


Рис. 1.4. Реостаты и переменные резисторы – условное обозначение

Номинальную мощность рассеяния резистора (от 0,05 до 5 Вт) обозначают специальными знаками, помещаемыми внутри символа (рис. 1.5).

#### 4. Изучить принцип действия конденсатора

Конденсатор (от лат. condensatio – «накопление») – двухполюсник с определённым или переменным значением ёмкости и малой проводимостью; устройство для накопления заряда и энергии электрического поля (рис. 1.6).

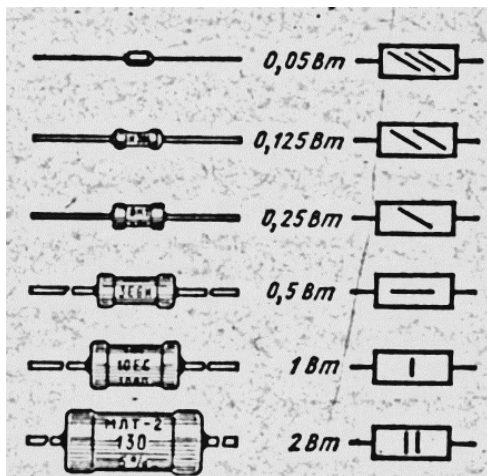


Рис. 1.5. Обозначение мощности резисторов



Рис. 1.6. Разновидности конденсаторов

Конденсатор является пассивным электронным компонентом. В простейшем варианте конструкция состоит из двух электродов в форме пластин (называемых обкладками), разделённых диэлектриком, толщина которого мала по сравнению с размерами обкладок. Практически применяемые конденсаторы имеют много слоёв диэлектрика и многослойные электроды, или ленты чередующихся диэлектрика и электродов, свёрнутые в цилиндр или параллелепипед со скруглёнными четырьмя рёбрами (из-за намотки).

Конденсатор в цепи постоянного тока может проводить ток в момент включения его в цепь (происходит заряд или перезаряд конденсатора), по окончании переходного процесса ток через конденсатор не течёт, так как его обкладки разделены диэлектриком. В цепи же переменного тока он проводит колебания переменного тока посредством циклической перезарядки конденсатора, замыкаясь так называемым током смещения.

**Характеристики конденсаторов:** ёмкость; удельная ёмкость; плотность энергии; номинальное напряжение; поляриность.

### 5. Проверка работоспособности радиодеталей

Мультиметр прибор для проверки радиодеталей представлен на рис. 1.7.



Рис. 1.7. Общий вид цифрового мультиметра

С помощью мультиметра представляется возможным проверить следующие радиодетали: транзисторы биполярные, транзисторы полевые, конденсаторы, резисторы, диоды, индуктивность, тиристоры, шлейф/разъём, микросхемы/ИМС.





Рис. 1.8. Транзисторы биполярные

### **Транзисторы биполярные**

Чаще всего, строят в схемах транзисторы. Вначале необходимо прозвонить переходы База-Эмиттер и База-Коллектор. Они должны проводить ток в одном направлении, но не в обратном. Для удобства транзистор можно представить его в виде двух диодов. Так же стоит прозвонить переход Эмиттер-Коллектор. Точнее это 2 перехода. В любом транзисторе, ток не должен проходить через них в любом направлении, пока транзистор закрыт. Если же на Базу подали напряжение, то ток протекая через переход База-Эмиттер откроет транзистор, и сопротивление перехода Эмиттер-Коллектор резко упадёт, почти до нуля. Учтите, что падение напряжения на переходах транзистора обычно не ниже 0,6 В. А у сборных транзисторов (Дарлингтонов) более 1,2В. Поэтому некоторые «китайские» мультиметры с батарейкой в 1,5 В просто не смогут их открыть.

Следует учесть, что в некоторых современных транзисторах параллельно с цепью Коллектор-Эмиттер встроены диоды. Так что стоит изучить транзистор, если Коллектор-Эмиттер звонится в одну сторону!

Если хотя бы одно из утверждений не подтверждается, то транзистор нерабочий. Но прежде чем заменить его, проверьте оставшиеся детали. Возможно причина в них!

### **Полевые транзисторы униполярные**

У исправного полевого транзистора между всеми его выводами должно быть бесконечное сопротивление. Причем бесконечное

сопротивление прибор должен показывать независимо от прикладываемого тестового напряжения. Следует заметить, что имеются некоторые исключения.

Если при проверке приложить положительный щуп тестового прибора к затвору транзистора n-типа, а отрицательный – к истоку, зарядится емкость затвора и транзистор откроется. При замере сопротивления между стоком и истоком прибор покажет некоторое сопротивление. Неопытные ремонтники могут принять такое поведение транзистора за его неисправность. Поэтому перед «прозвонкой» канала «сток-исток» замкните накоротко все ножки транзистора, чтобы разрядить емкость затвора. После этого сопротивление сток-исток должно стать бесконечным. В противном случае транзистор признается неисправным.

Учтите ещё, что в современных мощных полевых транзисторах между стоком и истоком имеется встроенный диод поэтому канал «сток-исток» при проверке ведет себя как обычный диод. Для того чтобы избежать досадных ошибок, помните о наличии такого диода и не примите это за неисправность транзистора.

### **Конденсаторы**

Конденсаторы – ещё одна разновидность радиодеталей. Они тоже довольно часто выходят из строя. Чаще всего выходят из строя электролитические конденсаторы, плёнки и керамика портятся несколько реже.

Для начала, платы стоит обследовать визуально. Обычно вышедшие из строя конденсаторы (электролиты) надуваются, а многие даже взрываются. Керамические конденсаторы не надуваются, но могут взорваться, что тоже заметно. Их, как и электролиты надо прозванивать (рис. 1.9). Ток они проводить не должны.

Перед началом электронной проверки конденсатора необходимо провести механическую проверку целостности внутреннего контакта его выводов. Для этого достаточно поочерёдно согнуть выводы конденсатора под небольшим углом, и аккуратно поворачивая их в разные стороны, а также слегка потягивая на себя, убедиться в их неподвижности. В случае, если хотя бы один вывод конденсатора свободно вращается вокруг своей оси, или свободно вынимается из корпуса, то такой конденсатор считается не пригодным и дальнейшей проверке не подлежит.



Рис. 1.9. Как необходимо прозванивать конденсатор

Ещё один интересный факт – заряд/разряд конденсаторов (рис. 1.10). Это можно заметить, если мерять сопротивление конденсаторов, ёмкостью более 10 мкФ. Оно есть и у меньших емкостей, но не так заметно выражен! Как только подключаются щупы, сопротивление будет единицы Ом, но в течение секунды вырастет до бесконечности! Если мы поменяем щупы местами, эффект повторится.

Соответственно, если конденсатор проводит ток, или не заряжается, то он уже негодный.

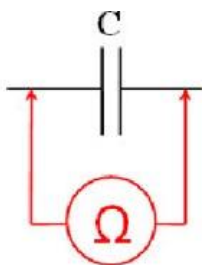


Рис. 1.10. Проверка конденсатора методом заряд/разряд

## Резисторы

Резисторы – их больше всего на платах, но они не часто выходят из строя. Проверить их просто, достаточно сделать одно измерение – проверить сопротивление (рис. 1.11).

Если оно меньше бесконечности и не равно нулю, то резистор скорее всего пригоден к использованию. Обычно, мёртвые резисторы чёрные – перегретые! Но чёрные бывают и живыми, хотя их

тоже стоит заменить. После нагрева, их сопротивление могло измениться от номинального, что плохо повлияет на работу устройства! Вообще стоит прозвонить все резисторы, и если их сопротивление отличается от номинального, то лучше заменить. Заметьте, что отличие от номинала на  $\pm 5\%$  считается допустимым.

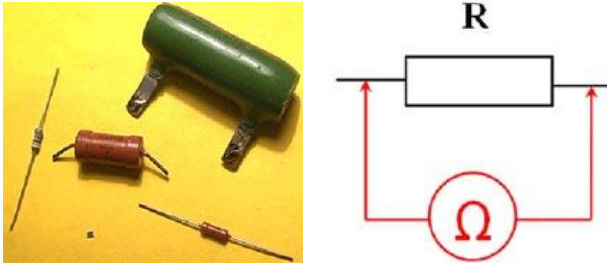


Рис. 1.11. Проверка резистора

### Диоды

Проверить диоды проще всего (рис. 1.12). Померили сопротивление, с плюсом на аноде, показывать должно несколько десятков/сотен Ом. Померили с плюсом на катоде – бесконечность. Если не так, то диод стоит заменить.



Рис. 1.12. Процедура проверки диода

### **Индуктивность**

Причины выхода индуктивности из строя две. Первая – короткое замыкание витков, а вторая – обрыв. Обрыв вычислить легко – достаточно проверить сопротивление катушки. Если оно меньше бесконечности, то всё ОК. Сопротивление индуктивностей обычно не более сотен Ом. Чаще всего несколько десятков. Короткое замыкание между витков вычислить несколько труднее. Надо проверить напряжение самоиндукции. Это работает только на дросселях/трансформаторах, с обмотками в 1000 витков. Надо подать импульс низковольтный на обмотку, А после, замкнуть эту обмотку лампочкой газоразрядной. Импульс обычно подают, слегка касаясь контактов КРОНЫ. Если индикатор в итоге мигнёт, то всё норм. Если нет, то либо КЗ витков, либо очень мало витков.

### **Тиристоры**

Ещё один важный ключевой элемент – тиристор. Тиристоры так же бывают симметричные. Называются симисторы! Проверить и те и другие – просто.

Берём омметр, плюсовой щуп подключаем к аноду, минусовой к катоду. Сопротивление равно бесконечности. Затем управляющий электрод (УЭ) подсоединяем к аноду. Сопротивление падает до где-то сотни Ом. Затем УЭ отсоединяем от анода. По идее, сопротивление тиристора должно остаться низким – ток удержания.

Но учтите, что некоторые «китайские» мультиметры могут выдавать слишком маленький ток, так что если тиристор закрылся, ничего страшного! Если он всё же открыт, то убираем щуп от катода, а через пару секунд присоединяем обратно. Теперь тиристор / симистор точно должен закрыться. Сопротивление равно бесконечности!

Если некоторые тезисы не совпадают с действительностью, то Ваш тиристор / симистор нерабочий.

### **Шлейф/разъём**



Проверить различного рода шлейфы, переходники, разъёмы и др. довольно просто. Для этого надо прозвонить контакты. В шлейфе каждый контакт должен звониться с одним контактом на другой стороне. Если контакт не звонится ни с каким другим, то в шлейфе обрыв. Если же он звонится с несколькими, то, скорее всего, в шлейфе короткое замыкание. Тоже самое с переходниками и разъёмами. Те из них, которые с обрывом или коротким замыканием считаются бракованными и использованию не подлежат!

### Микросхемы/ИМС

Микросхем великое множество, они имеют много выводов и выполняют разные функции (рис. 1.13). Поэтому проверка микросхемы должна учитывать её функциональное назначение. Точно убедиться в целости микросхем довольно трудно. Внутри каждая представляет десятки-сотни транзисторов, диодов, резисторов и др. Есть такие гибриды, в которых одних только транзисторов более 2 000 000 000 штук.



Рис. 1.13. Общий вид микросхем

Если видно внешнее повреждение корпуса, пятна от перегрева, раковины и трещины на корпусе, отставшие выводы, то микросхему стоит заменить – она скорее всего с повреждением кристалла. Греющаяся микросхема, назначение которой не предусматривает её нагрева, должна быть так же заменена.

Полная проверка микросхем может осуществляться только в устройстве, где она подключена так, как ей полагается. Этим устройством может быть либо ремонтируемая аппаратура, либо специальная, проверочная плата. При проверке микросхем используются данные типового включения, имеющиеся в спецификации на конкретную микросхему.

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

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности Приложение Б.

#### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какие электроды устанавливаются на зонде прибора ЭК?
2. Какая связь существует между измеряемой разностью потенциалов  $\Delta U$  с сопротивлением горных пород?
3. Функцией каких физических величин является кажущееся удельное электрическое сопротивление (КС)?
4. Дайте определение бокового каротажного зондирования (БКЗ). Количество зондов, входящих в состав БКЗ.
5. Из чего изготавливают многоэлектродные зондовые установки?
6. Позиции блока Б-1 для прибора Э-1?
7. Вычертить и описать телеизмерительную систему с частотной модуляцией и частотным разделением каналов?
8. Принцип действия и назначение трехэлектродной лампы в схеме частотного преобразователя?
9. Предназначение резистора и конденсатора в схеме частотного преобразователя?
10. Как проверять радиодетали?

## 2. ПРИНЦИПЫ ИЗМЕРЕНИЙ ОБЫЧНЫМИ ЗОНДАМИ КС. МЕТОДЫ ФОКУСИРОВАННЫХ ЗОНДОВ

**Цель работы.** Освоение принципа измерения УЭС обычными и фокусированными зондами.

### **Формируемые компетенции или их части**

ПСК-2,4 – способность профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование, оргтехнику и средства измерения.

ПСК-2,6 – способность выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях.

### **Теоретическая часть**

Прибор электрического каротажа, например Э-1, предназначен для измерения кажущегося удельного сопротивления ( $\rho_k$ ) горных пород, пересеченных бурящейся скважиной, методами стандартного каротажа (КС), бокового каротажного зондирования (БКЗ) и трехэлектродного бокового каротажа (БК-3), удельного электрического сопротивления ( $\rho_c$ ) промысловой жидкости (резистивиметр), потенциала самопроизвольной поляризации (ПС).

Диапазон изменения КС необычайно велик и даже в пределах одной скважины измеряемый параметр может изменяться в тысячи раз. Изменяемый параметр выдается в виде напряжения переменного тока с частотой от нескольких единиц до сотен герц.

У всех современных скважинных приборов зондирующим током является ток питания скважинного прибора с частотой 300 или 400 Гц. При скорости проведения электрометрии до 3600 м/ч, которая допускается для скважинных приборов без прижимных устройств, и при шаге квантования по глубине 0,1 м частота дискретизации не превышает 10 Гц.

Чтобы передать информацию о сопротивлении пород, пересеченных скважиной, сигналы, снимаемые с зондов, преобразуют в электрический сигнал, согласованный с параметрами геофизического кабеля, являющегося линией связи между скважинным прибором и наземной аппаратурой. Предварительно эти сигналы приводятся к единому формату, причем для каждого сигнала необходим признак, позволяющий различать сигналы, относящиеся к тому или другому зонду. Этим признаком может быть частота, по-



лярность или длительность импульса, временное положение сигнала, соответствующая сигналу кодовая комбинация и др.

Для приборов электрметрии скважин были опробованы практически все возможные методы модуляции: амплитудный, частотный, времяимпульсный, однако широкое практическое применение получила только разработанная в Грозном система с частотной модуляцией и частотным разделением каналов (рис. 2.1), которая была использована и приспособлена ко всем приборам электрметрии. В аппаратуре связь скважинного прибора с наземным комплексом осуществляется при помощи одножильного бронированного кабеля.

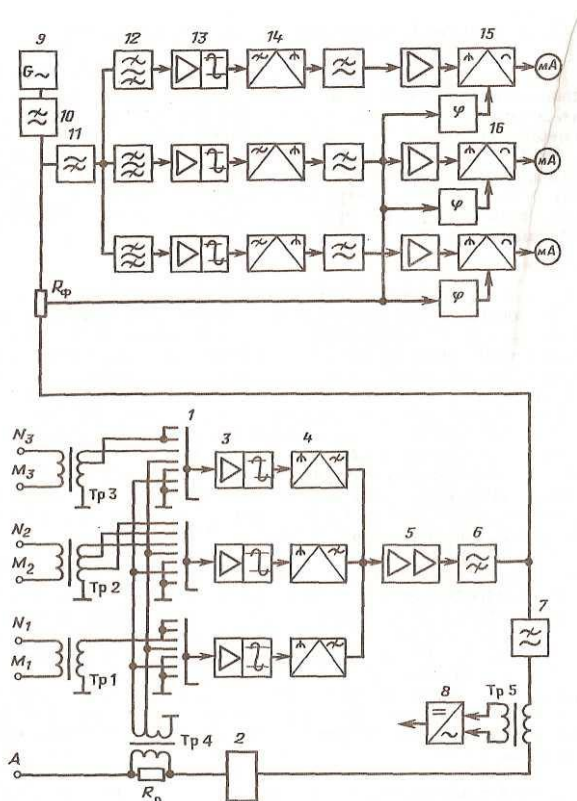


Рис. 2.1. Функциональная схема частотной телеизмерительной системы электрметрии

## Методы фокусированных зондов

При повышенных значениях  $r_n/r_c$ , особенно в пластах ограниченной мощности, дифференциация кривых КС ухудшается, что обусловлено шунтирующим влиянием скважин, вмещающих пород и частично зоны проникновения. Указанные недостатки могут быть уменьшены методами фокусированных зондов с так называемым регулированием электрического поля: при помощи зондов-пробок, боковым, дивергентным, дифференциально-дивергентным методами и др. Эти методы имеют систему дополнительных (по сравнению с обычными зондами КС) электродов и снабжены автоматическими устройствами, осуществляющими непрерывное регулирование электрического поля электродов зонда. В зондах бокового метода применена фокусировка питающих электродов, а в дивергентном– измерительных (рис. 2.2).

По степени разработанности теории, аппаратуры и методики выполнения измерений в скважинах боковой метод значительно превосходит все остальные методы с регулированием поля. Поэтому он находит широкое применение при геофизических исследованиях нефтяных и газовых скважин.

Построение аппаратуры БК имеет следующие особенности: фокусировка тока центрального электрода, регулирование тока экранных электродов, равенство потенциалов контрольных электродов, измерение потенциала контрольного электрода и др.

Основными источниками помех в работе скважинного прибора БК являются индуктивные наводки в зондовой установке. Наводки могут вызываться неправильным симметрированием жил, кабеля, идущих к удаленному токовому и измерительному электродам, и др. поэтому проверять аппаратуру БК при помощи калибровочного устройства необходимо при полностью собранном приборе, обязательно с подключенной косой. В этом случае при проверке будут учтены возможные наводки в цепях зонда и его косы.

Зонды БК-3 при правильном выборе размеров электродов питаются с поверхности стабилизированным током. При движении зонда по скважине плотность тока, стекающего с его центрального электрода в окружающую среду, меняется соответственно проводимости пород. Измеряются потенциал Любого электрода и ток, протекающий через центральный электрод, последний измеряется при помощи шунта в его цепи. Условием фокусировки зонда БК-3

является равенство потенциалов всех трех его электродов, но поскольку центральный электрод зонда соединяется с экранными электродами через шунт, то появляются значительные искажения за счет его сопротивления.

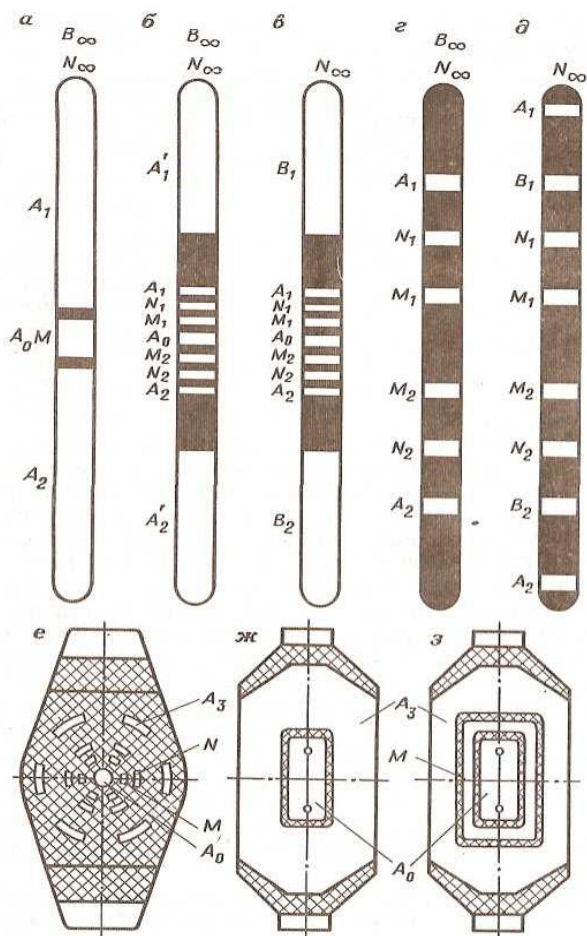


Рис. 2.2. Схемы расположения электродов фокусированных зондов БК  
 Зонды БК: а – 3-электродный (ТБК, АБК-Г, Э1); б – 7-электродный;  
 в – 9-ти электродный псевдобочковой (БКС-2); г – дивергентный;  
 д – дифференциально-дивергентный.

Микрозонды: е – 4-электродный; ж – 2-электродный; з – 3-электродный

Для передачи по кабелю сигналов, пропорциональных измеряемым величинам  $U$  и тока  $I$ , применяется телеизмерительная система с частотной модуляцией и частотным ( $\mathcal{E}$ -1) или временным ( $\mathcal{E}$ -31) разделением сигналов.

**Микрозонд** с кольцевыми электродами применяется на практике в варианте двухэлектродного фокусированного микрозонда, аналогичного БК-3, который отличается от БК небольшими размерами зонда и установкой его на электроизоляционном башмаке, прижимаемом к стенке скважины (см. рис 2.2 е, ж,з). Указанные отличия определяют его основные свойства: малую глубинность, позволяющую исследовать породы на расстоянии *до 10 см* от стенки скважины (удельное сопротивление промытой зоны проницаемого пласта); сильное влияние глинистой корки и промывочной жидкости, находящейся между башмаком микрозонда и горной породой при толщине промежуточного слоя более 10 мм; на результаты измерений оказывает влияние контактное сопротивление электродов, которое необходимо учитывать при количественных измерениях при  $\rho_c < 0,2$  Ом и др.

**Прибор электрометрии комплексный  $\mathcal{E}$ -31** (рис. 2.3) предназначен для измерения кажущихся удельных электрических сопротивлений горных пород зондами БК-3 стандартными зондами КС, бокового электрического зондирования, и потенциалов самопроизвольной поляризации (ПС). Прибор обеспечивает проведение измерений всем комплексом зондов за один спуск-подъем. Прибор эксплуатируется совместно с блоком электрометрии Б-31.

Конструктивной основой зонда  $\mathcal{E}$ -31 является отрезок геофизического кабеля, изолированный поверх брони несколькими слоями фторопластовой и резиновой ленты. На этой основе размещены токовые и измерительные электроды зондов КС и БКЗ. Зонд покрыт слоем прорезиненной ткани. Верхний конец зонда снабжен стандартной кабельной головкой, нижний – зондовым наконечником. Центральный электрод зонда БК собран на полом основании, внутри которого на шасси размещены узлы электронной схемы. Изоляция центрального электрода относительно экранных обеспечивается прокладками *из слюды и резиновыми втулками*.

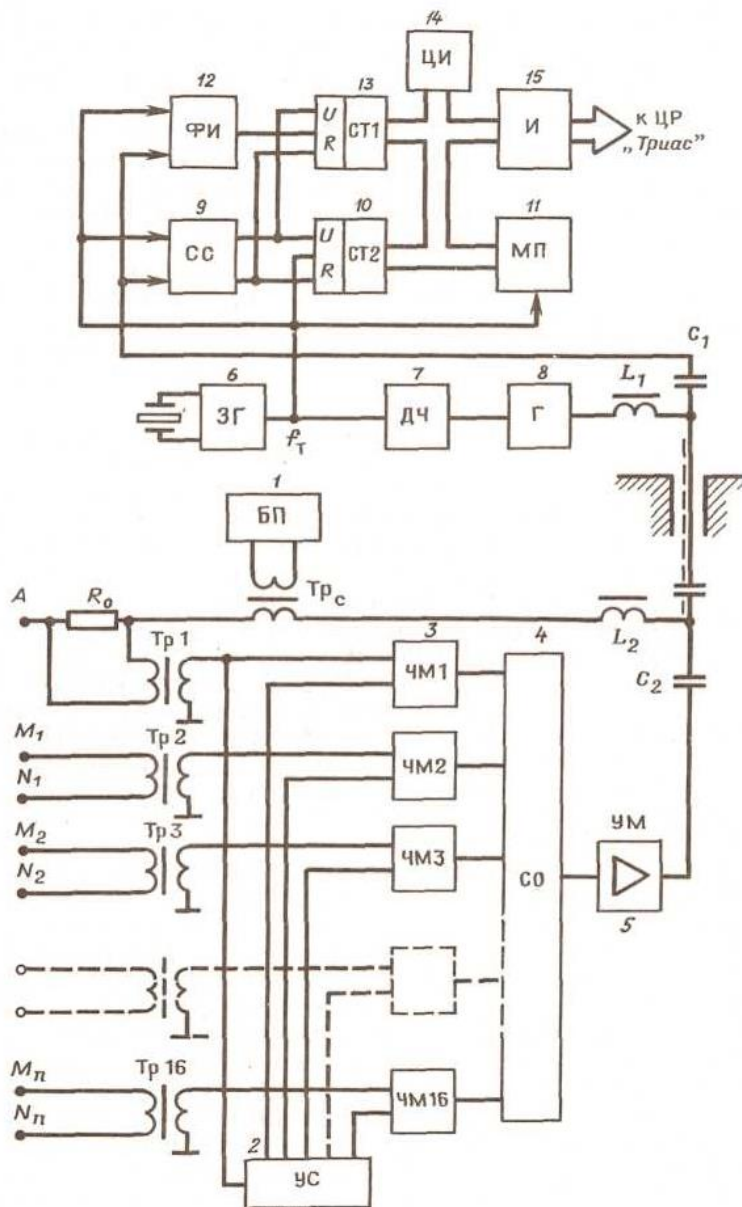


Рис. 2.3. Функциональная схема комплексного прибора Э-31 с наземным блоком Б-31

Последовательность передачи информационных сигналов в наземный блок и подключения токовых электродов А1, А2 зондов БЭЗ, А<sub>0</sub>и А<sub>3</sub> зонда БК приведена в табл. 2.1. Например: позиция 8 токовый эл/т А<sub>2</sub>.

Таблица 2.1  
Последовательность измерений и подключения электродов скважинного прибора Э-31

№	Измеряемый параметр	Зонды	Электроды
1	Стандарт сигнал	-	
2	КС	А0.4М0.1N	А <sub>1</sub>
3	КС	А1.0М0.1N	
4	КС	А2.0М0.5N	
5	КС	Н0.5М2.0А	
6	КС	Н11.0М0.5А	
7	КС	-	
8	КС	А4.0М0.5N	А <sub>2</sub>
9	ПС	5N ПС	
10	КС	А8.0М1.0N	
11	КС	-	
12	КС	-	
13	КС	-	
14	U <sub>3</sub>	БК	А <sub>0</sub> А <sub>3</sub>
15	I <sub>1</sub>		
16	I <sub>2</sub>		

**Комплексный прибор электрического каротажа**, предназначенный для исследования скважины в процессе бурения (рис. 2.4).

Прибор решает задачи выделения коллекторов, определения водо- и нефтенасыщенности пластов, контроля направления оси ствола скважины в пространстве в процессе бурения.

Измерение в открытом стволе за один проход по интервалу исследований:

– кажущегося удельного электрического сопротивления (УЭС) горных пород, пересеченных скважиной, градиент-зондами бокового каротажного зондирования (БКЗ) А8,0М1,0N, А4,0М0,5N, А2,0М0,5N, Н0,5М2,0А, А1,0М0,1N, А0,4М0,1N, потенциал-зондом (КС) Н11,0М0,5А, трехэлектродным зондом бокового каротажа (БК);

– кажущейся удельной электрической проводимости (УЭП) горных пород, пересеченных скважиной, зондом индукционного каротажа (ИК) ЗИ1,0;

- УЭС жидкости, заполняющей скважину, резистивиметром (РЕЗ);
- потенциала самопроизвольной поляризации (ПС);
- азимута и зенитного угла скважины, угла положения корпуса скважинного прибора;
- мощности экспозиционной дозы (МЭД) естественного гамма-излучения пород зондом гамма-каротажа (ГК) (прибор К1А-723-МИН+ГК, К1А-723-МИН+ГК-Т).

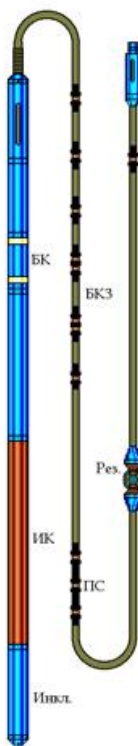


Рис. 2.4. Общий вид комплексного прибора ЭК

Скважина должна быть заполнена промывочной жидкостью на водной основе с удельным сопротивлением от 0,05 до 5 Ом·м.

Прибор должен эксплуатироваться в комплекте со следующими изделиями:

– цифровым каротажным регистратором, адаптированным к приёму сигнала прибора и имеющим соответствующее программное обеспечение;

– источником стабилизированного синусоидального тока ( $0,4 \pm 0,02$ ) А ( $400 \pm 5$ ) Гц, обеспечивающим действующее значение выходного напряжения до 300 В при коэффициенте гармоник не более 5%;

– трехжильным бронированным геофизическим грузонесущим кабелем марки КГЗ-60-150 ТУ16.К09-108-99 (или аналогичным по характеристикам) длиной от 2000 до 7000 м, оснащённым кабельным наконечником НКБ ГОСТ 14213.

Максимальная скорость каротажа 800 м/ч.

Прибор обладает малыми для подобного комплекса габаритами и массой, что делает его удобным в эксплуатации. Отличается высокой производительностью.

### **Оборудование и материалы**

Исходными данными для выполнения работы является прибор Э-1, зондовая часть прибора Э-2 и прибор Э-3, а также функциональные схемы частотной телеизмерительной системы электрометрии и комплексного прибора Э-31 с наземным блоком Б-31.

### **Указания по технике безопасности**

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности Приложение Б.

### **Задания**

1. Изучить функциональную схему частотной телеизмерительной системы приборов ЭК.

2. Изучить схемы расположения электродов фокусированных зондов БК.

3. Изучить функциональную схему комплексного прибора Э-31 с наземным блоком Б-31.

### **Указания по порядку выполнения работы**

**1. Изучить функциональную схему частотной телеизмерительной системы приборов ЭК (рис. 2.1)**

Электрод А питается от генератора 9 переменным током с частотой 300 Гц (он же после преобразования силовыми трансфор-



матором Тр5 и выпрямителем 8 используется и для питания электронной схемы). В приборе три канала с несущими частотами 7,8; 14 и 25,7 кГц (есть и четырехканальный вариант аппаратуры с частотой канала 45 кГц). Каждый канал содержит предварительный усилитель 3 и частотный модулятор 4, который преобразует амплитудно-модулированные сигналы зондов. Девиация частоты 10,5 %. Полученные сигналы смешиваются, усиливаются общим для всех каналов усилителем мощности 5, выделяются фильтрами 6, 7 и передаются по кабелю в наземную часть аппаратуры.

В наземной аппаратуре сигналы разделяются частотными фильтрами 10–12 и затем частотные демодуляторы 13, 14 каждого канала выделяют амплитудно-модулированные сигналы частотой 300 Гц, которые фазочувствительными детекторами 15 преобразуются в постоянное напряжение, пригодное для записи.

Для увеличения диапазона измерения  $\rho_k$  в скважинном приборе предусмотрен механический переключатель масштабов (1, 2), управляемый с поверхности (этот же переключатель используется для подключения к телеизмерительной системе групп зондов, которых, как правило, больше трех, и позволяет вести запись любого количества параметров поочередно группами по три параметра).

В методе ПС используются токовый электрод зондовой установки в качестве электрода М и измерительное заземление N на поверхности, поэтому должна быть обеспечена гальваническая связь между этими двумя электродами (а это несколько километров кабеля). Амплитуда ПС едва достигает нескольких десятков милливольт на фоне постоянной составляющей до полутора вольт, которая при измерении компенсируется. Спектр сигнала ПС не превышает нескольких герц, поэтому во многих случаях удается отфильтровать ПС от переменного синусоидального тока питания скважинного прибора (300 или 400 Гц) и регистрировать одновременно с параметрами, передаваемыми телесистемой.

## **2. Изучить схемы расположения электродов фокусированных зондов БК**

Боковой метод включает две модификации: боковой трехэлектродный с объемными электродами и боковой семиэлектродный с практически точечными электродами.

Боковой трехэлектродный метод. Необходимое для экранирования условие наиболее просто создается при использовании объемных электродов (рис. 2.2). Основной, обычно центральный, токовый электрод зонда  $A_0$  выполнен в виде проводящего цилиндра небольшой длины. Два экранирующих электрода  $A_1$  и  $A_2$  расположены симметрично основному. Они представляют собой соосные и равные по диаметру первому, но большие по длине металлические цилиндры. Вся система питается током от одного источника. Зазоры между электродами обычно невелики. Все три электрода соединены *гальванически через малые сопротивления*. Практически такой зонд можно рассматривать как единое проводящее тело. При правильном подборе размеров электродов токовые линии центрального электрода вблизи зонда нормальны его поверхности, т.е. осевая составляющая вектора плотности тока равна нулю. Этот зонд бокового метода (бокового каротажа) называется трехэлектродным и обозначается обычно БК-3.

Характерные размеры зонда БК-3:  $L$  – длина зонда, эквивалентная длине центрального электрода зонда – 15 см. Общий размер зонда – 3 метра.

Показания зонда БК-3 зависят от общего размера, длины и диаметра зонда и длины изоляционного промежутка между центральным и экранными электродами. Диаметр, а также длина центрального и экранных электродов зондов БК-3 подобраны такими, чтобы измеряемые кажущиеся сопротивления пластов без проникновения были возможно более близкими к их истинным значениям. Общий размер зонда БК-3 существенно влияет на искажение показаний при исследовании пластов с проникновением, линейность зависимости его показаний от удельного сопротивления исследуемых пластов без проникновения и фокусировку тока центрального электрода, а соответственно, и глубинность.

Измеряемые параметры: ток  $I_0$  ( $A_0$ ); потенциал токового электрода  $U$  ( $A_0$ );  $\rho_k = K \frac{U}{I_0}$ , где  $K$  – коэффициент зонда равный 0,22 м.

В коллекторах с проникновением фильтра промывочной жидкости показания зонда БК-3 дополнительно зависят от параметров зоны проникновения. В этом случае истинные сопротивления могут быть получены только в процессе обработки и ввода

поправок. Влияние ограниченной мощности пластов на кажущееся удельное сопротивление незначительно.

Оптимальными параметрами зонда БК-3 являются следующие: общий размер зонда составляет 3,2 м; минимальная мощность пласта, который должен четко фиксироваться зондом БК-3, принята равной 0,5 м; длина центрального электрода при этом равна 0,15 м. Диаметр зонда БК-3, исходя из условия проходимости прибора по стволу скважины, принят равным 70 мм.

Боковой семиэлектродный метод. В зонде БК-7 (см. рис. 2.2 б) – основной (центральный) токовый электрод  $A_0$  и два экранных (токовых) электрода  $A_1$  и  $A_2$ , расположенных симметрично основному. Между основным и каждым экранным электродом, симметрично центральному, размещены две пары контрольных электродов  $M_1N_1$  и  $M_2N_2$ . Обратный токовый В и удаленный измерительный N электроды отнесены на значительное расстояние от электродов  $A_0 - A_2$ .

Через центральный электрод  $A_0$  пропускается постоянный ток. Экранные электроды  $A_1$  и  $A_2$  питаются током  $I_э$ , имеющим одинаковую с током центрального электрода полярность. Фокусировка достигается тем, что потенциалы контрольных электродов поддерживаются равными, т.е.  $U = U$ . Для этого ток экранных электродов при помощи специального устройства регулируется так, чтобы на каждой паре контрольных электродов соответствующие разности потенциалов  $\Delta U_{MN}(A_0)$  и  $\Delta U_{MN}(A_1 A_2)$  были равны.

Основными критериями эффективности зондов БК-7 целесообразно считать радиус исследования установки и линейность зависимости измеряемых кажущихся удельных сопротивлений исследуемых пород от их истинных значений. При увеличении общего размера зонда БК-7 возрастает радиус исследования установки и уменьшается влияние скважины на ее показания, но в то же время ухудшается разрешающая способность по мощности исследуемых пластов. С повышением коэффициента фокусировки зонда влияние зоны проникновения на измеряемые зондом БК-7 кажущиеся удельные сопротивления несколько уменьшается.

### **3. Изучить функциональную схему комплексного прибора Э-31 с наземным блоком Б-31**

Скважинный прибор Э-31 питается синусоидальным током 200 мА и частотой 200 Гц от наземного блока Б31 (рис. 2.3). При

измерении обычными зондами КС ток питания проходит через дроссель L2 разделительного фильтра, первичную обмотку силового трансформатора Tr<sub>с</sub>, образцовый резистор R<sub>о</sub> и далее через электрод А формирует электрическое поле зондовой установки. Для формирования электрического поля зонда БК и выполнения условий его фокусировки центральный электрод А<sub>о</sub> соединен с экранным электродом А<sub>з</sub> шунтом, значение сопротивления которого R1, не более 0,01 Ом.

В блоке питания 1 формируются необходимые постоянные напряжения для работы электронных узлов скважинного прибора. С образцового резистора R<sub>о</sub> снимается опорное напряжение U<sub>оп</sub>, имеющее фазу тока питания зондовой установки и прямо пропорциональное току. Через трансформатор Tr1 напряжение U<sub>оп</sub> подается на вход частотного модулятора 3 первого канала и одновременно на вход узла синхронизации 2, который содержит 16-разрядный сдвиговый регистр и формирует под действием U<sub>оп</sub> последовательность из 16 логических импульсов длительностью по 5 мс каждый, у которых фронт и срез совпадают с моментами перехода фазы U<sub>оп</sub> через нуль. Импульсы с выходов узла синхронизации 2 служат для поочередного запуска частотных модуляторов каналов 1-16. Каждый модулятор остается включенным на 5 мс (один период питающего тока с частотой 200 Гц).

Длительность цикла работы равна 85 мс, с учетом паузы 5 мс перед началом работы модулятора первого канала, которая является признаком начала цикла и в наземной аппаратуре используется для синхронизации. Частота опроса 16 каналов -11,8 Гц. (200 Гц/17 кн = 11,8 Гц, 200 Гц-1сек, 1 Гц-5 мс-1 кн, 85 мс/5 мс =17 кн).

Поскольку в каждый момент времени работает только один канал, в рассматриваемом устройстве полностью исключено взаимное влияние каналов за счет паразитных связей между элементами, по цепям питания и др. Выходные сигналы через логическую схему смесителя 4 подаются на вход усилителя мощности 5, работающего в ключевом режиме. Мощность ЧМ-сигнала на выходе усилителя 5 порядка 1 Вт. Выход усилителя связан с жилой кабеля через конденсатор С2 разделительного фильтра, который защищает электрическую схему скважинного прибора от напряжения низкой частоты 200 Гц.

Информационные амплитудно-модулированные сигналы поступают с измерительных электродов зондов на входные трансформаторы Тр2-Тр16, где приводятся к номинальному уровню 0-2 В и подаются на входы модуляторов ЧМ2-ЧМ16. Частотные модуляторы выполнены по идентичной схеме симметричного мультивибратора. Собственная частота колебаний  $f_0$  модуляторов при нормальных условиях равна **33 кГц** ( $\pm 10\%$ ).

Функциональная схема скважинной части телеизмерительной системы нетрадиционна: благодаря применению модуляторов в каждом канале она не содержит многоканального аналогового коммутатора входных сигналов, практическое выполнение которого для рабочих температур выше 150–180 °С весьма сложно. Это позволило упростить скважинную часть, однако создало ряд новых проблем при приеме информации в наземной части: в сигнале содержатся периодические, через каждые 5 мс, срывы фазы и скачки частоты, обусловленные переключением модуляторов. Указанная особенность ЧМ-сигнала исключает возможность применения таких традиционно эффективных методов демодуляции, как фазовая автоподстройка частоты, следящий фильтр.

В наземной аппаратуре задающий кварцевый генератор 6 вырабатывает тактовые импульсы высокой частоты  $f_t$ , которые через делитель частоты 7 задают частоту  $F = 200$  Гц питающего генератора 8. Кроме того, импульсы  $f_t$  тактируют работу микропроцессора 11, стробируют (дают команду на открытие или закрытие шлюза) формирователь импульсов 12 и схему синхронизации 9.

Переменный синусоидальный ток частотой 200 Гц поступает от генератора 8 через дроссель L1 разделительного фильтра в жилу кабеля. Высокочастотный сигнал скважинного прибора выделяется конденсатором C1 разделительного фильтра и поступает на формирователь импульсов несущей частоты 12, в котором усиливается и преобразуется в последовательность логических импульсов. Эти импульсы подаются на счетчик 13, который подсчитывает параметры N1 и N2 в течение каждого полупериода модуляции. Значения N1 и N2 заносятся в память микропроцессора 11.

Микропроцессор является основным электронным узлом наземной части аппаратуры. Он осуществляет предусмотренные программой управляющие, логические и вычислительные операции, обеспечивающие функционирование телеизмерительной системы:

- 1) задание и контроль частоты Питательного генератора, ее подстройку под кратное текущее значение частоты промышленной сети;
- 2) определение в реальном времени девиации частоты каналов телеизмерительной системы;
- 3) ввод поправки за непостоянство тока питания зондов по значениям стандарт-сигнала;
- 4) хранение в оперативной памяти данных по нескольким последним циклам работы;
- 5) обеспечение вывода на цифровой индикатор 14 текущих значений информации любого из 16 каналов;
- 6) цифровую фильтрацию данных с целью подавления помех частоты промышленной сети;
- 7) обмен данными с цифровым регистратором, через приборный интерфейс 15.

Вся информация регистрируется в цифровом виде с последующим выводом на графопостроитель, и аналоговая демодуляция для традиционной записи фоторегистратором не предусмотрена. Особенностью схемы скважинного прибора является то, что из нее исключен механический переключатель масштабов и необходимый динамический диапазон обеспечивается увеличением количества каналов.

Наземная часть аппаратуры выполнена в виде блока электрометрии БЗ1. Блок БЗ1 предназначен для электропитания и управления скважинным прибором, выделения информационного сигнала, преобразования его в цифровую форму, необходимую для записи цифровым регистратором.

### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А.

### **Контрольные вопросы**

1. Назначение прибора электрического каротажа Э-1?
2. Описать работу частотной телеизмерительной системы электрометрии.
3. Назначение методов фокусированных зондов?
4. Схемы расположения электродов фокусированных зондов БК.

5. Описать работу функциональной схемы комплексного прибора Э-31 с наземным блоком Б-31.
6. Описать последовательность измерений и подключения электродов скважинного прибора Э-31.
7. Предназначение комплексного прибора электрического каротажа.

### 3. ДЕТЕКТОРЫ ИОНИЗАЦИОННЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

**Цель работы.** Изучение принципа действия детекторов ионизирующих излучений.

**Формируемые компетенции или их части**

ПСК-2,4 – способность профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование, оргтехнику и средства измерения.

ПСК-2,6 – способность выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях.

#### Теоретическая часть

Основные типы детекторов, используемых в аппаратуре ядерно-физических методов, следующие:

**Газонаполненные индикаторы** излучения (рис. 3.1).

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



Рис. 3.1. Внешний вид газонаполненного детектора ионизирующего излучения

Газонаполненные индикаторы представляют собой наполненные газом баллоны с двумя электродами. В качестве одного из них обычно выступает сам металлический (или металлизированный стеклянный) баллон. Для собирания электронов и ионов из газа на электроды между ними подается электрическое напряжение. При отсутствии ионизирующих излучений газ является изолятором, тока между электродами нет. При прохождении заряженной частицы происходит ионизация молекул газа, он становится проводником, и в цепи индикатора появляется ток (рис. 3.2, 3.3).

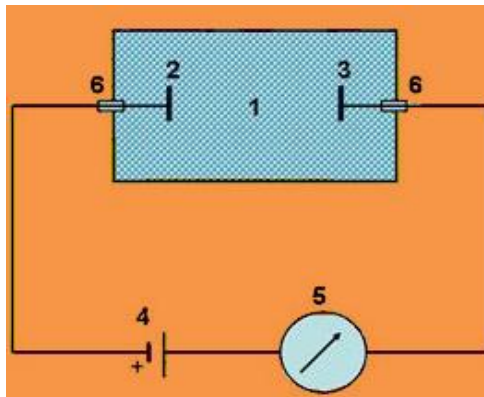


Рис. 3.2. Схема работы газонаполненного детектора:  
 1 – объем камеры, заполненный газом; 2 – анод; 3 – катод;  
 4 – источник напряжения; 5 – прибор для измерения тока камеры;  
 6 – изоляторы

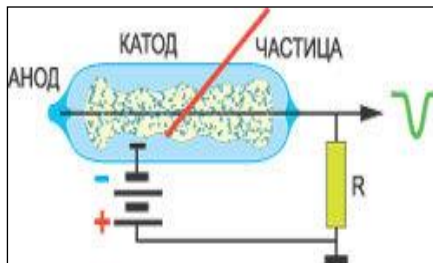


Рис. 3.3. Принципиальная схема газонаполненного детектора ионизирующего излучения



Падающее излучение взаимодействует со стенками камеры или молекулами газа и создает пары ионов. Если к электродам приложена разность потенциалов, положительные ионы притягиваются к отрицательно заряженному катоду, а электроны движутся к положительно заряженному аноду. Заряд накапливается на аноде, вызывая изменение общего напряжения. Это изменение напряжения передается как импульс, а наличие такого импульса вызывает ток во внешней цепи. Регистрируя этот импульс или ток можно определять наличие ионизирующего излучения.

**Сцинтилляционные счетчики** в ядерной геологии и геофизике используются для регистрации  $\gamma$ -квантов, реже нейтронов и  $\beta$ -частиц, еще реже  $\alpha$ -частиц. При регистрации тяжелых заряженных частиц возникает трудность с обеспечением их ввода в фосфор. Поэтому для регистрации  $\alpha$ -частиц чаще всего используют ионизационные камеры.

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

### **Оборудование и материалы**

Исходными данными для выполнения работы являются ФЭУ, газоразрядные и сцинтилляционные детекторы.

**Указания по технике безопасности.** К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности Приложение Б.

### **Задания**

1. Изучить конструкцию газонаполненного индикатора излучения, схему его подключения.

2. Ознакомиться с вольтамперной характеристикой газонаполненных индикаторов.
3. Изучить принцип действия пропорционального счетчика.
4. Изучить принцип действия сцинтилляционного счетчика.
5. Представить схема умножения потоков электронов в ФЭУ.

### **Указания по порядку выполнения работы**

#### **1. Выбрать газоразрядный счетчик из имеющихся детекторов, описать принцип его действия и вычертить его вольтамперную характеристику**

Вольтамперная характеристика газонаполненных индикаторов.

Амплитуда импульса зависит от количества электронов, собранных на аноде, что определяется количеством ионизирующего излучения, поступающего в камеру, а также его видом и энергией. Кроме того, амплитуда импульса также является функцией напряжения, приложенного между катодом и анодом. Рисунок 3.4 показывает, как изменяется высота импульса по мере увеличения приложенного напряжения.

Как видно из рис. 3.4, изменение амплитуды с ростом напряжения имеет несколько четко выраженные области. Эти области известны как область рекомбинации, область насыщения, пропорциональная, область ограниченной пропорциональности, область Гейгера-Мюллера и область самопроизвольного разряда.

Режим работы газонаполненного индикатора зависит от напряжения и расстояния между электродами, от формы последних, точнее от величины и распределения напряженности электрического поля в рабочем объеме. Рассмотрим зависимость ионизационного тока  $i$  от напряжения  $U$  между электродами при постоянной геометрии электродов и интенсивности излучения, взаимодействующего с детектором (рис. 3.4).

**Область рекомбинации (I).** Когда напряжение, приложенное к камере низкое, сила, движущая ионы к соответствующим электродам, также достаточно мала. В этом случае одновременно протекают два процесса. Один из них – сбор ионов, а другой – рекомбинация ионов. Это означает, что после образования ионов, они могут рекомбинировать, становясь снова нейтральными, прежде, чем они будут собраны на электродах. Таким образом, импульс во внешней цепи зависит от конкуренции между этими двумя процессами.

По мере роста напряжения на электродах, все больше ионов достигают электродов, и амплитуда импульса возрастает. Однако, рекомбинация ионов все еще существенна и поэтому эта область называется областью рекомбинации. Газонаполненные детекторы не могут нормально функционировать в этой области, так как рекомбинация ионов осложняет измерение величины излучения. При очень малом напряжении  $U$  скорость ионов и электронов мала: значительная их часть успевает рекомбинироваться, т. е. воссоединиться в нейтральные молекулы, не доходя до электродов (область  $I$  на рис. 3.4).

**Область ионизационной камеры (II).** Когда напряжение достаточно велико, почти все образовавшиеся ионы достигают электродов и потеря ионов при рекомбинации незначительна. В этой области происходит практически полный сбор заряда, и величина импульса не растет с изменением приложенного напряжения. Происходит выход амплитуды импульса на плато, называемое **областью ионизационной камеры**. Ток в цепи также достигает максимального значения, называемого **током насыщения**. Ток насыщения пропорционален интенсивности излучения, попадающего в камеру, и с ростом его уровня ток насыщения также возрастает. С увеличением  $U$  скорость ионов растет, потери на рекомбинацию уменьшаются. Участок  $II$  соответствует области напряжений, при которых практически все ионы достигают электродов. Ионизационный ток в этой области, почти не зависящий от изменения  $U$ , называется током насыщения. Он равен общему заряду электронов и ионов, образующихся в единицу времени. *Индикаторы, работающие в области насыщения, называются ионизационными камерами.*

**Область пропорциональности (III).** Рост тока с увеличением напряжения в области пропорциональности связан с увеличением напряженности поля до таких величин, при которых электроны между двумя соударениями с молекулами успевают набрать энергию, достаточную для их ионизации, — происходит вторичная ионизация. Вторичные электроны вместе с первичными в следующих столкновениях ионизируют другие молекулы и т. д. возникает лавинообразное размножение зарядов. Это явление, называемое газовым усилением, характеризуется коэффициентом газового усиления  $K$ . Коэффициент  $K$  зависит от  $U$ . В области насыщения

тока  $K = 1$ , а с увеличением напряжения величина  $K$  растет до  $10^3$ – $10^4$  и более. Индикатор, работающий в области пропорциональности, называется пропорциональным счетчиком. Поскольку часто первичный заряд пропорционален энергии регистрируемой частицы, то и импульс тока на выходе пропорционального счетчика оказывается пропорциональным этой энергии. Поэтому такой счетчик позволяет проводить спектрометрию – анализ частиц по энергиям.

*Рост тока* с увеличением напряжения в области пропорциональности *III* связан с увеличением напряженности поля до таких величин, при которых электроны между двумя соударениями с молекулами успевают набрать энергию, достаточную для их ионизации, – происходит вторичная ионизация. Вторичные электроны вместе с первичными в следующих столкновениях ионизируют другие молекулы и т. д. возникает лавинообразное размножение зарядов. Это явление, называемое газовым усилением, характеризуется коэффициентом газового усиления  $K$ . Коэффициент  $K$  зависит от  $U$ . В области насыщения тока  $K = 1$ , а с увеличением напряжения величина  $K$  растет до  $10^3$ – $10^4$  и более. *Индикатор, работающий в области пропорциональности, называется пропорциональным счетчиком.* Поскольку часто первичный заряд пропорционален энергии регистрируемой частицы, то и импульс тока на выходе пропорционального счетчика оказывается пропорциональным этой энергии. Поэтому такой счетчик позволяет проводить **спектрометрию – анализ частиц по энергиям.**

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

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

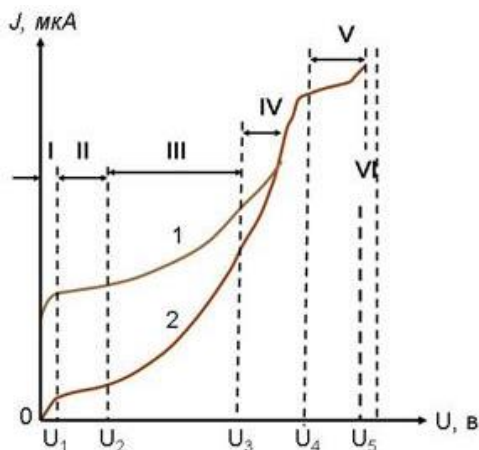


Рис. 3.4. Вольтамперная характеристика газонаполненных индикаторов. Области: *I* – рекомбинация; *II* – насыщения; *III* – пропорциональности; *IV* – ограниченной пропорциональности; *V* – Гейгера-Мюллера; *VI* – самопроизвольного разряда  
 1 – частица с большой энергией; 2 – частица с малой энергией

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

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

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

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

Счетчики Гейгера – Мюллера обладают высоким газовым усилением (в отдельных случаях до  $10^{10}$ ) и обеспечивают высокую амплитуду выходного импульса (единицы и даже десятки вольт). Это упрощает схему усиления импульсов, а иногда делает ее из-

лишней и обеспечивает счетчикам Гейгера – Мюллера широкое применение при регистрации  $\gamma$ -квантов,  $\beta$ - и  $\alpha$ -частиц.

Конструкцию счетчиков Гейгера-Мюллера выбирают такой, чтобы при сравнительно небольших напряжениях на электродах получить высокий коэффициент газового усиления. Для этого применяют цилиндрические счетчики с очень тонким анодом. Цилиндрический счетчик (рис. 3.5) состоит из катода-корпуса, по оси которого натянута металлическая проволока – собирающий электрод.

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

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



Рис. 3.5. Схема включения цилиндрических счетчиков

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

возможно газовое усиление, называется *мертвым временем счетчика*. Через время, несколько большее  $t_m$  все ионы достигают катода и счетчик полностью восстанавливает свои свойства. Однако при нейтрализации ионов на катоде образуются возбужденные атомы и ультрафиолетовое излучение, способное вырвать фотоэлектроны из металла и начать новый разряд в счетчике. Чтобы исключить эти вторичные разряды, не связанные с попаданием в счетчик новой ядерной частицы, чаще всего применяют систему самогашения счетчика.

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

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

Одной из основных характеристик счетчика Гейгера-Мюллера является счетная характеристика (рис. 3.6), показывающая зависимость скорости счета импульсов от напряжения между электродами при постоянной интенсивности излучения. До напряжения  $U_1$  счетчик работает в области ограниченной пропорциональности.

Амплитуда импульсов различна благодаря различию в энергии частиц и различию их пути в рабочем объеме счетчика. Поскольку любая регистрирующая схема имеет некоторый порог, то регистрируются лишь импульсы, имеющие амплитуду выше этого порога. В области Гейгера-Мюллера  $U > U_1$ ; все импульсы регистрируются, поскольку все они имеют одинаковую амплитуду.

В некоторой области напряжений  $U_1 < U < U_2$ , называемой плато счетчика, скорость счета почти не зависит от напряжения.

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

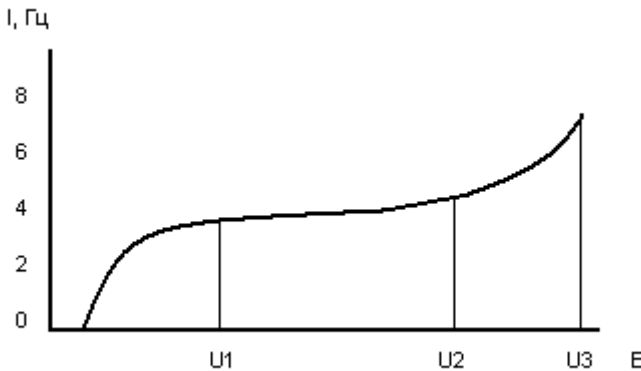


Рис. 3.6. Счетная характеристика счетчиков Гейгера-Мюллера

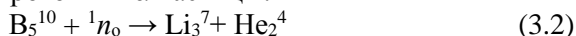
## 2. Описать работу пропорциональных счетчиков

Импульсы на выходе **пропорциональных счетчиков** менее мощные, чем у счетчиков Гейгера-Мюллера, но в  $10^3$ – $10^4$  раз мощнее, чем у импульсных ионизационных камер. Поэтому для них необходимы более простые схемы усиления, чем для импульсных ионизационных камер. Конструктивно пропорциональные счетчики подобны счетчикам Гейгера-Мюллера, но отличаются меньшей напряженностью поля в критической области. Преимущество этих счетчиков заключается в пропорциональности импульса первичному заряду, что позволяет определять тип частиц и их энергетический спектр, а недостаток – в малой амплитуде импульса и ее зависимости от напряжения питания.

Пропорциональные счетчики широко применяются для регистрации медленных нейтронов. Такие счетчики заполняются газом, хорошо поглощающим нейтроны:  $^3\text{He}$  или  $\text{BF}_3$ . При поглоще-



нии нейтрона этими веществами по реакции  ${}^3\text{He} (n, p)$  и  ${}^{10}\text{B} (n, \alpha)$  образуются быстрые протоны и  $\alpha$ -частицы:



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

Эффективность таких счетчиков нейтронов зависит от их размера и макроскопического сечения поглощения газа. Для повышения последнего счетчики заполняют газом под относительно большим давлением, а в счетчиках с  $\text{BF}_3$  используют бор, обогащенный до 80–90 % изотопом  ${}^{10}\text{B}$ , которому и обязано поглощение нейтронов с образованием  $\alpha$ -частицы (в естественном боре содержится 20 %  ${}^{10}\text{B}$ ).

### **3. Выбрать сцинтилляционный счетчик из имеющихся детекторов и описать принцип его действия**

**Сцинтилляционный детектор** – прибор для регистрации ядерных излучений и элементарных частиц (протонов, нейтронов, электронов,  $g$ -квантов, мезонов и т. д.), основными элементами которого является вещество, люминесцирующее под действием заряженных частиц (сцинтиллятор), и фотоэлектронный множитель (ФЭУ) (рис. 3.7).

Сцинтилляционный счетчик представляет собой сочетание сцинтиллятора (фосфора) и фотоэлектронного множителя (ФЭУ). В комплект счетчика входят также источник электрического питания ФЭУ и радиотехническая аппаратура, обеспечивающая усиление и регистрацию импульсов ФЭУ. Иногда сочетание фосфора с ФЭУ производится через специальную оптическую систему (светопровод). Принцип действия сцинтилляционного счётчика состоит в следующем: заряженная частица, проходя через сцинтиллятор, наряду с ионизацией атомов и молекул возбуждает их. Возвращаясь в невозбуждённое (основное) состояние, атомы испускают фотоны. Излученный свет собирается – в спектральном диапазоне сцинтиллятора – на фотоприёмник. В качестве последнего

часто служит фотоэлектронный умножитель (ФЭУ). Фотоэлектронный умножитель представляет собой стеклянный цилиндр, откаченный до остаточного давления не выше  $10^{-6}$  мм рт. ст., в торце которого расположено прозрачное плоское окно, на поверхность которого со стороны эвакуируемого объёма нанесён тонкий слой вещества с малой работой выхода электронов (фотокатод), обычно на основе сурьмы и цезия. Далее в эвакуированном пространстве располагается серия электродов – динодов, на которые с помощью делителя напряжения от источника электропитания подаётся последовательно возрастающая разность потенциалов. Диноды ФЭУ изготавливаются из вещества также с малой работой выхода электронов. Они способны при бомбардировке их электронами испускать вторичные электроны в количествах, превышающих число первичных в несколько раз (рис. 3.8, 3.9). Последний динод является анодом ФЭУ.



Рис. 3.7. Внешний вид сцинтилляционного счетчика

Основным параметром ФЭУ является коэффициент усиления при определённом режиме питания. Обычно ФЭУ содержит девять и более динодов и усиление первичного тока достигает для различных умножителей величин  $10^5$ – $10^{10}$  раз, что позволяет получать электрические сигналы амплитудой от вольт до десятков вольт.

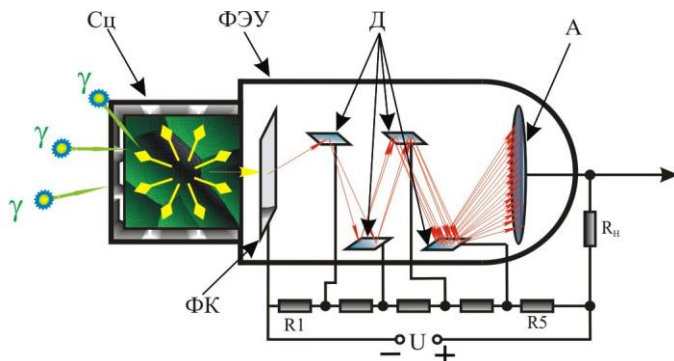


Рис. 3.8. Принципиальная схема работы сцинтиляционного детектора

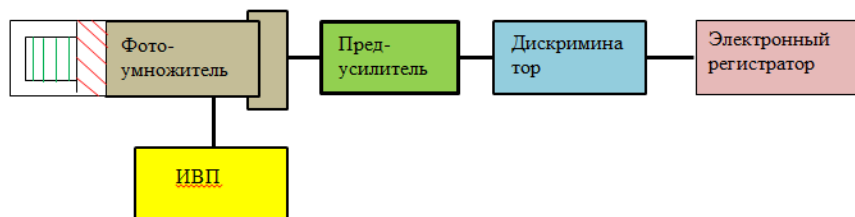


Рис. 3.9. Блок-схема сцинтиляционного счётчика

Фотоны, попадая на фотокатод ФЭУ, в результате фотоэффекта выбивают электроны, в результате чего на аноде ФЭУ возникает электрический импульс, который далее усиливается диодной системой за счёт механизма вторичной электронной эмиссии. Анодный токовый сигнал ФЭУ – через усилитель или непосредственно – подается на вход измерительного прибора – счетчика импульсов, осциллографа, аналого-цифрового преобразователя и т.п. Амплитуда и длительность импульса на выходе определяются свойствами, как сцинтиллятора, так и ФЭУ. В ряде случаев на выходе усилителя наблюдается большое число импульсов (обычно малых по амплитуде), не связанных с регистрацией ядерных частиц, а именно, импульсов собственных шумов ФЭУ и ускорителя. Для устранения шумов между усилителем и счётчиком импульсов включается интегральный амплитудный дискриминатор, пропускающий лишь те импульсы, амплитуды которых больше некоторого значения порогового напряжения. Детектирование нейтральных

частиц (нейтронов,  $\gamma$ -квантов) происходит по вторичным заряженным частицам, образующимся при взаимодействии нейтронов или  $\gamma$ -квантов с атомами сцинтиллятора (рис. 3.10).

Основная часть спектра люминесценции лежит в области далекого ультрафиолета, поэтому для приведения в соответствие со спектральной чувствительностью ФЭУ используются светопреобразователи. Последние должны обладать высоким коэффициентом конверсии, оптической прозрачностью в тонких слоях, низкой упругостью насыщенных паров, а также механической и химической устойчивостью. В качестве материалов для светопреобразователей в основном используются различные органические соединения, например: дифенилстильбен (эффективность преобразования около 1, кватерфенил (~1); антрацен (0,34) и др. Светопреобразователь наносится тонким слоем на фотокатод ФЭУ. Важным параметром светопреобразователя является его время высвечивания. В этом отношении органические преобразователи являются вполне удовлетворительными ( $10^{-9}$  сек или несколько единиц на  $10^{-9}$  сек). Для увеличения светосбора внутренние стенки камеры сцинтиллятора обычно покрываются светоотражателями ( $\text{MgO}$ , эмаль на основе окиси титана, фторопласт, окись алюминия и др.).

#### 4. Вырисовать схему умножения потоков электронов в ФЭУ



Рис. 3.10. Внешний вид сцинтиллятора (йодистый натрий, активированный галлием)

Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) электровакуумный прибор (рис. 3.11), в котором поток электронов, эмитируемый фотокатодом под действием оптического излучения (фототок), усиливается в умножительной системе в результате вторичной электронной эмиссии; ток в цепи анода (коллектора вторичных электронов) значительно превышает первоначальный фототок (обычно в 10<sup>5</sup> раз и выше).



Рис. 3.11. Внешний вид ФЭУ

Фотоны, возникшие в сцинтиляторе под действием заряженной частицы, по светопроводу достигают ФЭУ и через его стеклянную стенку попадают на фотокатод. ФЭУ представляет собой баллон, внутри которого в вакууме располагается фотокатод и система последовательных динодов, находящихся под положительным, увеличивающимся от динода к диноду, электрическим потенциалом.

Для целей спектрометрии ядерных излучений фотокатод обычно располагается на внутренней поверхности плоской торцевой части баллона ФЭУ. В качестве материала фотокатода выбирается вещество достаточно чувствительное к свету, испускаемому сцинтилляторами. Наибольшее распространение получили сурьмяно-цезиевые фотокатоды, максимум спектральной чувствительности которых лежит при  $\lambda = 3900,4200\text{Å}$ , что соответствует, мак-

симумам спектров люминесценции многих сцинтилляторов. Одной из характеристик фотокаатода является его квантовый выход, т. е. вероятность вырывания фотоэлектрона фотоном, попавшим на фотокаатод. Величина  $\eta$  может достигать 10–20 %. Свойства фотокаатода характеризуются также интегральной чувствительностью, представляющей собой отношение фототока (мкА) к падающему на фотокаатод световому потоку (лм).

Фотокаатод наносится на стекло в виде тонкого полупрозрачного слоя. Существенна толщина этого слоя. С одной стороны, для большого поглощения света она должна быть значительной, с другой стороны, возникающие фотоэлектроны, обладая очень малой энергией не смогут выходить из толстого слоя и эффективный квантовый выход может оказаться малым. Поэтому подбирается оптимальная толщина фотокаатода. Существенно также обеспечить равномерную толщину фотокаатода, чтобы его чувствительность была одинакова на всей площади. В сцинтилляционной  $\gamma$ -спектрометрии часто необходимо использовать твердые сцинтилляторы больших размеров, как по толщине, так и по диаметру. Поэтому возникает необходимость изготавливать ФЭУ с большими диаметрами фотокаатодов. В отечественных ФЭУ фотокаатоды делаются с диаметром от нескольких сантиметров до 15,20 см. Фотоэлектроны, выбитые из фотокаатода, должны быть сфокусированы на первый умножительный электрод. Для этой цели используется система электростатических линз, которые представляют собой ряд фокусирующих диафрагм. Для получения хороших временных характеристик ФЭУ важно создать такую фокусирующую систему, чтобы электроны попадали на первый динод с минимальным временным разбросом. Высокое напряжение, питающее ФЭУ, отрицательным полюсом присоединяется к катоду и распределяется между всеми электродами. Разность потенциалов между катодом и диафрагмой обеспечивает фокусировку фотоэлектронов на первый умножающий электрод. Умножающие электроды носят название динодов. Диноды изготавливаются из материалов, коэффициент вторичной эмиссии которых больше единицы ( $s > 1$ ). Эмитирующим слоем динодов является слой из сурьмы и цезия или слой из специальных сплавов. Максимальное значение  $s$  для сурьмяно-цезиевых эмиттеров достигается при энергии электронов 350–400 эВ, а для сплавных эмиттеров – при 500–550 эВ. В первом случае  $s = 12,14$ ,

во втором  $s = 7, 10$ . В рабочих режимах ФЭУ значение  $s$  несколько меньше. Достаточно хорошим коэффициентом вторичной эмиссии является  $s = 5$ . Фотоэлектроны, сфокусированные на первый динод, выбивают из него вторичные электроны. Число электронов, покидающих первый динод, в несколько раз больше числа фотоэлектронов. Все они направляются на второй динод, где также выбивают вторичные электроны и т. д., от динода к диноду, число электронов увеличивается в  $s$  раз (рис. 3.12).

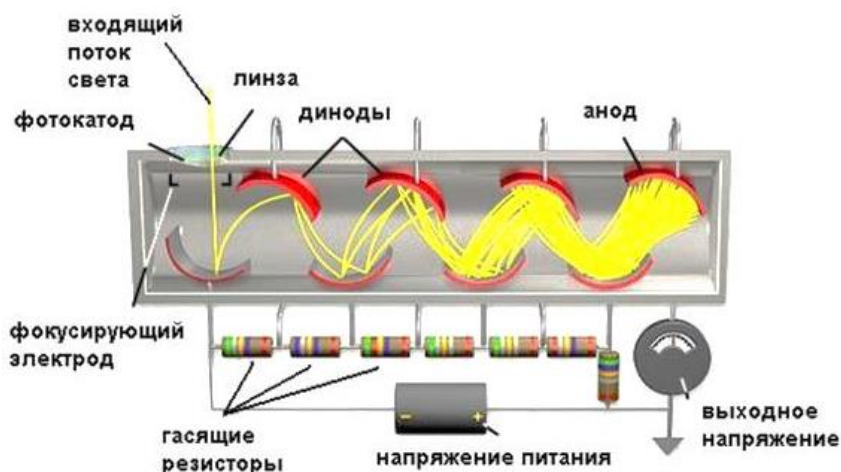


Рис. 3.12. Схема умножения потоков электронов в ФЭУ

При прохождении всей системы динодов поток электронов возрастает на 5–7 порядков и попадает на анод – собирающий электрод ФЭУ. Если ФЭУ работает в токовом режиме, то в цепь анода включаются приборы, усиливающие и измеряющие ток. При регистрации ядерных излучений обычно необходимо измерять число импульсов, возникающих под воздействием ионизирующих частиц, а также амплитуду этих импульсов. В этих случаях в цепь анода включается сопротивление, на котором и возникает импульс напряжения. В результате фотоэффекта из фото катода вылетают электроны, которые затем, ускоряясь в электрическом поле, направляются на систему динодов, где за счет вторичной (ударной) электронной эмиссии образуют нарастающую от динода к диноду электронную лавину, поступающую на анод. Обычно ко-

эффект усиления ФЭУ (число электронов, достигших анода при выбивании из фотокатода одного электрона) составляет  $10^5$ – $10^6$ , но может достигать и  $10^9$ , что позволяет получить на выходе ФЭУ легко регистрируемый электрический импульс. Временное разрешение ФЭУ составляет  $10^{-8}$ – $10^{-9}$  с. ФЭУ, предназначенные для сцинтилляционного счётчика, должны обладать высокой эффективностью фотокатода (до 2,5 %), высоким коэффициентом усиления ( $10^8$ – $10^8$ ), малым временем собирания электронов ( $\sim 10^{-8}$  сек) при высокой стабильности этого времени. Последнее позволяет достичь разрешающей способности по времени порядка  $10^{-9}$  с. Высокий коэффициент усиления ФЭУ наряду с малым уровнем собственных шумов делает возможной регистрацию отдельных электронов, выбитых с фотокатода. Сигнал на аноде ФЭУ может достигать 100 В. Сцинтилляционные счетчики в ядерной геологии и геофизике используются для регистрации  $\gamma$ -квантов, реже нейтронов и  $\beta$ -частиц, еще реже  $\alpha$ -частиц. При регистрации тяжелых заряженных частиц возникает трудность с обеспечением их ввода в фосфор. Поэтому для регистрации  $\alpha$ -частиц чаще всего используют ионизационные камеры.

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

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

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

Сцинтилляционные счетчики обеспечивают гораздо большую эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов (до 30–50 % и более), чем газоразрядные, и дают возможность изучения спектрального состава излучения. К преимуществам сцинтилляционных счетчиков относится более низкий уровень их собственного и космического фона. Однако сцинтилляционные счетчики более сложны и требу-



ют квалифицированного обслуживания, чем разрядные. Это обусловлено большим влиянием температуры на световой выход фосфоров, несравненно более высокими требованиями к стабилизации источника питания, а также более сильным изменением характеристик сцинтилляционных счетчиков во времени.

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

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

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

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

*Между ФК и А приложена разность потенциалов  $U$  порядка 1500 В.* Напряжение на диоды подается с делителя R1 – R5 (газящие резисторы рис. 3.12). При попадании  $\gamma$ -кванта (частицы) радиоактивного излучения в сцинтиллятор в нем возникает световая вспышка, под воздействием которой ФК излучает электроны. Ускоряясь в электрическом поле, создаваемом напряжением от ВИП, каждый электрон выбивает из первого диода несколько вторичных электронов. Процесс повторяется на последующих диодах, что приводит к возникновению электронной лавины, резко увеличивающей проводимость ФЭУ. В цепи питания ФЭУ возникает импульс тока, вызывающий падение напряжения на резисторе R<sub>н</sub> которое подается на вход дискриминатора (измеритель скорости счета ИСС).

Следует отметить, что для повышения эффективности в канале ГК установлено два детектора, а в канале НГК (ГГК, ННК), где скорость счета существенно больше один детектор.

Неорганические монокристаллы, особенно NaI (Т1) и частично CsI (Т1), являются наиболее распространенными фосфорами для регистрации  $\gamma$ -квантов. Их преимущество – высокая эффективность, обусловленная высокой плотностью и большим эффективным атомным номером  $Z_{\text{эф}}$ , а также высокое энергетическое разрешение. Недостатком NaI (Т1) является высокая гигроскопичность, приводящая к помутнению кристаллов при попадании влаги. Поэтому кристаллы NaI (Т1) упаковывают в герметичные контейнеры.

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

Реже для регистрации медленных нейтронов используют монокристаллы LiI (иногда литиевые стекла). Регистрация обусловлена реакцией  $^6\text{Li}(n, \alpha)$ .

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

#### Указания по технике безопасности

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности Приложение Б.

#### Содержание отчета

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А.

#### Контрольные вопросы

1. Описать принцип действия газонаполненных индикаторов излучения?

2. Вычертить и описать схему работы газонаполненного детектора?
3. Описать принцип действия сцинтилляционного счетчика?
4. Вычертить и описать вольтамперную характеристику газонаполненных индикаторов?
5. Описать особенности 6 областей вольтамперной характеристики газонаполненных индикаторов.
6. Представить схему включения цилиндрических счетчиков.
7. Описать работу пропорциональных счетчиков.
8. Описать схему работы сцинтилляционного детектора.
9. Представить схема умножения потоков электронов в ФЭУ.
10. Что такое фосфор (монокристаллы) и их типы.

#### **4. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА ПРИБОРА ДРСТ-3**

**Цель работы.** Изучение принципа действия электронного блока скважинного прибора серии ДРСТ.

##### **Формируемые компетенции или их части**

ПСК-2,4 – способность профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование, оргтехнику и средства измерения.

ПСК-2,6 – способность выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях.

##### **Теоретическая часть**

Электронный блок скважинного прибора серии ДРСТ представляет собой двухканальную телеизмерительную систему (рис. 4.1), включающую детекторы радиоактивного излучения 1, питающиеся от высоковольтного (1000–1800 В) источника напряжения 2, амплитудные дискриминаторы 3, триггер 4, формирователь импульсов 5, смеситель 6 и усилитель (катодный повторитель) 7.

Электронная схема СП питается от универсального источника питания каротажного (УИП-К) постоянным током напряжением 150 В, который подается в цепи с поверхности по кабелю и высоко-

ковольтного источника питания (ВИП). ВИП вырабатывает постоянное напряжение 1500 В для питания динодов ФЭУ.

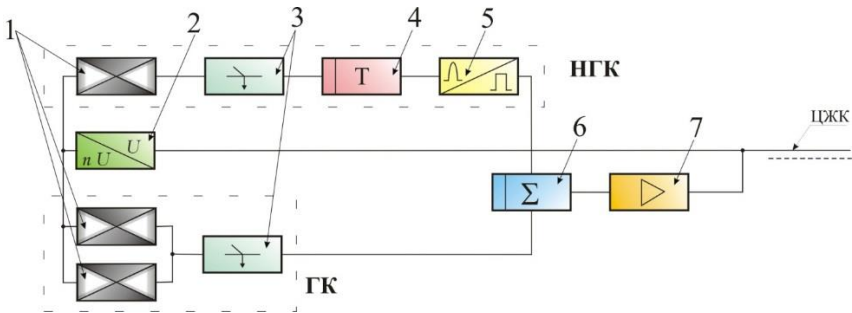


Рис. 4.1. Функциональная схема электрического блока скважинного прибора ДРСТ-3

### Оборудование и материалы

Исходными данными для выполнения работы является функциональная схема скважинного прибора ДРСТ-3 (рис. 4.1).

**Указания по технике безопасности.** К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности (Приложение Б).

### Задания

1. Изучить и графически представить работу амплитудного дискриминатора канала ГК.
2. Изучить и графически представить работу амплитудного дискриминатора канала НГК.
3. Изучить и графически представить работу триггера, и формирователя импульсов в канале НГК.
4. Изучить и графически представить работу смесителя и катодного повторителя.

### Указания по порядку выполнения работы

#### 1. Изучить работу амплитудного дискриминатора канала ГК и НГК

В канале ГК импульсы напряжения с выходов детекторов 1 нормализуются амплитудным дискриминатором 3 по амплитуде и длительности, и с его выхода в виде импульсов положительной

полярности длительностью 35 мкс подаются на вход смесителя 6 (рис. 4.2).

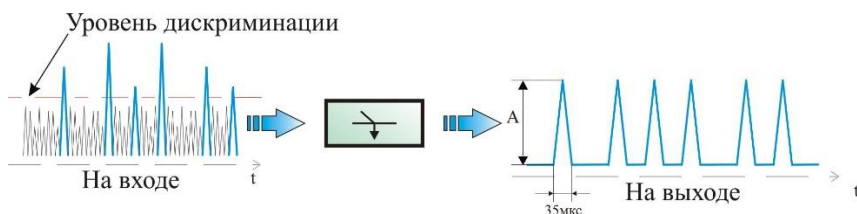


Рис. 4.2. Функциональная схема работы дискриминатора в канале ГК

В канале НГК импульсы с детектора 1, также нормализуются амплитудным дискриминатором 3 по амплитуде, пересчитываются в отношении 1:2 счетным триггером 4 и сформированные формирователем 5 в виде импульсов отрицательной полярности длительностью 35 мкс также поступают на смеситель 6 (рис. 4.3).

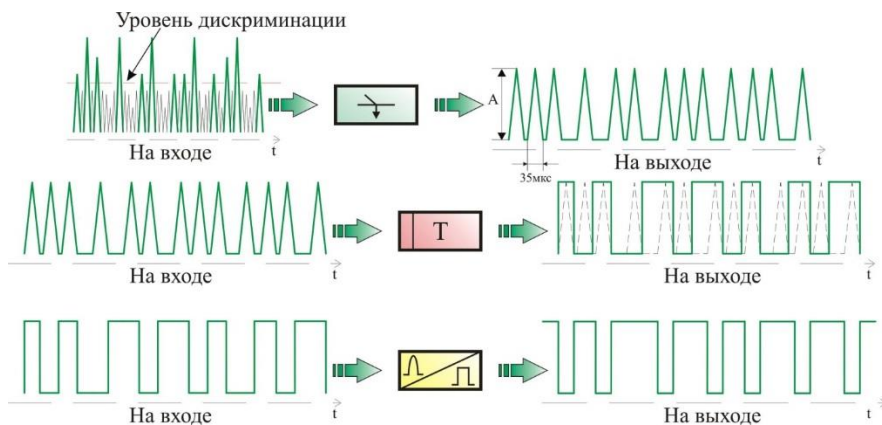


Рис. 4.3. Функциональная схема работы дискриминатора, триггера, и формирователя импульсов в канале НГК

Смеситель пропускает импульсы любой полярности при их разновременном поступлении и только положительные импульсы канала ГК, если одновременно поступает два разнополярных импульса (рис. 4.4).

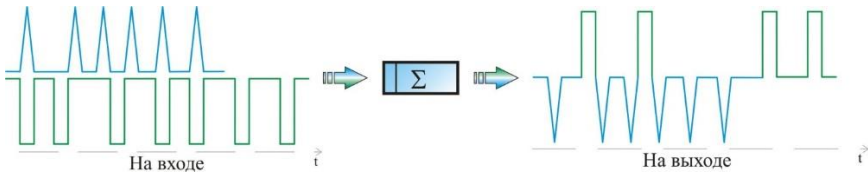


Рис. 4.4. Функциональная схема работы смесителя

С выхода смесителя сигнал попадает на вход усилителя, где он усиливается до определенного уровня (рис. 4.5), и по центральной жиле кабеля передаётся в наземный блок ИПРКУ-А.

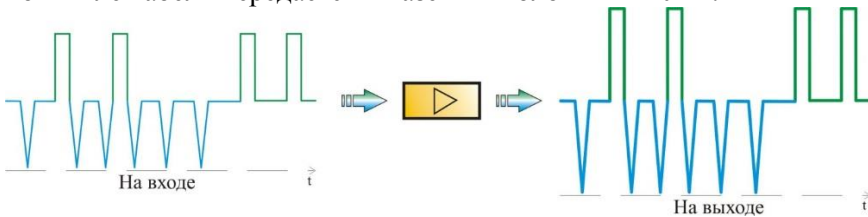


Рис. 4.5. Функциональная схема работы усилителя (или катодного повторителя)

*Детекторы.* В приборе для регистрации радиоактивного излучения используется сцинтилляционные детекторы.

*Дискриминатор.* Как известно, непосредственно с детекторов ядерных излучений информация поступает в аналоговой форме. Для того чтобы преобразовывать аналоговые сигналы в цифровой код используются специальные устройства, называемые *дискриминаторами* импульсов. Главной характеристикой таких устройств является величина порогового напряжения  $U_p$ . Если амплитуда сигнала на входе дискриминатора  $U$  меньше порогового напряжения:  $U < U_p$ , то на выходе сигнал не появляется (состояние «0»), если же  $U > U_p$ , то дискриминатор на какой-то интервал времени переходит в другое (квазиустойчивое) состояние («1») и на его выходе появляется сигнал стандартной амплитуды. Значения напряжения, соответствующие уровням «0» и «1», задаются состояниями отсечки и насыщения транзисторов в выходных каскадах дискриминатора. Эти уровни размыты в некоторых пределах, но не перекрываются. В некоторых типах дискриминаторов сигнал на выходе не формируется, а зависит от входного сигнала, в про-

стейших схемах при превышении входным сигналом порогового уровня на выходе появляется сигнал, повторяющий входной. В более сложных устройствах сигнал на выходе дискриминатора формируется, то есть получается сигнал стандартной формы (как правило, прямоугольный импульс), а в некоторых случаях и стандартной длительности.

Дискриминаторы обычно подразделяют на дискриминаторы импульсов напряжения и дискриминаторы импульсов тока. Первые обычно подключают к выходам линейных усилителей напряжения, а вторые могут использоваться при работе с устройствами, которые могут быть представлены, как генераторы тока, например, подключаться непосредственно к выходу фотоэлектронного множителя сцинтилляционного счетчика или к выходу газоразрядного детектора.

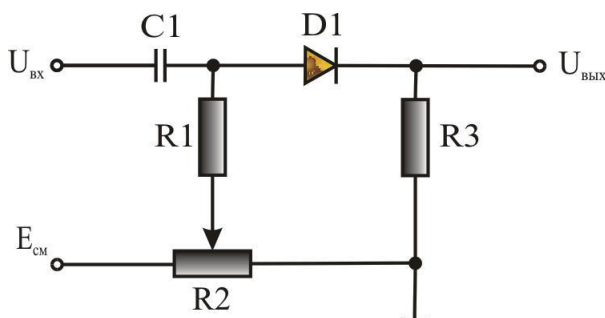


Рис. 4.6. Дискриминатор на диоде

Простейшим дискриминатором является дискриминатор на диоде, схема которого приведена на рис. 4.6. Работа диодного дискриминатора основана на резком изломе его вольтамперной характеристики. Диод может пропускать только такие импульсы, амплитуда которых превышает напряжение запирающего диода  $U_n$ , соответствующее точке излома вольтамперной характеристики. Подобные устройства называют иногда ограничителями. Однако амплитудная характеристика подобного дискриминатора обычно имеет малую крутизну, вследствие чего не имеет резкого излома при достижении порогового напряжения, пороговая область охватывает несколько десятых вольта, а также не ограничена сверху.

Поэтому такой дискриминатор осуществляет, по сути, только сортировку сигналов по амплитуде относительно величины  $U_n$ . Порог дискриминации устанавливают с помощью смещающего напряжения, которое обычно подают через резистивный делитель напряжения ( $R_1, R_2$ , см. рис. 4.6).

В СП дискриминаторы используют в качестве фильтра, для отделения полезного сигнала, поступающего от детектора, от помех.

## 2. Изучить работу триггера и формирователя импульсов в канале НГК

*Триггер* – это электронная логическая схема с положительной обратной связью, имеющая два устойчивых состояния, которые называются единичным и нулевым и обозначаются «1» и «0». Переход из одного устойчивого состояния в другое осуществляется входным пусковым импульсом. Первый входной импульс переводит триггер в работающее состояние «1», следующий выключает его «0» (рис. 4.7). После окончания входного сигнала триггер способен сохранять свое новое состояние сколь угодно долго, пока следующий импульс не переведет его в другое состояние.

Говорят, что триггер запоминает входной сигнал. Это специфическое и очень важное свойство триггера, отличающее его от всех других устройств подобного рода.

В радиометрах триггеры используются для уменьшения количества импульсов в два раза, что позволяет снизить число одновременных приходов импульсов из обоих каналов в смеситель.

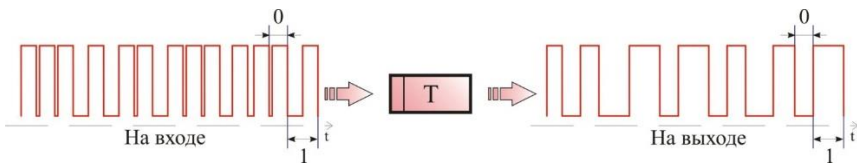


Рис. 4.7. Принцип работы триггера

*Формирователь (нормализатор)* представляет собой электронную схему, в которой каждый сигнал, независимо от его амплитуды и формы на входе, преобразуется в сигнал с заданными параметрами на выходе. В канале НГК с формирователя снимается прямоугольный импульс отрицательной полярности длительностью порядка 35 мкс.



### 3. Изучить работу смесителя и катодного повторителя

*Смеситель* предназначен для суммирования информации, поступающей от измерительных каналов.

Смесители, использующиеся в радиометрах, обладают следующей особенностью работы: они пропускают импульсы любой полярности (при этом, как усилитель меняет полярность импульса) при их разновременном поступлении (рис. 4.8 а) и только положительной полярности (канал ГК), если одновременно приходят два разнополярных импульса (рис. 4.8 б).

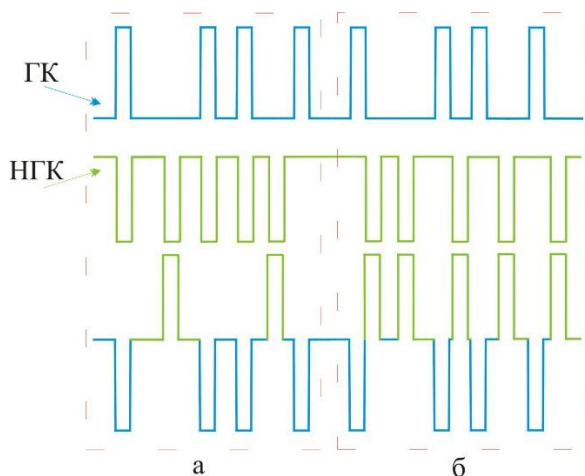


Рис. 4.8. Режимы работы смесителя

Такой режим работы определяется следующими причинами. Количество импульсов в единицу времени в канале ГК в несколько раз меньше, чем в канале НГК. Следовательно, потеря (просчет) одного импульса в этом канале приведет к большей (в процентном отношении) потере информации. Поэтому при одновременном приходе импульсов из каналов ГК и НГК смеситель пропускает сигнал ГК и подавляет сигнал канала НГК.

*Катодный (эмитерный) повторитель или усилитель* является согласующим блоком между скважинным прибором, геофизическим кабелем и наземным измерительным пультом. Разнополярные импульсы, сформированные смесителем характе-

ризируются малой (1 – 3В) амплитудой. Большое выходное сопротивление смесителя и низкие сопротивления геофизического кабеля и измерительного пульта может создать значительное искажение информационных сигналов. Катодный повторитель осуществляет согласование всех указанных устройств и обеспечивает передачу сигналов без искажения.

**Указания по технике безопасности.** К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности Приложение Б.

#### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А.

#### **Контрольные вопросы**

1. Вычертить и описать функциональную схему электрического блока скважинного прибора ДРСТ-3.
2. Какие используются детекторы в приборах серии ДРСТ для регистрации радиоактивного излучения?
3. Принцип действия дискриминатора – преобразователя аналоговых сигналов в цифровой код?
4. Назначение и принцип действия триггера?
5. Назначение и принцип действия формирователя (нормализатора)?
6. Назначение и принцип действия смесителя и катодного (эммитерного) повторителя?

## 5. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СЧЕТЧИКИ. ИСТОЧНИКИ ИОНИЗАЦИОННЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

**Цель работы.** Изучение конструкций полупроводниковых счетчиков радиоактивных излучений и применяемых в промышленной геофизике источников ионизационных излучений.

### **Формируемые компетенции или их части**

ПСК-2,4 – способность профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование, оргтехнику и средства измерения.

ПСК-2,6 – способность выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях.

### **Теоретическая часть**

*Полупроводниковые счетчики.* В твердых телах, как и в газах, энергия заряженных частиц расходуется на *ионизацию и возбуждение атомов*, причем пробег частиц в них в  $10^3$  раз меньше, чем в газе, а плотность ионизации соответственно выше. Поэтому возможно резкое уменьшение размеров ионизационных камер при сохранении или даже увеличении их эффективности, если газ в камере заменить твердым наполнителем. Основной проблемой при этом является выбор твердых тел с подходящей электропроводностью. Перспективным оказалось создание детекторов на основе полупроводниковых материалов.

Для использования полупроводника в качестве детектора ионизирующего излучения в нем создают некоторую область, называемую *p – n* переходом и обладающую большим удельным сопротивлением. Пусть имеются две пластинки полупроводника, одна с электронной, а другая – с дырочной проводимостью, например, соответственно, *n*-германия и *p*-германия. Если эти пластинки привести в тесное соприкосновение, то в местах их соприкосновения начнется диффузия электронов из *n*-германия в *p*-германий. Они нейтрализуют часть дырок в тонком граничном слое *p*-германия. Этот слой заряжается отрицательно, поскольку часть заряда неподвижных отрицательных ионов акцепторов в *p*-германии остается некомпенсированной. Аналогично тонкий граничный слой *n*-полупроводника заряжается положительно. В результате создается переход, препятствующий дальнейшей диффузии носителей за-

ряда. Такой переход обладает свойствами диода. Если присоединить  $n$ -полупроводник к катоду, а  $p$ -полупроводник – к аноду, то через переход течет ток, а при обратной полярности толщина  $p - n$  слоя растет и система не проводит тока.

При подаче напряжения в запиорном направлении основное падение потенциала происходит в  $p - n$  слое, и он ведет себя как конденсатор или *ионизационная камера*.

При прохождении ионизирующей частицы через запиорный слой в нем происходит **ионизация**, и образуются свободные носители заряда. Эти заряды под действием поля дрейфуют к соответствующим электродам. Так как практически все поле в счетчике сосредоточено в области  $p - n$  перехода, время собирания зарядов равно времени, необходимому для прохождения только этого слоя. Поскольку толщина последнего составляет лишь  $n \cdot 10^{-2} - n \cdot 10^1$  мм, то полупроводниковые счетчики обладают малым разрешающим временем ( $10^{-7} - 10^{-9}$  с).

Затрата энергии на образование пары электрон – дырка в германии и кремнии (3 эВ) в 10 раз меньше, чем для воздуха, а импульс тока на порядок выше, чем в газонаполненной камере. Это наряду с меньшей продолжительностью импульса обеспечивает его относительно высокую амплитуду, достигающую 3 мВ на 1 МэВ энергии частицы.

Амплитуда импульса пропорциональна числу носителей заряда, образованных частицей, а, следовательно, ее энергии, если весь ее пробег укладывается в пределах  $p - n$  перехода. Поскольку наибольший пробег среди заряженных частиц имеют электроны (примерно 1 мм/МэВ), то для спектрометрии электронов и  $\gamma$ -квантов необходимы детекторы с толщиной перехода не менее нескольких миллиметров.

Увеличение толщины слоя для  $\gamma$ -квантов необходимо также для повышения эффективности регистрации. Для регистрации и спектрометрии тяжелых частиц достаточна толщина  $p - n$  перехода, равная приблизительно 10 мкм.

### **Источники ионизирующего излучения**

В связи с тем, что стандартный радиоактивный каротаж, включает в себя такие методы радиоактивного каротажа, как гамма-каротаж и нейтронный гамма-каротаж (НГК), то источник ионизирующего излучения будет применяться только при

нейтронном гамма-каротаже. НГК основан на облучении скважины и пород нейтронами от стационарного ампульного источника и измерении плотностей потоков гамма-квантов, образующихся в результате ядерных реакций захвата, которое в большей степени зависит от водородосодержания исследуемой среды. Для облучения горных пород, слагающих стенки скважины, при НГК используются ампульные источники нейтронов и генераторы нейтронов.

Источники  $\gamma$ -излучения представляют собой радиоактивный препарат, помещенный в герметичные ампулы из нержавеющей стали или алюминия; в некоторых случаях используются источники в виде металлических подложек с тонким слоем изотопа.

### **Оборудование и материалы**

Работа выполняется в лаборатории ГИС.

Исходными данными для выполнения работы являются рисунки детекторов.

### **Задания**

1. Изучить назначение полупроводниковых счетчиков.
2. Изучить разновидности источников ионизирующего излучения.

### **Указания по порядку выполнения работы**

#### **1. Изучить назначение полупроводниковых счетчиков**

Полупроводниковые детекторы подразделяются на поверхностно-барьерные, диффузные и с  $p - i - n$ -переходом. Рассмотрим лишь первые, получившие широкое применение для регистрации тяжелых частиц, и последние, используемые для регистрации  $\gamma$ -квантов.

*Поверхностно-барьерные детекторы* обычно изготавливают на основе пластинки  $n$ -полупроводника. Для создания электрического контакта на одну из ее плоскостей наносится слой никеля. В атмосфере воздуха тонкий слой на второй стороне пластинки окисляется и приобретает свойства  $p$ -полупроводника: возникает  $p - n$ -переход. На эту поверхность для электрического контакта с  $p$ -полупроводником напыляют тонкий слой золота (рис. 5.1, а). Толщина чувствительного слоя в  $p - n$ -переходе (несколько мик-

рометров) достаточна для спектрометрии тяжелых частиц. Слой золота на поверхности должен быть тонким, чтобы через него свободно проходили регистрируемые ядерные частицы.

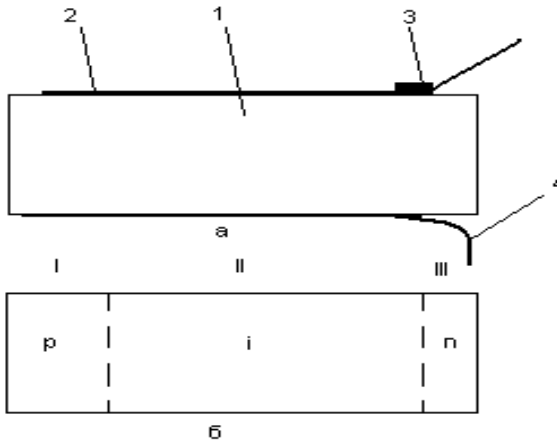


Рис. 5.1. Полупроводниковые детекторы:

а – поверхностно-барьерный; б – с p-i-n переходом

1 – p-кремний; 2 – тонкий слой золота; 3, 4 – электрические контакты

В детекторах  $p - n$ -переходом большую толщину чувствительного слоя, необходимую для регистрации  $\beta$ -частиц и  $\gamma$ -квантов, получают внедрением в один из торцов  $p$ -полупроводника лития, обладающего *высоким коэффициентом диффузии*. Этим создают три слоя (рис. 5.1, б).

В слое I, куда не проникли атомы лития, сохраняется  $p$ -проводимость. Тонкий слой III с преобладанием донора (лития) приобретает свойства  $n$ -полупроводника. Наконец, в промежуточном слое II концентрации доноров и акцепторов равны. Этот слой, не имеющий примесной проводимости и обладающий высоким удельным сопротивлением, называют  $i$ -слоем. Толщину  $i$ -слоя в отдельных случаях удается довести до 8 мм, что достаточно для получения хорошего энергетического разрешения и неплохой эффективности для  $\gamma$ -квантов: 0,7 и 0,2 % для  $\gamma$ -квантов с энергией соответственно 0,663 и 1,333 МэВ. Созданы детекторы с чувствительным объемом до  $n \cdot 10^1 \text{ см}^3$ , т. е. сравнимым с объемом сцинтилляторов, имеющие эффективность до 10 %.

Полупроводниковые детекторы отличаются экономичностью питания, компактностью, нечувствительностью (в отличие от ФЭУ) к магнитному полю, а также амплитудным разрешением в 20–30 раз лучшим, чем у сцинтилляционных счетчиков. Однако их широкое применение ограничивается относительно небольшими размерами чувствительной части освоенных промышленностью детекторов и особенно необходимостью их охлаждения жидким азотом ( $T = 77 \text{ K}$ ). При комнатной температуре собственный (темновой) ток детекторов столь велик, что регистрация на его фоне импульсов от ядерных частиц невозможна.

## 2. Изучить разновидности источников ионизирующего излучения

Ампульные источники нейтронов чаще всего представляют собой смесь или сплав  $\alpha$ -излучателя с бериллием или бором. При бомбардировке последних  $\alpha$ -частицами происходит реакция  $(\alpha, n)$ , например  ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^{12}\text{C}$ ;  ${}^{11}\text{B}(\alpha, n){}^{14}\text{N}$ . Спектр нейтронов этих реакций сплошной, в основном за счет потери части энергии  $\alpha$ -частиц на ионизацию в веществе самого источника.

В качестве  $\alpha$ -излучателя чаще всего применяют  ${}^{210}\text{Po}$  или  ${}^{239}\text{Pu}$ . Достоинством первого является практически полное отсутствие  $\gamma$ -излучения, не считая  $\gamma$ -квантов, сопровождающих часть реакций  $(\alpha, n)$ ; недостатком – слишком малый период полураспада. Достоинством  ${}^{239}\text{Pu}$  является большой период полураспада, недостатком – большой вес на единицу активности, обуславливающий несколько больший размер и большую стоимость источников по сравнению с источниками с  ${}^{210}\text{Po}$ .

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

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

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

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

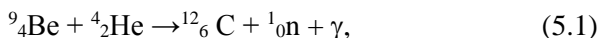
${}^{252}\text{Cf}$ ,  $T_{1/2} - 2,2$  года, спонтанное деление,  $E -$  до 7–8 МэВ.

Конструктивно Po-Be источники представляют собой герметичные двойные ампулы из нержавеющей стали или хромированной латуни, внутри которых расположена стеклянная ампула с порошком карбида бериллия (керамическая таблетка) с осажденным на нем  ${}^{210}\text{Po}$ . Pu-Be источники представляют собой

двойные ампулы, заполненные сплавом Pu-Be. Размер источника от 3 X 3 до 46 x 46 мм в зависимости от мощности. Мощность Pu-Be источников  $10^4$ – $5 \cdot 10^7$ , а полониево-бериллиевых  $10^6$ – $4 \cdot 10^8$  нейтр./с.

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

В качестве источника нейтронов используют обычно смесь полония с бериллием. Полоний – радиоактивный элемент. Распадаясь, он излучает альфа-частицу ( $^4_2\text{He}$ ). При взаимодействии альфа-частицы с ядром бериллия ( $^9_4\text{Be}$ ) образуются ядро углерода  $^{12}_6\text{C}$  и нейтрон ( $^1_0\text{n}$ ).



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

**Генераторы нейтронов** предназначены для использования в качестве источника нейтронов в составе аппаратурных комплексов для геофизических исследований скважин. Генератор нейтронов состоит из источника высокого напряжения (ИВН), ускорительной нейтронной трубки (НТ) и блока управления (БУ) (рис. 5.2).



Рис. 5.2. Внешний вид многофункционального нейтронного генератора МФНГ-601

Ускорительная трубка является основной частью генератора нейтронов. При подаче положительного напряжения происходит образование ионов дейтерия, а, следовательно, и нейтронов. Расход дейтерия выполняется из хранилища, представляющего собой титановую проволоку, насыщенную дейтерием. Для выделения сорбированного дейтерия из хранилища последний нагревается электрическим током.

Скважинный генератор нейтронов представляет с собой линейные ускорители дейтронов. Нейтроны возникают при бомбар-



дировке 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  ${}^2\text{H}(d,n){}^3$  дает нейтроны с энергией 2,5 МэВ, прием выход нейтронов почти на два порядка ниже, чем для реакции в тритиевой мишени.

Различные модификации скважинных нейтронных генераторов представлены на рис. 5.3.



Рис. 5.3. Различные модификации скважинных нейтронных генераторов

Основными частями скважинного генератора нейтронов являются источник ионов, ускорительная трубка и источник высокого напряжения (рис. 5.4). Ускорительная трубка представляет собой стеклянный баллон, заполненный дейтерием, под давлением  $(3-5) \cdot 10^{-2}$  Па.

Внутри трубки расположены высоковольтный электрод с титановой мишенью насыщенный  ${}^3\text{H}$  активностью 37ГБк. Электроны, эмиссируемые катодом ионного источника, ускоряются разностью потенциалов в несколько сотен вольт, приложенной между катодом и анодом ионного источника, и производят ионизацию дейтерия, заполняющего трубку. Для удлинения пути электронов и усиление их ионизирующего действия на трубку надета катушка, создающая продольное магнитное поле. Под совместным действием продольного магнитного и электрического полей электроны движутся по спиральям. Образовавшиеся ионы дейтерия притяги-

ваются мишенью, находящейся под высоким отрицательным напряжением. При бомбардировке ими ядер  ${}^3\text{H}$ , сорбированного в мишени, генерируются нейтроны. Титановая проволочка служит хранилищем дейтерия.

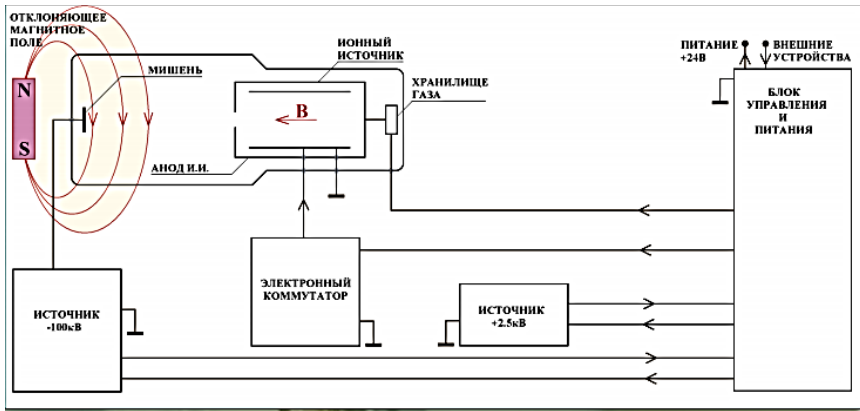
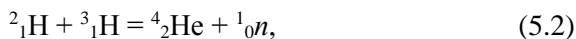


Рис. 5.4. Блок-схема включения ускорительной нейтронной трубки

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

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

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



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

В настоящее время во ВНИИ Автоматики разработан ряд новых нейтронных трубок, отличающихся более высоким выходом нейтронов и более продолжительным сроком службы: НТ-32, ТНТ-145, ТНТ-143, ТНТ-1411, ТНТ-1415. Трубка ТНТ-1411 является аналогом НТ-16 со средним ресурсом 75 часов и термостойкостью до +120 °С, а ТНТ-143 – аналог УНГ.

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

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

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

Большинство  $\gamma$ -активных препаратов испускает и  $\beta$ -излучение, однако оно поглощается в корпусе ампулы или может быть легко исключено дополнительной экранировкой.

Другие источники гамма квантов – Цезий 144  $E_{\text{изл}}$  – 0,134 МэВ (275), Селен 75  $E_{\text{изл}}$  0,45 МэВ (127 сут), Сурьма 124  $E_{\text{изл}}$  1,69 МэВ (60 сут), Тулий 170  $E_{\text{изл}}$  0,052 МэВ (127 сут), Железо 55  $E_{\text{изл}}$  0,0059 МэВ (2,9 года).

### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А и включает этапы выполнения работы с указанием результатов.

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

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности Приложение Б.

### **Контрольные вопросы**

1. Принцип действия полупроводниковых счетчиков?
2. Назначение источников ионизирующего излучения?
3. Поверхностно-барьерные детекторы.
4. Ампульные источники нейтронов.
5. Назначение и конструкции генераторов нейтронов.
6. Источники гамма квантов.

## **6. АППАРАТУРА АКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН НА ГОЛОВНЫХ ВОЛНАХ**

**Цель работы.** Изучение конструктивных особенностей приборов АК.

#### **Формируемые компетенции или их части**

ПСК-2,4 – способность профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование, оргтехнику и средства измерения.

ПСК-2,6 – способность выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях.

### **Теоретическая часть**

Независимо от модификации акустических исследований скважин аппаратура состоит из скважинного прибора (акустический зонд, электрические схемы возбуждения и приема акустических сигналов), канала связи и наземного блока преобразования, обработки и регистрации акустических сигналов.

Упругие колебания в пьезоэлектрическом приемнике преобразуются в электрические сигналы, которые усиливаются предвари-

тельным усилителем для уменьшения наводок от силовых цепей, а также усилителем мощности.

Для аппаратуры СПАК основная частота акустических колебаний  $f = 20$  кГц, расстояние между излучателями 0,5 м, отношение сигнал/помеха  $U_s/U_n = 10$ .

Например, в измерительной панели АНК-М предусмотрена возможность измерения амплитудных параметров других типов волн, например волн Лэмба, с использованием ручной блокировки.

В комплекс акустических исследований на отраженных волнах входят следующие модификации.

1. Акустическая кавернометрия на частоте  $f_0 = 200 - 500$  кГц. Измеряемый параметр  $d_c = v_0 t$ .

2. Акустическая профилометрия: акустическая кавернометрия с вращением луча.

3. Скважинное акустическое телевидение на частоте 1–2 МГц.

Разрешающая способность зависит от длины волны излучателя. Амплитуда принятого отраженного сигнала определяется волновым сопротивлением  $Z = \delta v$  стенки скважины и затуханием сигнала в растворе скважины и составляет примерно 0,01 от амплитуды импульса излучения. Ультразвуковой элемент из пьезокерамики вращается в горизонтальной плоскости специальным устройством. Для гашения акустических импульсов противоположной стороны использован демпфер. Излучатель помещен в наполненную маслом оболочку, обеспечивающую акустическую связь со скважиной. Скорость вращения 3–4 об/с. Частота импульсов 1,4–1,6 кГц, 400–500 сигналов за один оборот. Длительность тактовых импульсов 0,6 мкс. Скорость подъема прибора 20 м/ч. Разрешение 2 мм. Если удельный вес раствора становится более 1,25 г/см<sup>3</sup>, сигнал уменьшается. Отраженный сигнал принимается тем же преобразователем.

Наиболее широкое применение геофизические методы получили при изучении нефтяных и газовых скважин в процессе их бурения, опробования и эксплуатации. Исследование скважин геофизическими методами проводится в четырех направлениях: изучение геологических разрезов скважин; изучение технического состояния скважин; контроль разработки месторождений нефти и газа; проведение прострелочно-взрывных и других работ в скважинах геофизической службой. Изучение геологических разрезов

скважин – самое важное направление. Одним из таких геофизических методов и является акустический каротаж.

Акустический каротаж один из ведущих методов изучения разрезов скважин, основанный на измерении параметров упругого волнового поля в скважине на малых и фиксированных базах (0,1–10 м) в звуковом (0,5–20 кГц) и ультразвуковом (25 кГц – 2МГц) диапазонах частот. Метод предназначен для непосредственного изучения акустических параметров волнового поля горных пород, пересечённых скважинами, а также для изучения характеристик акустических сигналов, связанных с различными неоднородностями, возникающими в затрубном пространстве скважин. При акустическом каротаже возбуждение упругих колебаний частотой 10 – 20 кГц и 20 кГц – 2 МГц производится с помощью магнитострикционных (или иных) излучателей.

Упругие колебания измеряют с помощью двух пьезоэлектрических сейсмоприемников, расположенных по одной линии на расстояниях 0,5–2 м друг от друга и от излучателя (рис. 6.1). Между излучателем и ближайшим приемником устанавливается звукоизолятор, например, из резины, препятствующий передаче упругих колебаний по зонду. Все перечисленные приборы вместе с электронным усилителем принятых колебаний размещаются в скважинном снаряде акустического каротажа. Остальная аппаратура располагается в каротажной станции. Акустический каротаж выполняется как в необсаженных скважинах, заполненных жидкостью, так и в обсаженных скважинах. Радиус исследования пород от оси скважины не превышает 0,5–1 м.

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

СХЕМА ПРИБОРА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ АК

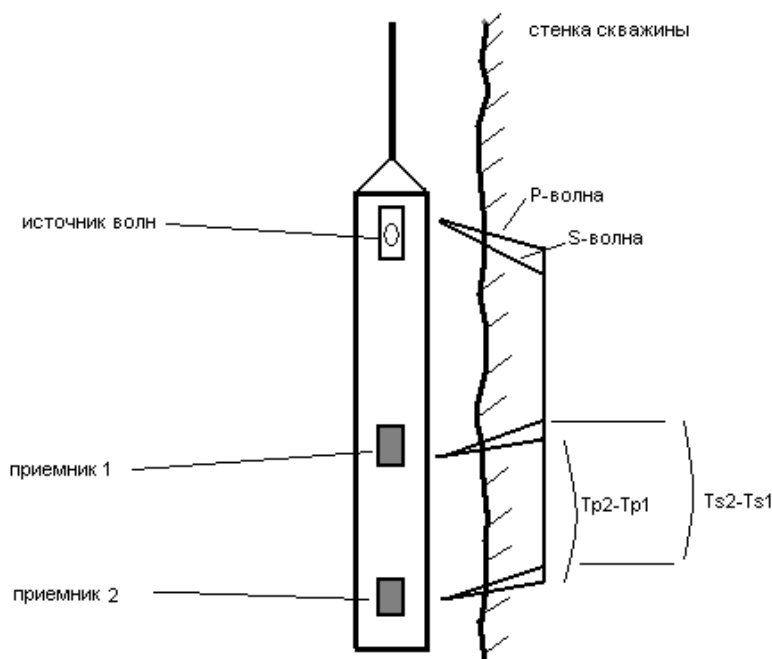


Рис. 6.1. Схема аппаратуры акустического каротажа

Скорость распространения упругих волн зависит от упругих модулей пород, их литологического состава, плотности и пористости, а величина затухания – от характера заполнителя пор, текстуры и структуры породы. На акустических диаграммах высокими значениями скоростей распространения упругих волн выделяются плотные породы – магматические, метаморфические, скальные, осадочные. В рыхлых песках и песчаниках скорость тем ниже, чем больше пористость. Наибольшее затухание (наименьшая амплитуда сигнала) наблюдается в породах, заполненных газом, меньше затухание в породах нефтенасыщенных, еще меньше – у водонасыщенных. Акустический метод применяется для расчленения разрезов скважин по плотности, пористости, коллекторским свойствам, а также для выявления границ газ – нефть, нефть – вода и определения состава насыщающего породы флюида. Кроме того,

по данным этого метода можно судить о техническом состоянии скважин и, в частности, о качестве цементации обсадных колонн.

**Акустическая цементометрия (АКЦ)** используется в обсаженных скважинах для оценки качества цементирования заколонного пространства.

Акустическая цементометрия основана на измерении характеристик волновых пакетов, создаваемых источником колебаний с частотой излучения 20–30 кГц, распространяющихся в колонне, цементе камне и горных породах.

В качестве информации используют:

- амплитуды или коэффициент эффективного затухания волны, распространяющейся по колонне;
- интервальное время и амплитуды или затухание первых вступлений волн, распространяющихся в горных породах;
- фазокорреляционные диаграммы.

Метод позволяет:

- установить высоту подъема цемента;
- выявить наличие или отсутствие цемента за колонной;
- определить наличие каналов, трещин, каверн в цементном камне;
- изучить степень сцепления цемента с колонной и породами.

**Скважинная аппаратура МАК-2.** Аппаратура содержит два скважинных прибора: один с излучателем диаметром 73 мм, другой с излучателем диаметром 100 мм и блок управления. Блок управления аппаратуры вырабатывает переменное напряжение для питания скважинного прибора, позволяет ступенчато регулировать коэффициент усиления прибора, разделяет синхроимпульсы и информационные сигналы, поступающие со скважинного прибора, и выдает их в форме, удобной для последующих измерений параметров сигналов.

В качестве канала связи между скважинным прибором и блоком управления используется трехжильный бронированный каротажный кабель КГЗ-БО-180 длиной до 5500 м. Для питания скважинного прибора и передачи информационных сигналов аппаратуры требуются две жилы каротажного кабеля и его броня. Третья жила кабеля не используется и является резервной.

Многоэлементные зонды позволяют исследовать распределение поля не только во времени, но и вдоль оси скважины (про-



странственно-временное распределение) при данном положении излучателя. Этого достигают, применяя значительное число элементов. Например, зонд типа МАК-1 содержит 2 излучателя и 16 приемников. Такие зонды называют также матричными.

### **Оборудование и материалы**

Работа выполняется в лаборатории ГИС. Исходными данными для выполнения работы являются каротажные диаграммы и схемы приборов АК.

### **Задания**

1. Изучить схему трехзондовой аппаратуры акустического каротажа СПАК-6 и описать параметры, измеряемые данным прибором.
2. Вычертить эпюры волновых картинок сигналов от ближнего и дальнего излучателей.
3. Описать блок-схему прибора акустического каротажа СПАК.

### **Указания по порядку выполнения работы**

#### **1. Нарисовать эпюры волновых картин сигналов от ближнего и дальнего излучателей прибора АК**

В настоящее время в нефтяных и газовых скважинах акустический каротаж проводится с использованием аппаратуры СПАК-6, СПАК-2Т МАК-2 и др. Кроме того, различные породы по-разному ослабляют энергию наблюдаемой волны по мере удаления от источника возбуждения упругих волн. Чем выше газонасыщенность, глинистость, трещиноватость и кавернозность пород, тем больше затухание колебаний. Для измерения параметров распространения упругих колебаний используется акустический зонд. В качестве основного используется трехэлементный зонд, состоящий из двух излучателей и приемника (рис. 6.2). Каждый из излучателей и приемник образуют двухэлементный зонд.

В процессе регистрации волновых картин выделяются следующие параметры (см. рис. 6.3):

- T1 время пробега головной волны от ближнего излучателя (время первого вступления продольной волны 1 зонда);
- T2 время пробега головной волны от дальнего излучателя (время первого вступления продольной волны 2 зонда);

–  $A_1$  амплитуда первого вступления волны от ближнего излучателя (максимальная амплитуда сигнала, поступающего от ближнего излучателя в интервале стробирования  $\sim 140$  мкс, начинающегося в момент фиксации сигнала);

–  $A_2$  амплитуда первого вступления волны от дальнего излучателя (максимальная амплитуда сигнала, поступающего от ближнего излучателя в интервале стробирования  $\sim 140$  мкс, начинающегося в момент фиксации сигнала).

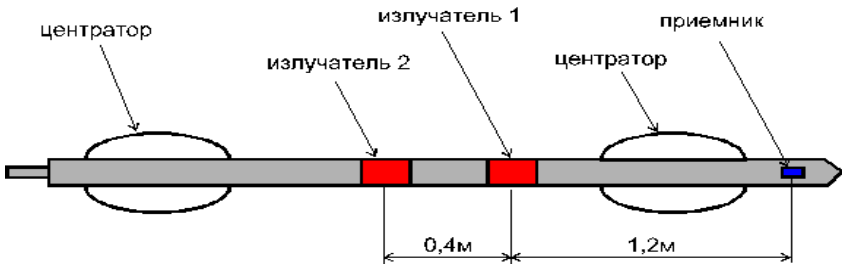


Рис. 6.2. Схема трехзондовой аппаратуры акустического каротажа СПАК-6

На основе этих данных рассчитываются:

–  $\Delta T$  – интервальное время пробега продольной волны:  $\Delta T = (T_2 - T_1) / S$ ;

–  $A$  – кажущийся коэффициент поглощения продольной волны:  $A = 20(1/S) \lg(A_1/A_2)$

В каждое из времён  $T_1$  и  $T_2$  входит двойное время пробега волны по раствору. В разности  $(T_2 - T_1)$  это время исключается (то есть исключается влияние скважины) и  $(T_2 - T_1)$  соответствует пробегу волны в интервале между излучателями (база зонда  $S$ ) по прямой.

Время  $(T_2 - T_1)$ , отнесенное к пробегу волны на расстояние в 1 м, называют интервальным временем  $\Delta T$  (измеряется в мкс/м).

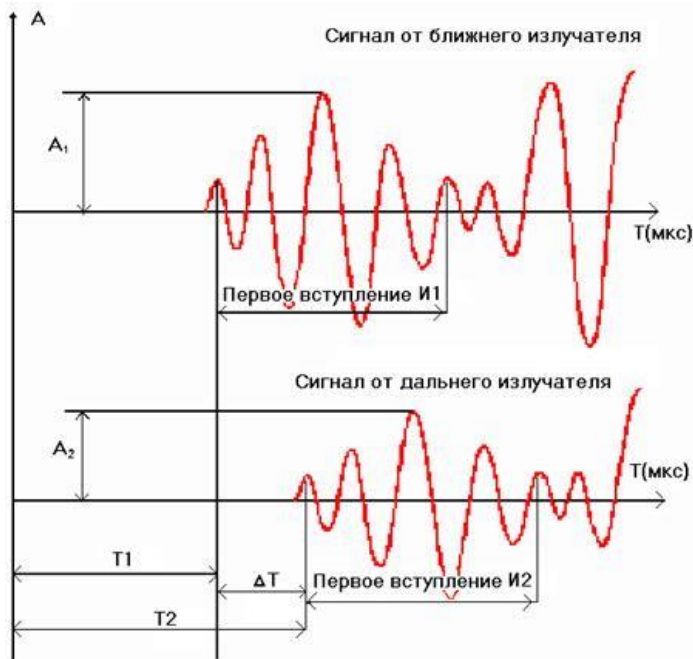


Рис. 6.3. Сигнал от ближнего и дальнего излучателей

При акустических исследованиях может также применяться зонд, состоящий из одного излучателя и двух приёмников. При акустическом каротаже возбуждение упругих колебаний частотой 10–20 кГц и 20 кГц – 2 МГц производится с помощью магнито-стрикционных (или иных) излучателей. Упругие колебания измеряют с помощью двух пьезоэлектрических сейсмоприемников, расположенных по одной линии на расстояниях 0,5–2 м друг от друга и от излучателя. Между излучателем и ближайшим приемником устанавливается звукоизолятор, например, из резины, препятствующий передаче упругих колебаний по зонду. Все перечисленные приборы вместе с электронным усилителем принятых колебаний размещаются в скважинном снаряде акустического каротажа. Остальная аппаратура располагается в каротажной станции. Акустический каротаж выполняется как в необсаженных скважинах, заполненных жидкостью, так и в обсаженных скважинах. Радиус исследования пород от оси скважины не превышает 0,5–1 м.

Наиболее простой способ акустических исследований – каротаж скорости, когда автоматически регистрируется кривая изменения времени пробега прямой или головной волны между двумя приемниками. Поскольку расстояние между приемниками постоянно, то кривая времени является фактически обратным графиком изменения скорости. При каротаже по затуханию измеряется амплитуда упругой волны и ослабление сигнала между двумя приемниками. Скорость распространения упругих волн зависит от упругих модулей пород, их литологического состава, плотности и пористости, а величина затухания – от характера заполнителя пор, текстуры и структуры породы (рис. 6.4) На акустических диаграммах высокими значениями скоростей распространения упругих волн выделяются плотные породы – магматические, метаморфические, скальные, осадочные. В рыхлых песках и песчаниках скорость тем ниже, чем больше пористость. Наибольшее затухание (наименьшая амплитуда сигнала) наблюдается в породах, заполненных газом, меньше затухание в породах нефтенасыщенных, еще меньше – водонасыщенных.

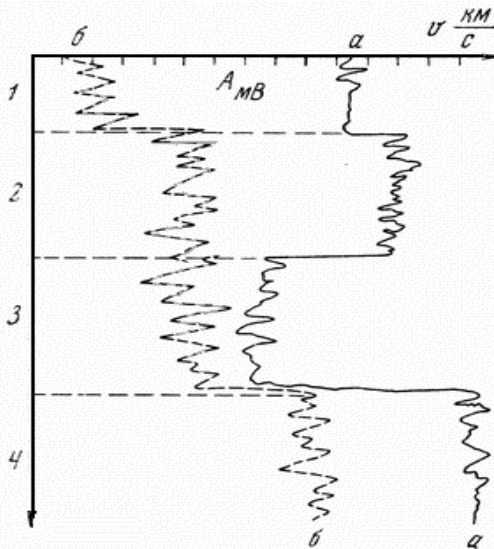


Рис. 6.4. Общий вид диаграммы скорости (а) и амплитуды (б) при акустическом каротаже: 1 – породы средней пористости, сухие; 2 – породы средней пористости, влажные; 3 – породы высокой пористости; 4 – породы низкой пористости, плотные

## 2. Изучить аппаратуру акустического каротажа СПАК

Приборы АК измеряют время пробега звукового импульса от излучателя до группы приемников. Звуковая волна ударяется о ствол скважины, проходит через пласт и возвращается на прибор, где приемники измеряют амплитуду сигнала как функцию времени.

Акустический метод применяется для расчленения разрезов скважин по плотности, пористости, коллекторным свойствам, а также для выявления границ газ – нефть, нефть – вода и определения состава насыщающего породы флюида. Как правило, чем плотнее горные породы – тем выше скорость.

Наиболее широкое применение получила аппаратура акустического каротажа СПАК. Аппаратура типа СПАК используется в целях литологического расчленения разрезов нефтяных (реже угольных и рудных) скважин, выделения пластов нефти и газа, выделения и характеристики коллекторских свойств пористых пластов и горизонтов и т. д.

Аппаратура СПАК состоит из глубинного прибора и наземной панели для измерения времени прихода волны и ее амплитуды. От наземной панели к глубинному прибору подаются синхроимпульсы СИ разной полярности с частотой следования 25 Гц.

Аппаратура акустического каротажа СПАК предназначена для измерения и регистрации кинематических и динамических характеристик упругих волн в нефтяных и газовых скважинах (рис. 6.5).

Аппаратура эксплуатируется с трехжильным геофизическим кабелем типа КГЗ-60-180 длиной до 5500м.

Частота излучаемых колебаний – 25 кГц. Передача информационного сигнала на наземный измерительный пульт осуществляется по первой и второй жилам кабеля. Передача напряжения частоты 400 Гц для питания скважинного прибора осуществляется по средней точке цепи, образованной первой и второй жилами кабеля, согласующим трансформатором скважинного прибора и броней кабеля. По третьей жиле и броне кабеля осуществляется передача в скважинный прибор пусковых импульсов и постоянного напряжения для управления переключателем усиления, а также передача синхроимпульсов на скважинный прибор.

Диапазон измерений интервального времени  $\Delta T$  от 140 до 600 мкс/м. Диапазон измерений декремента затухания  $\alpha$  не менее 30 дБ/м.

Сопротивление первой и сопротивление второй жилы кабеля по отношению к оплетке кабеля должны быть равны между собой и примерно соответствовать сопротивлению одной жилы на данной длине кабеля. Сопротивление первой жилы кабеля по отношению ко второй жиле должно быть равно сопротивлению двух жил кабеля. Сопротивление третьей жилы кабеля по отношению к корпусу должно быть порядка 3,5 кОм.

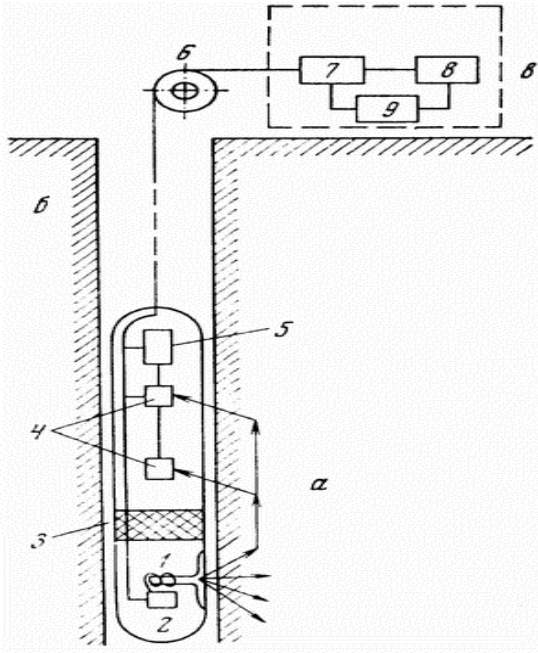


Рис. 6.5. Блок-схема прибора акустического каротажа СПАК:  
 а – скважинный снаряд; б – кабель; в – наземная аппаратура;  
 1 – излучатель; 2 – генератор акустических колебаний; 3 – акустический изолятор; 4 – приемники; 5 – электронный усилитель; 6 – блок-баланс;  
 7 – усилитель; 8 – регистратор; 9 – блок питания

### 3. Изучить принцип действия акустической цементометрии

АКЦ используется в обсаженных скважинах для оценки качества цементирования заколонного пространства (рис. 6.6).

Акустическая цементометрия основана на измерении характеристик волновых пакетов, создаваемых источником колебаний с

частотой излучения 20-30 кГц, распространяющихся в колонне, цементе камне и горных породах.

Когда за колонной цемента нет, или он имеется, но не сцеплен с колонной, приемник отмечает продольную волну по колонне. Она имеет максимальную амплитуду вследствие малого затухания и время пробега, соответствующее скорости распространения упругих волн в стали ( $V = 5400$  м/сек). Против муфтовых соединений колонны наблюдается уменьшение амплитуды колебаний в связи с рассеянием энергии на резьбе и увеличением время пробега.

Если цементное кольцо сцеплено только с колонной, то упругая волна по колонне будет резко ослаблена вследствие демпфирующего влияния цементного кольца и амплитуда  $A_k$  будет на уровне помех. В этом случае к приемнику с заметной амплитудой придет волна по цементному кольцу, в котором скорость распространения упругих волн невелика ( $V_{ц} = 2500$  м/сек). Поэтому будет регистрироваться максимальное время  $T_p$ .

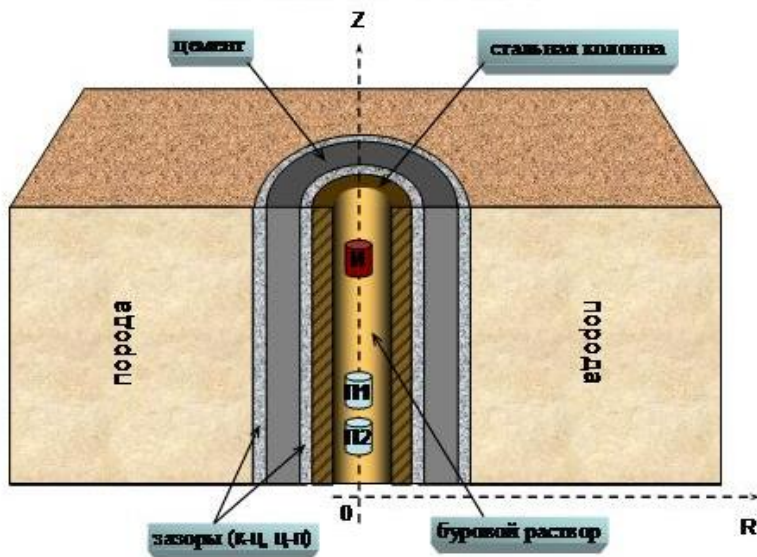


Рис. 6.6. Схема акустической цементометрии

Если цементное кольцо одновременно сцеплено с колонной и с породой, то первой к приемнику будет подходить головная волна

по породе, так как  $V_{п} > V_{ц}$ . В этом случае кривые  $A_{п}$  и  $T_{п}$  сходны с аналогичными кривыми, полученными в необсаженной колонне.

Проводится АКЦ через 1–2 суток после цементирования колонны.

В приборах акустической цементометрии используются короткие трехэлементные измерительные зонды с расстоянием между ближайшим излучателем и приемником от 0.7 до 1.5 м и базой зондов (расстояние между приемниками) в пределах 0.3–0.6 м. Скважинный прибор центрируется.

Приборы скважинной цементометрии применяются для определения высоты подъема цемента и оценки качества сцепления цемента с породой и обсадной колонной. Рассмотрим некоторые из них.

Аппаратура акустической цементометрии 8-ми секторная сканирующая АКЦ8С предназначена для определения качества цементирования обсадных колонн в скважинах, а также выделения вертикальных каналов между колонной и цементным камнем раскрытостью не менее 15 градусов в нефтяных и газовых скважинах, имеющих в интервале исследований диаметры от 100 до 300 мм для открытого ствола и от 100 до 300 мм для обсаженного ствола при верхних значениях температуры окружающей среды 120 °С и гидростатического давления 60 МПа, в водной промывочной жидкости, при скорости каротажа до 800 м/ч (рис. 6.7).

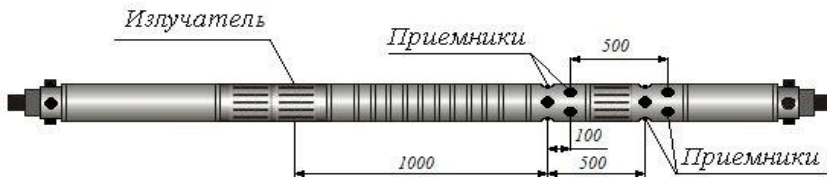


Рис. 6.7. Скважинный прибор АКЦ8С

Аппаратура состоит из зонда излучателей и зонда приемников, соединенных вставкой.

Зонд излучателей состоит из стального корпуса, в котором на фторопластовом основании расположен один монополюсный излучатель. Зонд приемников состоит из стального корпуса, в котором на фторопластовых креплениях размещены приемники в резиновых кожухах. Приемники размещены по двум группам. Работа ап-



паратуры основана на возбуждении импульсов упругих колебаний и последующем их приеме, и регистрации после прохождения исследуемой среды. Измерительные зонды состоят из монополюсного электроакустического излучателя и из четырех групп электроакустических преобразователей (приемников). Расстояние между излучателем и первой группой приемников (зондовое расстояние) составляет 1,0 м, расстояние второй группы приемников (зондовое расстояние) составляет 1,1 м, расстояние между 1 и 2 парой приемников в группе приемников (измерительная база) составляет 0,5 м.

Излучатели с приходом сигнала о прохождении прибором кванта глубины возбуждают импульсы упругих колебаний, которые распространяются в исследуемой среде, принимаются приемниками и преобразуются в электрический сигнал.

Основные преимущества аппаратуры АКЦ8С:

- возможность возбуждать импульсы упругих колебаний произвольной формы, частоты, длительности, определяемых установленным программным обеспечением и задаваемых бортовым компьютером;

- регистрация акустического сигнала происходит одновременно по всем каналам измерительного зонда;

- возможность проводить регистрацию акустического поля в исследуемой точке как раздельного выбранными зондами за несколько спусков-подъемов, так и всеми зондами одновременно в зависимости от установленного программного обеспечения;

- при одновременной регистрации акустического поля зондами снижение скорости каротажа до 260 м/час при шаге квантования 0,1 м;

- автоматическая регулировка усиления измерительных каналов, исключая настройку прибора в процессе исследований;

- цифровой канал связи позволяет исключить частотные искажения, вносимые каротажным кабелем.

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

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности Приложение Б.

#### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А.

## **Контрольные вопросы**

1. Модификации приборов АК.
2. Описать схему аппаратуры акустического каротажа.
3. Назначение акустической цементометрии.
4. Вычертить эпюры волновых картин сигналов от ближнего и дальнего излучателей.
5. Описать блок-схему прибора акустического каротажа СПАК.
6. Какие параметры измеряются при АК.
7. По диаграммам скорости (а) и амплитуды (б) определить литологию пород.
8. По диаграмме АКЦ определить качество цементации.

## **7. КАЛИБРОВКА АППАРАТУРЫ АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА**

**Цель работы.** Изучение процедуры калибровки аппаратуры акустического каротажа.

### **Формируемые компетенции или их части**

ПСК-2,4 – способность профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование, оргтехнику и средства измерения.

ПСК-2,6 – способность выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях.

### **Теоретическая часть**

Акустические параметры пластов горных пород измеряют аппаратурой акустического каротажа (АК) с целью их использования в косвенных измерениях коэффициента пористости пластов. Такая аппаратура используется также и при контроле качества цементирования колонн в скважинах. При калибровке и поверке аппаратуры акустического каротажа в качестве измеряемых параметров приняты следующие: интервальное время распространения ультразвука в диапазоне от 140 до 600 мкс/м с пределами допускаемой основной относительной погрешности  $\pm 3\%$ ; коэффициент затухания ультразвука в диапазоне от 2 до 30 дБ/м с пределами допускаемой основной относительной погрешности  $\pm 15\%$ .

Для калибровки аппаратуры акустического каротажа методом прямых измерений применяют стандартные образцы скорости распространения и коэффициента затухания ультразвука. Они выполнены в виде трубных волноводов, конструктивно представляющие собой стальные, стеклопластиковые, асбоцементные и полиэтиленовые трубы длиной 4 или 6 м, заполненные водой. Все волноводы устанавливаются в шахту или трубный контейнер диаметром (0,6,0,8) м, рис. 7.1. Технические характеристики трубных волноводов представлены в табл. 7.1.

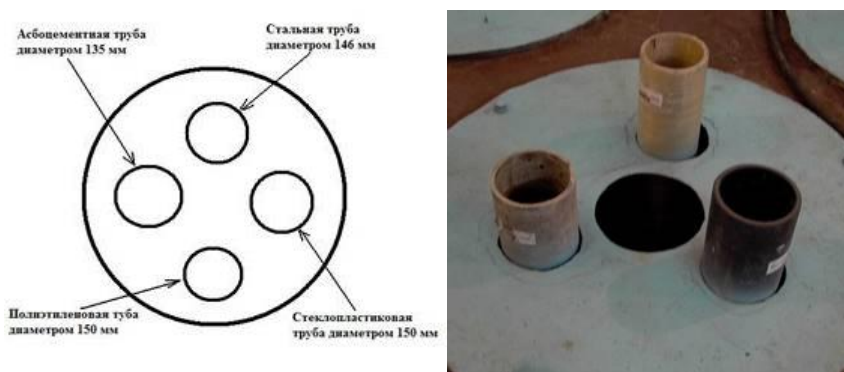


Рис. 7.1. Схема комплекта трубных волноводов для аппаратуры АК

Значения воспроизводимых интервального времени, коэффициента затухания и доверительных границ погрешности определяются в процессе их метрологической аттестации после монтажа волноводов на объекте.

Методика калибровки измерительных каналов аппаратуры АК с использованием эталонных волноводов основана на прямых измерениях калибруемой аппаратурой интервального времени распространения и коэффициент затухания ультразвука, воспроизводимых стандартными образцами акустических параметров (волноводами).

Зонд аппаратуры АК коаксиально помещают в центральную часть волновода, заполненного водой. Выполняют однократные измерения интервального времени распространения и коэффициент затухания ультразвука.

Таблица 7.1

Технические характеристики трубных волноводов

Номер образца	Материал	Внутренний носитель свойств	Интервальное время, мкс/м	Коэф.затух. дБ/м
1	Сталь	(125±2)	182±1	(2,5;3,0)
2	Асбоцемент	(135±2)	330±2	(2,0;3,0)
3	Стеклопласт	(115±2)	352±2	(6,0;6,5)
4	Полиэтилен	(145±2)	540±3	(13,0;15,0)

Метод **волновой широкополосной акустики (ВАК)** (рис. 7.2) успешно используется для оценки состояния цементного камня и качества его сцепления с обсадной колонной. В частности, этим методом можно оценить величину зазора между колонной и породой. Несомненным преимуществом метода ВАК по сравнению с АКЦ является возможность прямого обнаружения гидродинамической связи между пластами (по негерметичному заколонному пространству, трещине гидроразрыва). Физической предпосылкой решения подобной задачи является развитие в канале, связывающем отдельные пласты, волны Лэмба-Стоунли, успешно выявляемой на фоне помех при спектральном частотном анализе результатов измерений.

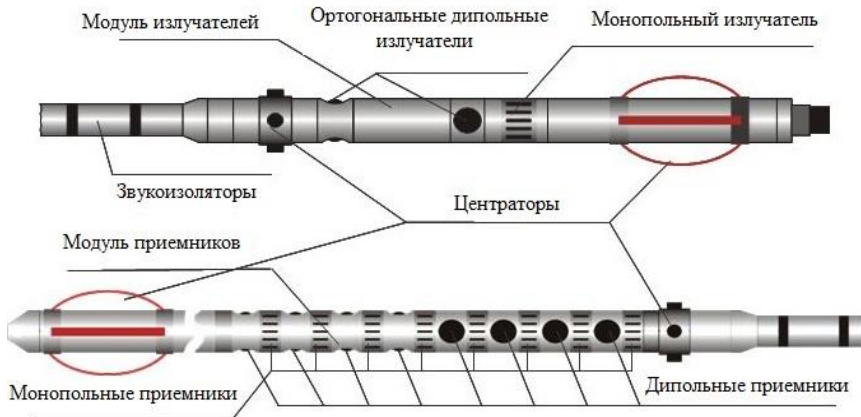


Рис. 7.2. Аппаратура волнового акустического каротажа ВАК-8

**Скважинное акустическое телевидение (САТ)** предназначено для изучения скважины или обсадной колонны по интенсивности отраженных высокочастотных упругих импульсов. Принцип акустического телевидения состоит в сканировании поверхности скважины по винтовой линии при движении зонда узким сфокусированным акустическим лучом, вращающимся в горизонтальной плоскости. Ввиду высокой частоты передаваемого на поверхность сигнала при этом получают практически непрерывное изображение стенки скважины. Для измерений используется одноэлементный зонд, который работает в импульсном режиме, периодически испуская излучение, а затем переключаясь на прием отраженных волн. Измеряются времена и амплитуды отраженной волны. В результате может быть получено растровое изображение поверхности стенки скважины или обсадной колонны.

В обсаженных скважинах метод применяют для определения внутреннего диаметра и эксцентриситета колонны, выделения положения муфт и различных дефектов, нарушающих целостность и гладкость колонны, уточняют также местоположение других элементов конструкции, определяют положение перфорационных отверстий, а также дефектов обсадной колонны и НКТ. Недостатком метода перед другими сканирующими методами является критичность к однородности по акустическим свойствам флюида, заполняющего скважину, особенно наличие газопроявлений.

Пассивная акустика или шумометрия изучает упругие акустические колебания, возникающие в скважине и пласте в процессе ее эксплуатации. Физическая сущность метода состоит в том, что при течении флюида издаются акустические шумы в широком спектре звуковых колебаний от первых герц до первых килогерц. При этом спектр и интенсивность шума несет информацию о характере флюида (вода, нефть или газ) и среды, в которой происходит его течение (пласт, заколонное пространство, колонна, интервал перфорации).

В качестве измерительного элемента используется обычный гидрофон или его комбинация. Измерительные датчики могут быть установлены как на отдельном скважинном приборе, так и входить в качестве модуля в комплексные сборки. Также в некоторых типах аппаратуры акустической цементометрии измерительный зонд используется в качестве канала шумометрии. Исследова-

ния выполняются в процессе отдельной спускоподъемной операции при выключенном излучателе. Материалы шумометрии используются для выделения мест поступления в скважину пластовых флюидов в интервалах перфорации и через дефекты обсадной колонны, а также межпластовых перетоков флюидов за колонной.

На рис. 7.3 представлена волновая картинка различных типов волн. На рис. 7.4 представлена каротажные кривые различных типов волн и фазокорреляционная диаграмма (ФКД) метода АКШ.

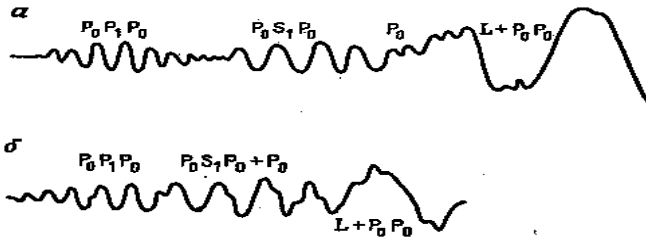


Рис. 7.3. Схематическое изображение волновых картин

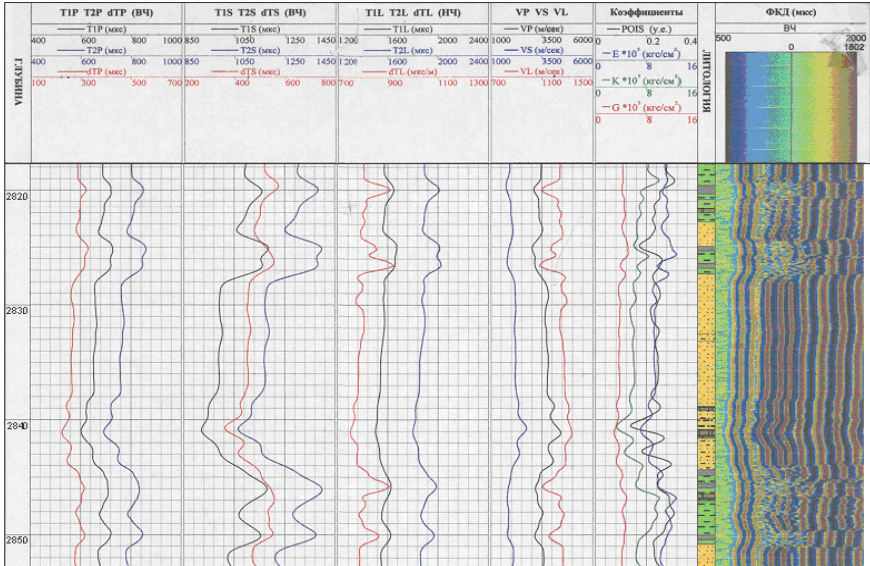


Рис. 7.4. Кинематические характеристики трех типов волн представленные в виде каротажных кривых и ФКД

### **Оборудование и материалы**

Работа выполняется в лаборатории ГИС. Исходными данными для выполнения работы являются схемы приборов АК.

### **Указания по технике безопасности**

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности Приложение Б.

### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А.

### **Задания**

Изучить схему комплекта трубных волноводов для аппаратуры АК.

### **Указания по порядку выполнения работы**

Описать процедуру калибровки аппаратуры акустического каротажа.

### **Контрольные вопросы**

1. Модификации приборов АК.
2. Отличие приборов АК от АКЦ.
3. Замеряемые параметры при АК.
4. Замеряемые параметры при АКЦ.
5. Эпюры волновых картинок при АК.
6. Эпюры волновых картинок при АКЦ.
7. Эпюры ФКД при АК.
8. Эпюры ФКД при АКЦ.

## 8. АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИСКРИВЛЕНИЯ СКВАЖИНЫ

**Цель работы.** Изучение аппаратуры для измерения искривления скважин на примере скважинного каротажного инклинометра серии КИТ.

### **Формируемые компетенции или их части**

ПСК-2,4 – способность профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование, оргтехнику и средства измерения.

ПСК-2,6 – способность выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях.

### **Теоретическая часть**

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

регистрацией элементов искривления скважин пока имеют ограниченное применение.

Технические характеристики инклинометров серии КИТ:

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

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

### **Оборудование и материалы**

Работа выполняется в лаборатории ГИС. Исходными данными для выполнения работы являются скважинный прибор серии КИТ, наземная панель и установочный стол инклинометра УСИ-2 для его эталонировки.

### **Задания**

1. Изучить причины, вызывающие искривления вертикальной скважины.
2. Изучить принцип действия измерительной рамки инклинометра КИТ.
3. Изучить наземную панель скважинного прибора.
4. Изучить полный цикл переключений на наземной панели скважинного прибора.
5. Изучить последовательность выполнения операций при выполнении калибровки инклинометра.

### **Указания по порядку выполнения работы**

#### **1. Изучить принцип действия измерительной рамки инклинометра КИТ**

Инклинометр состоит из скважинного прибора (СП) с удлинителем и наземного пульта управления. Кожух СП изготовлен из немаг-

нитного алюминиевого сплава и заканчивается сверху стандартной приборной головкой, а снизу – переводником для крепления удлинителя.

Основной частью инклинометра является измерительная рамка (рис. 8.1), несущая указатели угла и азимута искривления скважины. Ось вращения рамки совпадает с продольной осью СП, параллельной оси скважины. Центр тяжести рамки смещен с ее оси эксцентрично расположенным грузом 18 так, что рамка всегда устанавливается перпендикулярно к плоскости искривления скважины.

Указателем азимута служит буссоль, состоящая из магнитной стрелки 14, вращающейся на подвижной оси 16, и пластмассового корпуса 5, в котором смонтированы кольцевой реохорд 4 и токосъемное кольцо 3. Корпус буссоли укреплен в рамке на двух полуосях, благодаря чему ось стрелки под действием груза 6 всегда занимает вертикальное положение. Магнитная стрелка закреплена на колпачке 12 с агатовым подшипником, который насажен на острие 13 подвижной оси 16. Стрелка снабжена изолированными от нее пружинными контактами 15, которые при смещении вниз оси 16 вместе со стрелкой соединяют реохорд с токовым кольцом. Выводами реохорда и токосъемного кольца служат гибкие проводники. Разрыв кольцевого реохорда находится в плоскости, перпендикулярной к плоскостям рамки и искривления скважины. Поэтому угол между северным концом магнитной стрелки и разрывом реохорда равен магнитному азимуту, а сопротивление включенной части реохорда пропорционально этому азимуту.

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

Положение магнитной стрелки во время отсчета показаний фиксируется механизмом, состоящим из нажимного кольца 11, возвратных пружин 2, дугообразного рычага 17, сцепленного с дужкой 9. Под воздействием переключателя инклинометра дугообразный рычаг 17 отклоняется книзу и оттягивает подпружиненную ось буссоли, обеспечивая прижим контактных пружин магнитной стрелки к реохорду и токосъемному кольцу буссоли. Одновременно

происходит прижимание стрелки подвеса к реохорду угла. На верхнем конце рамки имеется коллектор 1 с тремя контактными кольцами, с которыми соединены выводы реохордов азимута и угла. Рамка вращается на двух полуосях в дюралевом стакане, укрепленном в нижней части СП. Для демпфирования измерительной системы плоскость стакана заполнена смесью кремнийорганической жидкости с керосином. Над стаканом находится переключатель, управляющий механизмом фиксации ползунков реохордов и положением двух пар щеток, соединенных с кабелем и ползунками реохордов. Переключатель приводится в действие электромагнитом, питаемым постоянным током. Электромагнит размещен в верхней части СП для исключения влияния стали на буссоль.

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

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

Конструкция основного элемента скважинного прибора – измерительной рамки рассматривалась выше.

## **2. Изучить наземную панель скважинного прибора КИТ и полный цикл переключений позиций при работе со скважинным прибором**

Пульт управления, выполненный на унифицированном шасси, имеет лицевую и тыльную стороны (рис. 8.2). С лицевой стороны пульт управления представляет собой органы управления скважинным прибором. Лицевая сторона пульта управления скважинным прибором состоит из: индикатора позиций блока КОНТРОЛЯ, измерительного прибора блока ИЗМЕРЕНИЯ, нуль-индикатора блока КОМПЕНСАЦИИ, разъема для подключения «ОК» и «ЦЖК», переключателя «ПОЗИЦИЯ», кнопок «АЗИМУТ» и «УГОЛ», тумблера «ВКЛ» и индикаторной лампочки. Каждый из

трех вышеперечисленных блоков имеет индивидуальный потенциометр (реостат) согласования шкал угла и азимута.

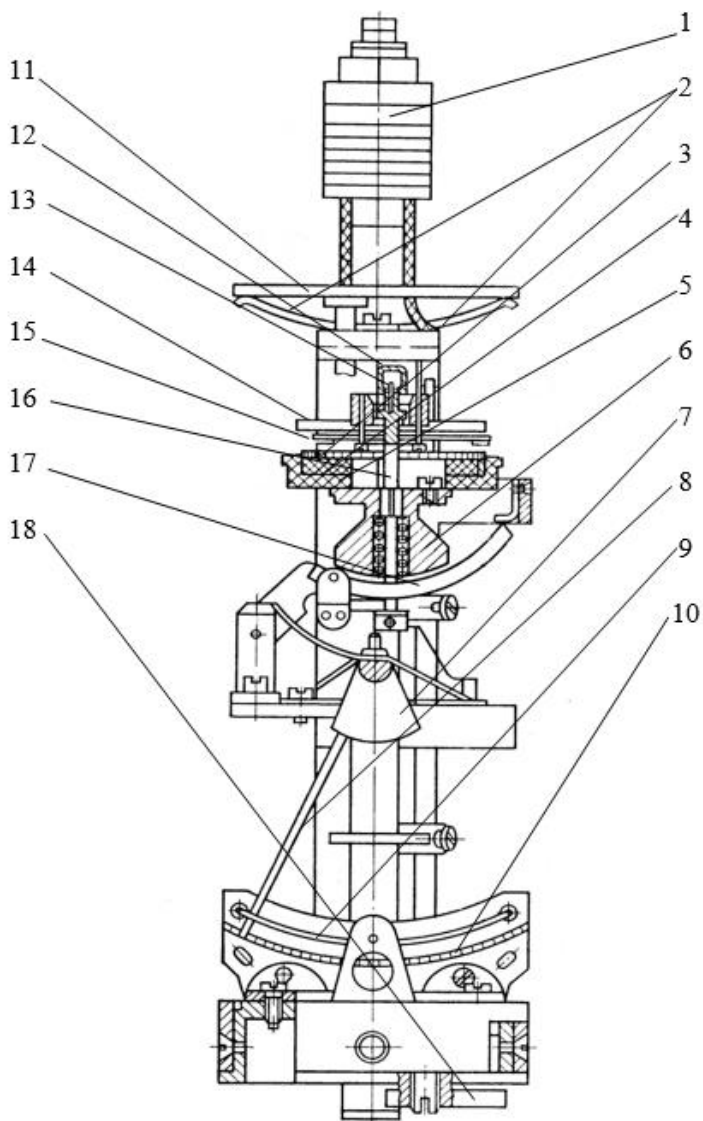


Рис. 8.1. Измерительная рамка инклинометра КИТ



Рис. 8.2. Наземная панель инклинометра КИТ

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

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

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

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

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

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

При измерении и контроле азимута стрелка прибора не должна переходить вправо за центральную риску, а при измерении и

контроле угла стрелка прибора не должна переходить влево от центральной риски.

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

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

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

Следует добиться показания нуля на шкале измерительного прибора вращением ручки градуировочного реостата блока ИЗМЕРЕНИЯ, при этом переключатель измерения должен оставаться нажатым в положении «АЗИМУТ» или «УГОЛ». Отчеты снимаются по верхней шкале для азимута и по нижней шкале для угла, при соответствующих позициях переключателя прибора (табл. 8.1).

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

При спуске скважинного прибора переключающий механизм, состоящий из сердечника, электромагнита, штока и переключателя, переводится в положение 1 или 4 (см. табл. 8.1) нажатием кнопки «ПОЗИЦИЯ».

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

При остановке скважинного прибора на заданной глубине через 12 секунд, необходимых для успокоения чувствительных элементов, переключающий механизм следует установить в положение 2 или 5 и через 5–7 секунд в положение 3 или 6 (см. табл. 8.1).

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

Таблица 8.1

## Полный цикл переключений пульта управления

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

**Модернизированный инклинометр** КИТ-М разрабатывался как переходная модель от старого издания (инклинометра типа КИТ) к новому (инклинометр типа ИМТ-2М) для оценки эффективности впервые используемых оригинальных технических решений при максимально возможной преемственности элементов и узлов типовой конструкции.

Проектирование инклинометра КИТ-М не вышло за рамки создания макетных образцов, однако позволило в значительной мере добиться надежной функциональной совместимости старых и новых элементов и убедиться в том, что процесс смены конструкций можно провести с минимальными потерями для производства.

Учитывая, что инклинометр КИТ-М может в ряде случаев представлять интерес как самостоятельное модернизированное изделие, кратко остановимся на его описании в одном из достаточно хорошо опробированных вариантов, не вдаваясь в особые конструктивные и иные технические подробности.

В состав инклинометра КИТ-М вошли скважинный прибор и наземный пульт управления и измерения, использующие в качестве линии связи геофизической одножильный кабель.



### **3. Изучить последовательность выполнения операций при выполнении калибровки инклинометра**

Для осуществления **калибровки инклинометра** используют установку (рис. 8.3) с помощью которой возможна его «выставка» по зенитным углам. Для этого необходимо выполнить ряд операций в следующем порядке:

1) подготовить инклинометр к работе (присоединить скважинный прибор через ГК или эквивалент кабеля к гнездам ЖК и ОК пульта и заземлить его корпус; подключить пульт к сети 220 В и источнику питания -270 В; убедиться в свечении индикатора сетевого напряжения и светодиода РАБОТА;

2) закрепить скважинный прибор инклинометра в зажиме установочной стола, например, типа УСИ-2;

3) задать скважинному прибору строго вертикальное положение;

4) перевести переключатель ПОЗИЦИЯ в положение РАЗАРРЕТИРОВАНО;

5) дождаться свечения светодиода РАБОТА, индицирующего (примерно через 19 с) прохождение всех позиций МПСК (SA2) и подключение к линии связи ЭП (YA1) и АМЭ (YA2, YA3) через нормально замкнутые контакты ПМД (SA1) в скважинном приборе;

6) перевести переключатель ПОЗИЦИЯ в положение ЗААРРЕТИРОВАНО и подождать (около 19 с) окончания цикла измерений (до начала свечения светодиода РАБОТА);

7) нажать кнопку УГОЛ в секторе КОММУТАЦИЯ, совместить с помощью ручки ИЗМЕРЕНИЕ отметку "0°" шкалы зенитных углов с неподвижным указателем, а затем подстроечным резистором "0°" (УГОЛ) в секторе ГРАДУИРОВКА вывести стрелку нуль-индикатора КОМПЕНСАЦИЯ на нулевое показание;

8) задать скважинному прибору зенитный угол 45°;

9) повторить действия согласно операциям 4–6, совместить отметку "45°" шкалы азимутов с неподвижным указателем, а затем подстроечным резистором "45°" (УГОЛ) вывести стрелку нуль-индикатора КОМПЕНСАЦИЯ на нулевое показание.

Азимутальная выставки инклинометра выполняется аналогично выставке по зенитным углам. Отличие состоит лишь в том, что все операции осуществляются при нажатой кнопке АЗИМУТ на азимутах 5° и 355° скважинного прибора (по горизонтальному

лимбу установочного стола) при зенитном угле, соответствующем среднему значению его диапазона измерений (около  $20-25^\circ$ ).



Рис. 8.3. Инклинометр на калибровочной установке

Из представленного таким образом алгоритма выставки модернизированного инклинометра можно видеть, что он не содержит операции введения поправок и не требует в дальнейшем проведения каких-либо вычислений.

Благодаря реализации этого алгоритма удалось не только обеспечить максимальную преемственность конструктивно-технологических решений, но и создать наименее трудоемкий в производстве, простой в обращении и дешевый инклинометр нового

поколения, способный при необходимости безболезненно прийти на смену морально устаревшему инклинометру КИТ (КИТ-А).

Порядок работы инклинометра КИТ-М в основном вытекает из алгоритма его выставки, за исключением манипуляций с подстроечными резисторами, и состоит из следующих главных операций: остановка скважинного прибора в исследуемой точке ствола скважины; разарретирование и успокоение чувствительных элементов ДУ и ДА измерительной системы при одновременном контроле тока утечки в условных единицах по показанию миллиамперметра (в случае свечения светодиода УТЕЧКА); арретирование измерительной системы (после начала свечения светодиода РАБОТА); выбор шкалы считываемого параметра кнопкой УГОЛ или АЗИМУТ (после начала свечения светодиода РАБОТА); считывание показаний шкал при установке стрелки нуль-индикатора КОМПЕНСАЦИЯ на нулевую отметку.

Изложенные операции и порядок работы инклинометра КИТ-М наглядно иллюстрируют преимущество рассмотренной выше структуры модернизации инклинометра КИТ (КИТ-А) как имеющей более высокие потенциальные возможности по повышению производительности исследования стволов скважин.

Здесь следует отметить, что организация структуры пульта управления и измерения инклинометра КИТ-М по сравнению со структурой его скважинной части может отличаться большим разнообразием. Достаточно будет, исходя из направленности возможных путей совершенствования, выявить лишь узловые элементы, а выбор конкретной структуры осуществлять в соответствии с новыми техническими требованиями, предъявляемыми к модернизируемому инклинометру.

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

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности Приложение Б.

#### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А.

### Контрольные вопросы

1. Для чего выполняют измерения инклинометром?
2. Основные причины, вызывающие искривления вертикальной скважины?
3. Рассказать принцип действия измерительной рамки инклинометра КИГ.
4. Описать наземную панель скважинного прибора.
5. Описать полный цикл переключений на наземной панели скважинного прибора.
6. Описать последовательность выполнения операций при выполнении калибровки инклинометра.

## 9. КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННАЯ КАРОТАЖНАЯ СТАНЦИЯ СКГ

**Цель работы.** Изучение компьютеризированной каротажной станции СКГ и овладение навыками работы со скважинными приборами.

### Формируемые компетенции или их части

ПСК-2,4 – способность профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование, оргтехнику и средства измерения.

ПСК-2,6 – способность выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях.

### Теоретическая часть

Настройка каротажной станции ВЕЛКО-ГЕО.

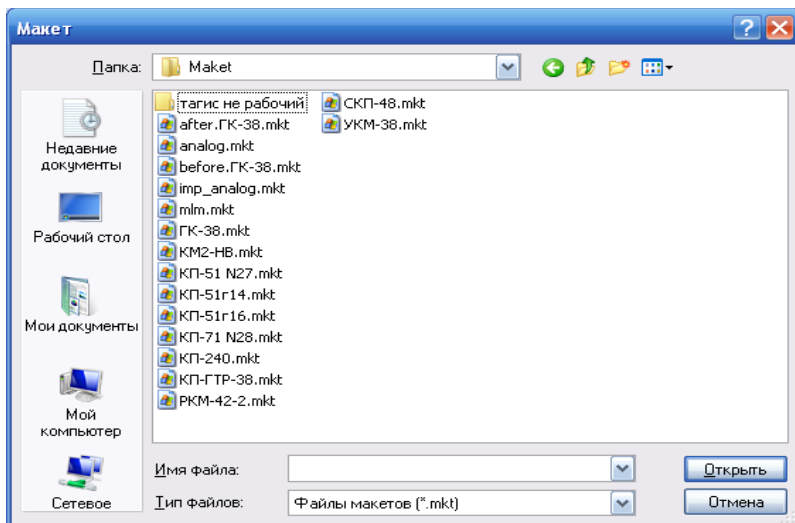
1. Запуск программы Велко.
2. Подключить порт справа на ноутбуке.
3. Приборы-открыть-загружаем макет (РТГ-42-2 первый сверху).
4. Запитать прибор – вкл. осциллограф (для проверки кодов) вкл. Каротаж по глубине.
5. Поставить // порт.

### Меню *Макет*

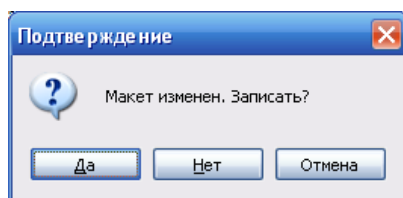
Команды **Сохранить**, **Сохранить как...**, **Заккрыть** *доступны* после загрузки МАКЕТа. Команды **Открыть...**, **Новый**, **Заккрыть**, **Выход** *не доступны* во время регистрации.

### Команда *Открыть...*

Считываются данные ранее записанного на диск МАКЕТа. Появляется окно **Макет**, в котором задается его имя и расположение на диске.



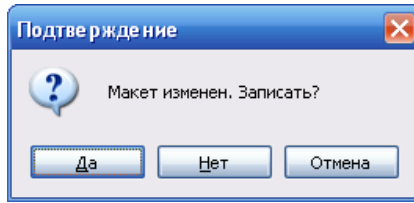
Если к этому моменту текущий МАКЕТ имел изменения, не отображенные на диске, появляется окно **Подтверждение**:



После успешного завершения команды считанный МАКЕТ «Диск:\Каталог\Имя.mkt» становится текущим.

### Команда *Новый*

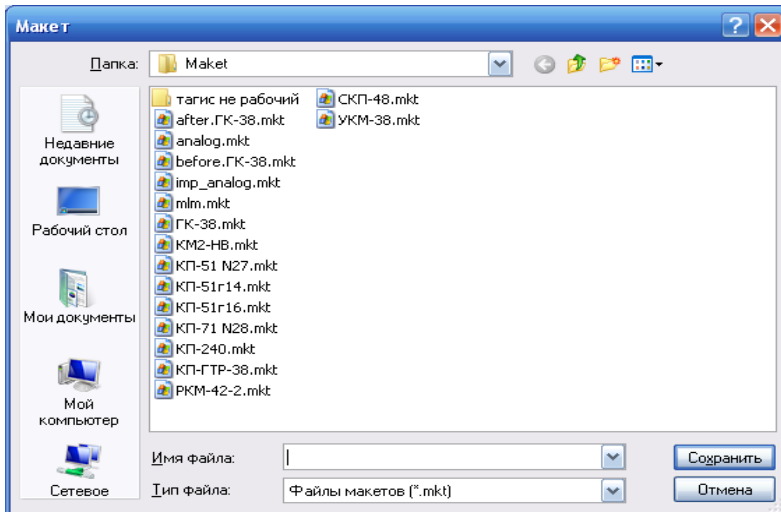
Организуется новый текущий МАКЕТ без файлового образа на диске, содержащий умалчиваемые значения задаваемых параметров. Если к этому моменту текущий МАКЕТ имел изменения, не отображенные на диске, появляется окно **Подтверждение**:



После успешного завершения команды созданный МАКЕТ «Диск:\Каталог\ugra.mkt» становится текущим.

### Команда *Сохранить*

Данные текущего МАКЕТа обновляются на диске (пишутся на диск с тем же именем). Если МАКЕТ не имеет файлового образа на диске, то появляется окно **Макет**, в котором задается его имя и расположение на диске. Нужно иметь в виду, что запись в уже существующий файл приводит к потере, хранившейся в нем информации. После успешного завершения команды записанный МАКЕТ становится текущим.



### Команда *Сохранить как...*

Данные текущего МАКЕТа пишутся на диск в файл с новым именем. Появляется окно **Макет**, в котором задается его имя и расположение на диске. Нужно иметь в виду, что запись в уже су-

существующий МАКЕТ приводит к потере, хранившейся в нем информации. После успешного завершения команды записанный МАКЕТ становится текущим.

### Команда *Закреть*

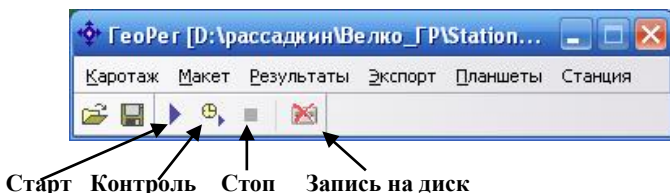
Текущий МАКЕТ закрывается. Если к этому моменту текущий МАКЕТ имел изменения, не отображенные на диске, появляется окно **Подтверждение**: После успешного завершения команды нет текущего МАКЕТА, то же самое после входа в программу **ВЕЛКО-ГЕО**.

### Команда *Выход*

Завершается выполнение программы **ВЕЛКО-ГЕО**. Если к этому моменту текущий МАКЕТ имел изменения, не отображенные на диске, появляется окно **Подтверждение**:

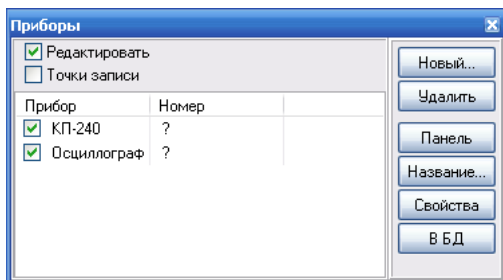
Меню Каротаж

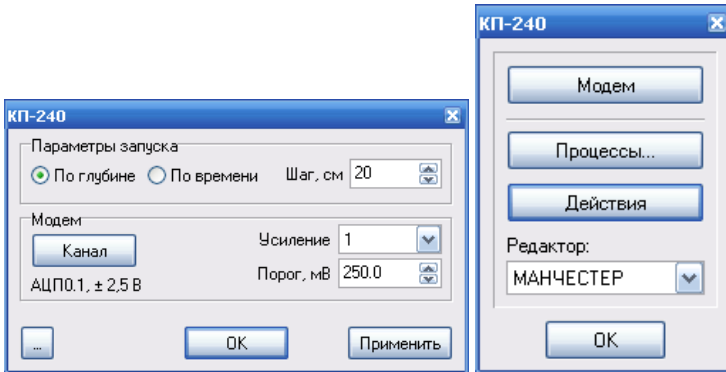
Команды меню **Каротаж** доступны после загрузки МАКЕТА.



### Команда *Старт*

Останавливается системный процесс Глубина-Время. Закрывается существующий поток данных и создается новый. Запускаются процессы регистрации включенных на панели **Приборы** приборов с заданными в **Свойствах** приборов шагами квантования. Процессы регистрации задаются в разделе Регистрация в «**Приборы\Свойства...\Действия**».





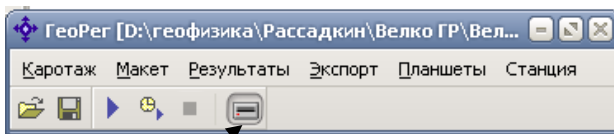
### Команда *Контроль*

Останавливается системный процесс Глубина-Время. Закрывается существующий поток данных и создается новый. Запускаются процессы регистрации включенных на панели **Приборы** приборов с заданным в свойствах «**Приборы\Контроль\Параметры запуска**» шагом квантования. Процессы регистрации задаются в разделе Регистрация в «**Приборы\Свойства\...\Действия**».

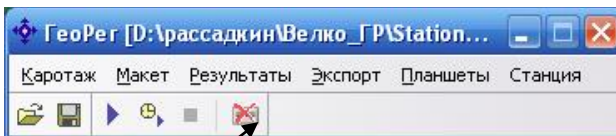
### Команда *Стоп*

Останавливаются процессы, запущенные командой **Контроль** или **Старт**. Поток данных также останавливается. Запускается системный процесс Глубина-Время, данные которого поступают только на панели **Счетчик глубины**, **ИП постоянного тока**.

### Команда *Запись на диск*



Запись на диск включена

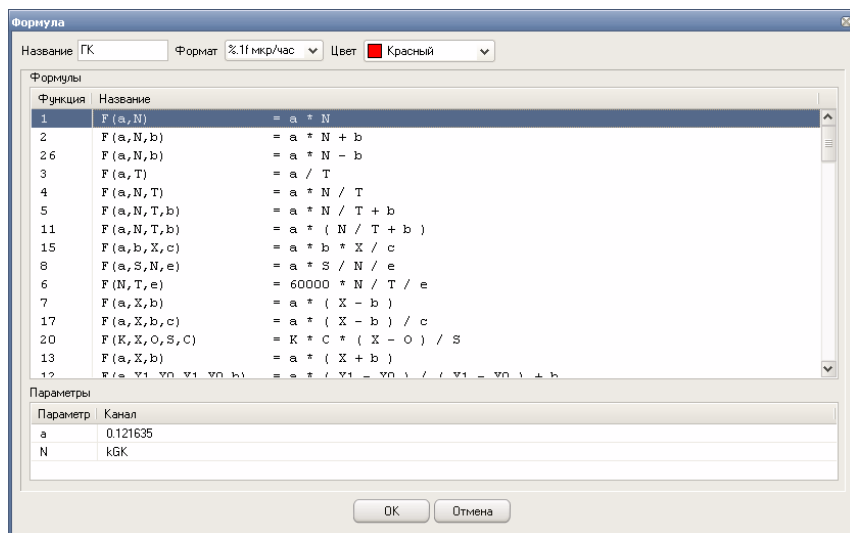


Запись на диск выключена



Включает/выключает регистрацию данных на диск. То же самое происходит по включении при уже запущенной команде **Контроль** или **Старт**. При корректном задании имени на диске создаются файл МАКЕТА регистрации «Диск:\Каталог\Имя.mk», пустой файл регистрируемых данных «Диск:\Каталог\Имя.dat», а также файлы текущих формул расчета «Диск:\Каталог\Form.frm» и «Диск:\Каталог\Form.dll».

В файле Form.frm хранятся формулы, по которым пересчитываются показания с прибора в физические величины.



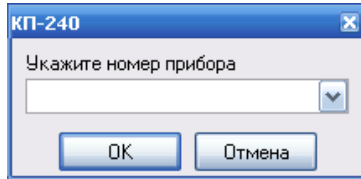
Файл «Диск:\Каталог\Имя.mk» содержит образ текущего МАКЕТА, а также реквизиты каротажа и время запуска команды **Контроль** или **Старт**. МАКЕТ «Диск:\Каталог\Имя.mk» становится текущим, а исходный МАКЕТ на диске не обновляется.

В файл «Диск:\Каталог\Имя.dat» по мере поступления производится запись зарегистрированных данных (поток данных). Команда **Запись на диск** во время записи вызывает останов/продолжение записи в тот же файл.

### Команда Идентификация

Определяются номера включенных на панели **Приборы** приборов, номера которых актуальны. Сообщающие свой номер по

телеметрии приборы опрашиваются сигнальным процессором, для чего выполняются процессы и действия, заданные в разделе Идентификация в «**Приборы\Свойства\...\Действия**». Номера остальных, а также не ответивших вводятся с клавиатуры. Полученные номера отображаются на панели **Приборы** в колонке **Номер**.



Меню Результаты

### **Команда *Записать в файл***

Сохраняет на диске уже зарегистрированные данные каротажа, доступна после загрузки МАКЕТа.

Появляется окно **Данные каротажа**, в котором задается имя и расположение на диске файлов регистрации. При корректном задании имени на диске создаются файл МАКЕТа регистрации «Диск:\Каталог\Имя.mk», файл регистрируемых данных «Диск:\Каталог\Имя.dat», а также файлы текущих формул расчета «Диск:\Каталог\Form.frm» и «Диск:\Каталог\Form.dll».

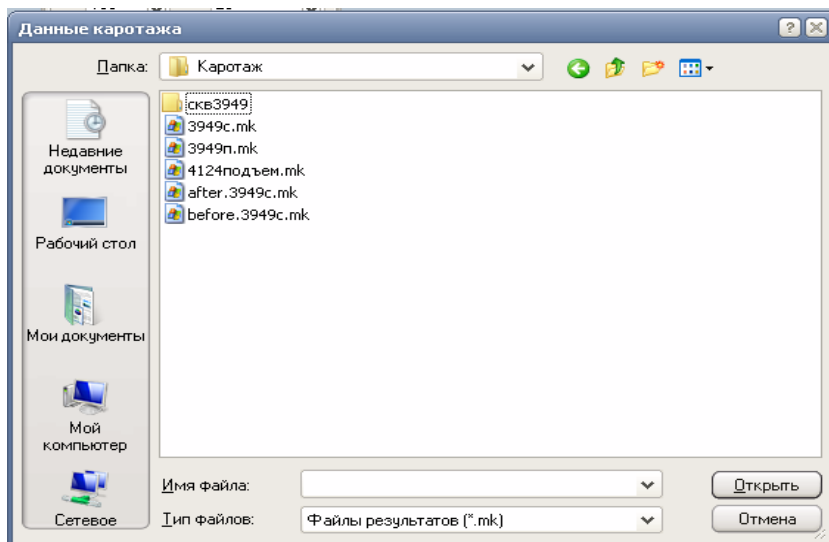
Файл «Диск:\Каталог\Имя.mk» содержит образ текущего МАКЕТа, а также реквизиты каротажа и время запуска команды **Контроль** или **Старт**. МАКЕТ «Диск:\Каталог\Имя.mk» становится текущим, а исходный МАКЕТ на диске не обновляется.

В файл «Диск:\Каталог\Имя.dat» записывается существующий на данный момент поток данных, не важно – остановленный или текущий.

### **Команда *Прочитать из файла***

Служит для просмотра записанных на диске данных. Загружает зарегистрированные на диске данные каротажа и создает остановленный поток данных.

Появляется окно **Данные каротажа**, в котором задается имя, тип и расположение на диске файлов регистрации.



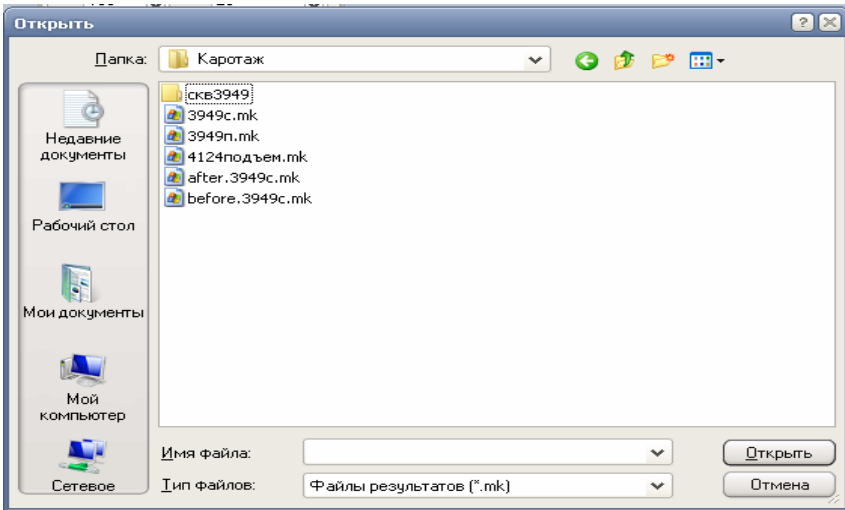
Если задан тип файлов «mk», закрывается текущий МАКЕТ, загружаются файл МАКЕТа регистрации «Диск:\Каталог\Имя.mk» и файл зарегистрированных данных «Диск:\Каталог\Имя.dat». МАКЕТ «Диск:\Каталог\Имя.mk» становится текущим.

Если задан тип файлов «dat», загружаются файл зарегистрированных данных «Диск:\Каталог\Имя.dat». Текущий МАКЕТ остается без изменений и должен соответствовать прочитанным данным в части определения источников данных.

### **Команда *Проиграть из файла***

Служит для просмотра записанных на диске данных в форме видеоролика каротажа. Читает зарегистрированные на диске данные каротажа и создает из них текущий поток данных. Время появления данных в потоке пропорционально реальному времени регистрации.

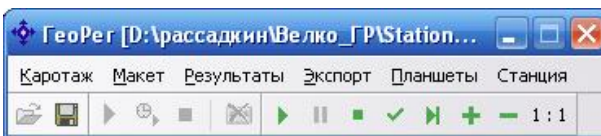
Появляется окно **Открыть**, в котором задается имя, тип и расположение на диске файлов регистрации.



Если задан тип файлов «mk», закрывается текущий МАКЕТ, загружается файл МАКЕТа регистрации «Диск:\Каталог\Имя.mk» и открывается файл зарегистрированных данных «Диск:\Каталог\Имя.dat». МАКЕТ «Диск:\Каталог\Имя.mk» становится текущим.

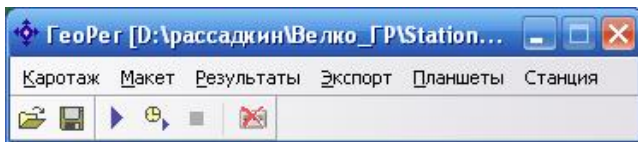
Если задан тип файлов «dat», открывается файл зарегистрированных данных «Диск:\Каталог\Имя.dat». Текущий МАКЕТ остается без изменений и должен соответствовать прочитанным данным в части определения источников данных.

На панели **ВЕЛКО-ГЕО** [Диск:\Каталог\Имя.mk] появляется панель инструментов **ГеоПлеер**, с помощью которой можно проиграть зарегистрированный каротаж в нужном темпе.



Меню Планшеты

Команды меню **Планшеты** доступны после загрузки МАКЕТа.



В меню представлен список пользовательских окон типа **Значения**, **Таблица**, **Планшет**, существующих в текущем МАКЕТе. Введение флажка выбранного окна выводит соответствующее окно на передний план рабочего стола. Сброс флажка – закрывает окно.

### Команда *Станция*

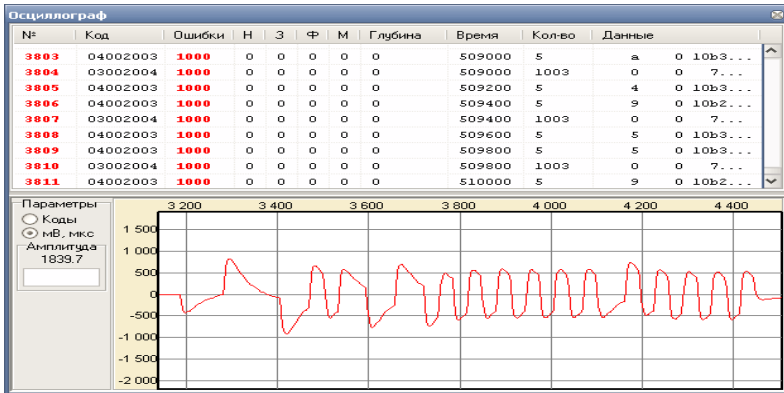
Служит для создания, удаления, переименования пользовательских окон типа **Значения**, **Таблица**, **Планшет** в текущем МАКЕТе. Появляется окно **Планшеты**, кнопками которого вызываются соответствующие действия.

Количество окон не ограничено, но их названия должны быть уникальны.

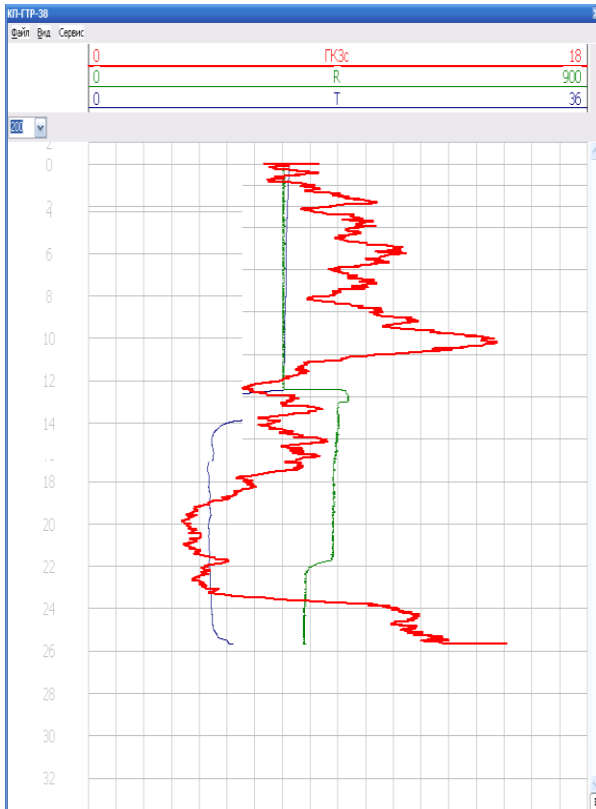
Окна типа **Значения** отображают текущие мгновенные значения **Каналов** и сопутствующей им информации.

Название	Значение
<b>Скорость</b>	<b>0 м/ч</b>
<b>Ошибка</b>	<b>0</b>
<b>T</b>	<b>10.4 °C</b>
<b>R</b>	<b>1290.0 мсим/м</b>
<b>ГК3с</b>	<b>14.6 мкр/ч</b>
<b>ГК6с</b>	<b>14.4 мкр/ч</b>
<b>ГК12с</b>	<b>13.8 мкр/ч</b>

Окна типа **Таблица** предназначены для просмотра исходных данных в виде таблицы и Осциллограмм



В окнах типа **Планшет** строятся геофизические диаграммы.



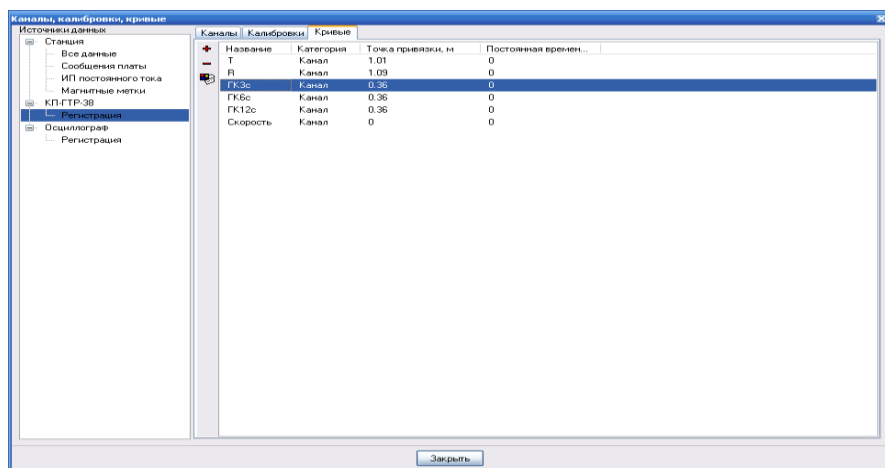
## Меню *Станция*

Команды **Кривые**, **Связка**, **Сводка по кривым** доступны после загрузки МАКЕТа.

Команды **Счетчик глубины**, **ИП постоянного тока**, **Приборы** вызывают системные панели **Счетчик глубины**, **ИП постоянного тока**, **Приборы** на передний план рабочего стола.

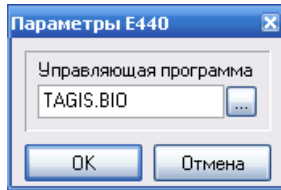
## Команда **Кривые**

Служит для редактирования алгоритмов обработки регистрируемых данных и формирования геофизических кривых. Появляется окно **Каналы, калибровки, кривые**, в котором представлено дерево источников данных текущего МАКЕТа и три вкладки редактирования **Каналы**, **Калибровки**, **Кривые**. Общее взаимодействие редактируемых элементов представлено в **Структурная схема обработки и визуализации данных каротажа**.



## Команда **Плата-Настроить**

Предназначена для настройки параметров платы сигнального процессора. Требуется выбрать файл, который будет обрабатывать телеметрию прибора. Файл с расширением \*.ВЮ



### **Команда *Плата-Рестарт***

Производит рестарт сигнального процессора: останавливает все запущенные процессы и поток данных, загружает драйвер прибора и запускает системный процесс Глубина-Время. Помогает, если завис сигнальник.

### **Команда *Реквизиты***

Служит для редактирования значений реквизитов каротажа. Появляется окно **Реквизиты**, в котором в виде таблицы представлены их названия и текущие значения.

Значения реквизитов читаются и записываются в файлы МАКЕТов с расширением «mk». Чтение или запись МАКЕТов с расширением «mkt» текущие значения реквизитов не изменяют.

Количество, названия и свойства реквизитов, а также списки выбора значений могут быть изменены пользователем самостоятельно в файле конфигурации «ВЕЛКО-ГЕО.cfg»:

```
[Реквизиты.Куст]
Обязательный=1
Прямой ввод=1
Запоминать последнее значение=0
```

```
[Реквизиты.Подрядчик]
Обязательный=1
Прямой ввод=0
Запоминать последнее значение=1
Список=c:\station\Подрядчик.txt
```

В объявлении раздела [Реквизиты.Имя] задается название реквизита.

Параметр Обязательный указывает необходимость заполнения этого поля: обязательно (=1) или можно пропустить (=0).

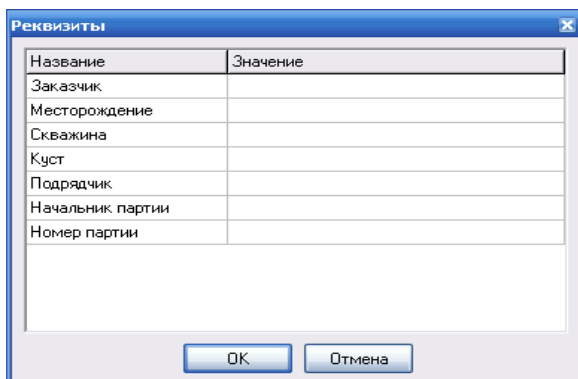
Параметр Прямой ввод задает, будет данный реквизит выбираться из списка (=0) или вводиться с клавиатуры (=1).



Параметр *Запоминать* последнее значение указывает необходимость сохранения значения этого реквизита при входе в **ВЕЛКО-ГЕО**. Последние значения записываются в файле конфигурации «ВЕЛКО-ГЕО.cfg» в разделе [Реквизиты] при выходе из **ВЕЛКО-ГЕО** автоматически.

Параметр *Список* указывает имя текстового файла, содержащего список значений, из которого будет производиться выбор. Параметр актуален, если *Прямой ввод*=0.

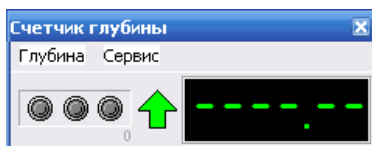
Значения реквизитов могут использоваться в шапках и подвалах планшетов, в шаблонах **Сводка по кривым**. Поэтому удаление или изменение названий некоторых реквизитов может нарушить формирование названных документов.



### Команда *Сводка по кривым*

Предназначена для формирования текстового документа, содержащего таблицу усредненных значений кривых с заданным шагом по глубине (например, инклинометрия). Появляется окно **Настройка сводки** со списком кривых, кнопками которого вызываются соответствующие действия.

### Системные панели



Панель Счетчик глубины

Предназначена для управления работой счетчика глубины. Отображает мгновенные значения текущей глубины, направления движения каротажного кабеля, магнитной метки (левый красный индикатор), флага коррекции (средний коричневый), окна коррекции (правый зеленый), времени от запуска в м/с.

Счетчик глубины корректирует свое значение по магнитным меткам каротажного кабеля, размеченного через 10 м. Окно коррекции открывается за 0.5 м до ожидаемого прихода магнитной метки и закрывается через 1.0 м. Флаг коррекции загорается одновременно с открытием окна коррекции и гаснет, если магнитная метка пришла в окне – производится коррекция глубины.

Команды панели **Счетчик глубины** доступны, если в системе есть плата сигнального процессора.

#### **Команда *Начальная глубина...***

Служит для ввода начальной глубины. Появляется окно **Ввод начальной глубины**, в котором задаются Начальная глубина, м и режим ввода Ввод по метке или непосредственно. По приходу первой магнитной метки (или непосредственно) в счетчик глубины вводится начальное значение, счетчики флага и окна коррекции обнуляются.

#### **Команда *Реверс***

Меняет направление счета глубины на противоположное. Появляется окно **Реверс**:

Изменить направление счета?

Да Нет

Последнее значение параметра Реверс сохраняется в файле конфигурации «Ygra.cfg» в разделе [Board] при выходе из **ВЕЛ-КО-ГЕО** и восстанавливается при входе автоматически.

#### **Команда *Коррекция***

Задаст значение коррекции глубины за мерный ролик. Появляется окно **Коррекция глубины**, в котором задается Величина коррекции.

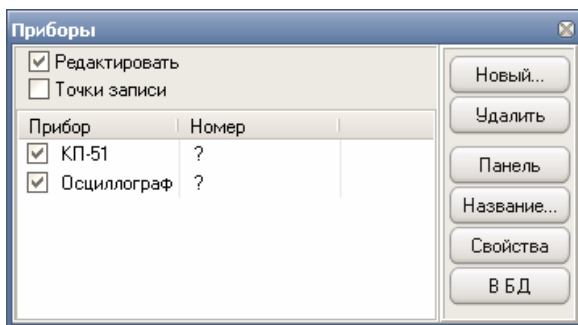
Коррекция за мерный ролик работает с входным потоком сантиметровых импульсов еще до собственно счетчика глубины. Из потока импульсов вырезается (знак значения Величина коррекции минус) или в поток вставляется (знак значения Величина коррекции плюс) каждый N-ый (значение Величина коррекции) санти-

метровый импульс. Величина коррекции = 0 – коррекция глубины за мерный ролик выключена.

Последнее значение параметра *Коррекция глубины* сохраняется в файле конфигурации «ВЕЛКО-ГЕО.cfg» в разделе [Board] при выходе из **ВЕЛКО-ГЕО** и восстанавливается при входе автоматически.

### **Команда Эмуляция**

Включает/выключает имитатор движения каротажного кабеля. Появляется окно **Эмуляция**, в котором задается *Скорость*, м/ч (100–20000). Имитируются магнитные метки и сантиметровые импульсы глубины с заданной скоростью. При загрузке МАКЕТа имитатор выключается автоматически.



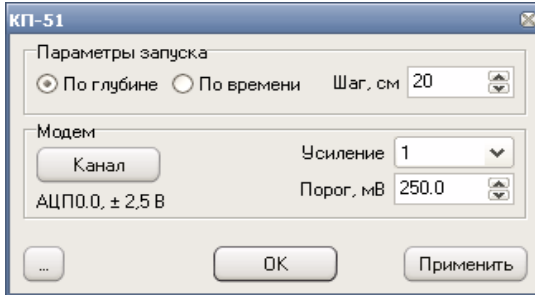
Панель Приборы

Предназначена для управления регистрацией каротажных данных. Отображает список приборов и их номеров, представленных в текущем МАКЕТе. Выбор прибора в списке или активация флажка производится нажатием левой кнопки мыши в соответствующей позиции списка. Действия команд меню **Каротаж** выполняются для приборов с активными флажками.

В диалоговом окне приборы мы можем выбрать какой из перечня приборов мы хотим визуализировать и записывать. В данном примере мы имеем КП-51 и Осциллограф

Команды *Новый...*, *Удалить*, *Название...* служат для создания, удаления, переименования приборов в текущем МАКЕТе.

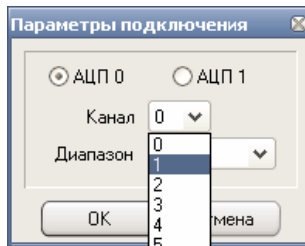
**Команда Свойства** открывает окно параметров выбранного прибора.



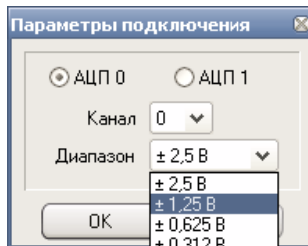
В этом окне мы можем выбрать регистрация будет проводится по глубине или по времени.

Также здесь мы можем установить шаг квантования.

Также выбирается канал, по которому будет сниматься сигнал с прибора, 0Канал съем производится через емкость (применяется для приборов с телеметрией Ксат, и импульсных приборов), 1Канал съем сигнала производится через трансформатор (применяется для приборов с телеметрией Манчестер-2), 2Канал предназначен для работы с акустическими приборами, 3канал аналоговый вход станции АЦП.

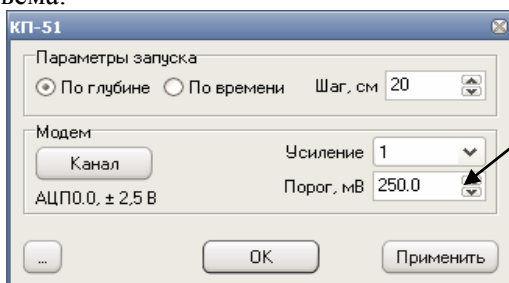


Диапазон здесь выбирается, в каком диапазоне измеряется сигнал телеметрии.

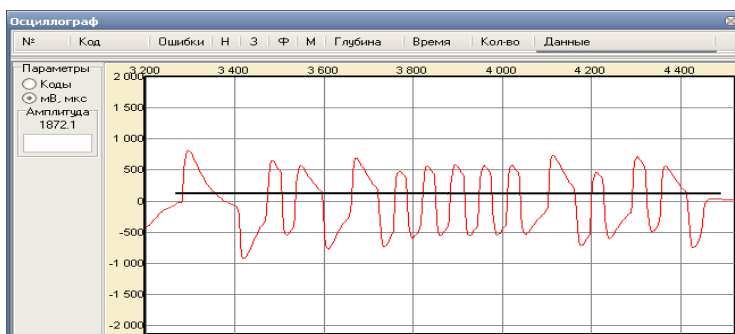


Также важный параметр для приборов с телеметрией Манчестер-2.

Порог сьема.



Порог выбирается на 1/3 от амплитуды сигнала на осциллографе.



**Команда *Панель*** или двойное нажатие левой кнопкой мыши по прибору в списке вызывает на передний план рабочего стола панель управления выбранным прибором.

Название	Значение
<b>Скорость</b>	<b>170 м/ч</b>
<b>Ошибка</b>	<b>0</b>
<b>T</b>	<b>8.2 °C</b>
<b>R</b>	<b>1260.0 мсим/м</b>
<b>ГК3с</b>	<b>11.6 мкр/ч</b>
<b>ГК6с</b>	<b>11.5 мкр/ч</b>
<b>ГК12с</b>	<b>11.6 мкр/ч</b>

Включение (выключение) флажка Точки записи приводит к перерисовке планшетов с учетом (бес учета) точек записи кривых и компоновки приборов в связке.

### Панель *ИП постоянного тока*

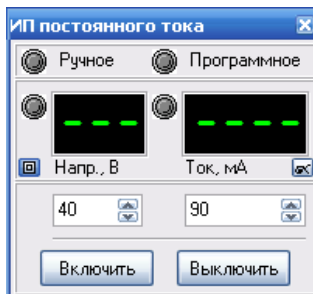
Предназначена для управления работой источника питания. Отображает мгновенные значения напряжения и тока, а также режимы работы: стабилизация по напряжению или по току, управление ручное или программное.

В режиме программного управления нажатие кнопки *Включить* задает введенные в соответствующих окошках значения напряжения и тока. Нажатие кнопки *Выключить* – значения напряжения и тока равные нулю. Переключение режима работы: стабилизация по напряжению или по току происходит автоматически по принципу «кто вперед» ток или напряжение достигнет заданного максимума. Переключение режима работы: управление ручное или программное производится фиксирующейся кнопкой на лицевой панели изделия источник питания постоянного тока.

Левая маленькая кнопка убирает (восстанавливает) с панели **ИП постоянного тока** элементы управления и фиксирует (освобождает) панель на рабочем столе.

Правая маленькая кнопка вызывает окно **Свойства ИП±**, в котором задаются Порт подключения, Период опроса, мс и Коррекция тока. Последний параметр задает коэффициент, на который умножаются значения тока перед отправкой в поток данных.

Заданные значения тока и напряжения сохраняются в текущем МАКЕТе. Параметры **Свойства ИП±** сохраняются в файле конфигурации «Ygra.cfg» в разделе [Источник постоянного тока] при выходе из **ВЕЛКО-ГЕО** и восстанавливается при входе автоматически.



Пользовательские окна. Окна типа Значения

Предназначены для визуализации текущих мгновенных значений **Каналов** и сопутствующей им информации в виде таблицы. Размеры окон и их расположение на рабочем столе изменяются стандартными функциями Windows и хранятся в МАКЕТax.

Нажатие правой кнопкой мыши в заголовке таблицы вызывает контекстное меню для редактирования количества столбцов в таблице.

Удерживая левой кнопкой мыши границу столбца в заголовке таблицы можно менять ширину столбца.

Нажатие правой кнопкой мыши внутри таблицы вызывает контекстное меню для редактирования.

Команда Рамка фиксирует (освобождает) размеры и расположение окна на рабочем столе.

Команды Влево, По центру, Вправо задают расположение выравнивания текста в выбранном столбце.

Команда Удалить... убирает выбранную строку из таблицы.

Команда Добавить... служит для создания новых строк в таблице. Появляется окно **Выберите канал**, в котором выбирается канал для визуализации. Кнопка ОК добавляет строку с каналом в таблицу. Кнопка Отменить закрывает окно **Выберите канал**, которое является родственником окна **Каналы, калибровки, кривые** и функционирует точно так же (см. команда **Кривые** меню **Прочее** панели **ВЕЛКО-ГЕО**).

#### **Окна типа Таблица**

Предназначены для просмотра исходных данных регистрации в виде таблицы и осциллограмм. Размеры окон и их расположение на рабочем столе изменяются стандартными функциями Windows и хранятся в МАКЕТax.

Нажатие правой кнопкой мыши в заголовке таблицы вызывает контекстное меню для редактирования количества столбцов в таблице. По умолчанию заданы все столбцы, что соответствует полному отображению блока данных потока (кроме № – порядкового номера строки в таблице).

Удерживая левой кнопкой мыши границу столбца в заголовке таблицы можно менять ширину столбца.

Нажатие правой кнопкой мыши внутри таблицы вызывает контекстное меню для редактирования.

Команда **Источник...** служит для выбора источника, данные которого отображаются в окне. Появляется окно **Источник данных**, в котором представлено дерево источников данных текущего МАКЕТа. Источник Станция\Все данные представляет весь поток данных регистрации.

Команда **К** последнему включает (выключает) автоскроллинг таблицы к последнему поступающему в поток блоку данных, который при появлении становится выбранным.

Команда **Рамка** фиксирует (освобождает) размеры и расположение окна на рабочем столе.

Команда **Заголовок** убирает (восстанавливает) заголовок таблицы.

Команда **Данные...** задает смещение от начала блока и количество отображаемых в таблице данных в четырехбайтовых словах

Команды **16 бит**, **32 бита**, **Со** знаком, **Нехвключают/выключают** соответствующую интерпретацию данных в блоке для вывода в таблицу (знаковое/беззнаковое целое 16/32 бит).

Команда **Нехвключает/выключает** шестнадцатеричный формат вывода данных в таблицу.

Команда **График** убирает (восстанавливает) из окна (в окне) область осциллограммы, в которой отображается содержимое блока данных в виде графика. При этом подразумевается, что данные имеют формат осциллографа, шесть первых двухбайтовых слов которого задают значения для перевода амплитуды и времени в мВ и мкс, а остальные данные и есть осциллограмма. Поэтому всегда корректными будут только графики данных осциллографа.

Переключение **мВ**, **мкс/Коды** перерисовывает осциллограмму в соответственных единицах. Двойное нажатие левой кнопкой мыши по картинке снимает значение амплитуды (в мВ или в Коды) в соответствующее окошко графика и в буфер обмена, откуда может быть вставлено, например, в **Порог** в **Окно параметров прибора**.

Высота области осциллограммы меняется перемещением границы талица-график левой кнопкой мыши. Картинка перемещается в окне правой кнопкой мыши. Функция «увеличительная лупа» реализуется выделением слева-направо прямоугольника левой кнопкой мыши. Восстановление картинки до первоначального



производится выделением справа-налево прямоугольника левой кнопкой мыши.

### **Окна типа Планшет**

Предназначены для построения геофизических диаграмм. Размеры окон и их расположение на рабочем столе изменяются стандартными функциями Windows и хранятся в МАКЕТax.

В зависимости от заданного вида окно может быть разбито на несколько планшетов и иметь область шкал кривых и область отображения волн. Каждый планшет управляется самостоятельно.

Верхняя граница планшета передвигается левой кнопкой мыши.

Кнопка под линейкой прокрутки включает (выключает) атоскроллинг планшета – прокрутка планшета к вновь появившимся данным.

Нажатие правой кнопкой мыши внутри планшета вызывает контекстное меню управления планшетом.

Команды Верх, Центр, Низ задают место отрисовки последних данных при включенном атоскроллинге планшета.

Команда Перейти к... перерисовывает видимую область планшета от заданной глубины/времени.

Команда Панель управления убирает (восстанавливает) панель, в которой задается масштаб планшета по глубине/времени.

Команды По глубине, По времени задают тип планшета.

Команда Убрать удаляет из окна выбранный планшет, не доступна для верхнего планшета.

### **Меню Файл / Команда Редактирование**

Команда Редактирование предназначена для составления планшета, вызывает окно **Планшет**, в котором задаются Высота окна волн, Высота шкалы кривой, Привязка шкал Верх/Низ, а также количество, Положение и Ширина колонок на планшете. Все параметры имеют размерность 1 ед. = 0.1 мм. Привязка шкал Верх/Низ задает порядок расположения шкал кривых сверху вниз или наоборот.

Все объекты (кривые, сетки, магнитные метки, глубины и т. д.) располагаются на планшете в колонках и ограничены их размерами. Нажатие кнопки F2 на клавиатуре разрешает редактирование выбранного параметра: Положение или Ширина. Кнопка + добавляет на планшет новую колонку. Кнопка – удаляет выбранную колонку. Кнопки ↑, ↓ передвигают выбранную колонку

вверх/вниз по списку (колонки отображаются на планшете в порядке расположения в списке). Двойное нажатие левой кнопкой мыши по выбранной колонке открывает окно **Колонка**, в котором отображается список объектов и их флагов – рисовать объект или нет. Для объектов Кривая, Логарифмическая Кривая, ФКД отображается происхождение Прибор.Процесс.Кривая.

Кнопка + добавляет в колонку новый объект выбранного из списка типа. Кнопка – удаляет из колонки выбранный объект. Кнопки ↑, ↓ передвигают выбранный объект вверх/вниз по списку (объекты отображаются в колонке в порядке расположения в списке). Двойное нажатие левой кнопкой мыши открывает окно с параметрами выбранного объекта.

Для объектов Сетка (вертикальная), Горизонтальная сетка задаются Шаг в 0.1 мм, Толщина в 0.1 мм, Цвет и Стиль линий сетки. Для объекта Логарифмическая сетка – Начало логарифма в ф.ед. и База десятичного порядка в 0.1 мм.

Для объектов Кривая задаются Кривая; Толщина в 0.1 мм, Цвет и Стиль линий; Масштаб, ф.е./см кривой; Кратность второго, третьего, ... масштаба (0 – второго масштаба нет); Ноль, ф.е. – значение кривой на левой границе колонки; Шкала – отображать шкалу данной кривой или нет. Кнопка ... вызывает окно **Выберите канал**, в котором выбирается кривая категории Канал для визуализации и которое является родственником окна **Каналы, калибровки, кривые** и функционирует точно так же (см. команда **Кривые** меню **Прочее** панели **ВЕЛКО-ГЕО**).

Для объектов Логарифмическая кривая задаются Кривая; Толщина в 0.1 мм, Цвет и Стиль линий; десять в степени Порядок – значение кривой на левой границе колонки; Второй масштаб – есть или нет; Шкала – отображать шкалу данной кривой или нет. Кнопка ... вызывает окно **Выберите канал**, в котором выбирается кривая категории Канал для визуализации.

Для объектов ФКД задаются Кривая; Масштаб, ф.е./см волны и ФКД по времени; Ноль, ф.е. – значение времени на левой границе колонки; Шкала – отображать шкалу данной кривой или нет. Кнопка ... вызывает окно **Выберите канал**, в котором выбирается кривая категории Волна для визуализации. При отрисовке волны и ФКД используются параметры Мин. амплитуда и Макс. амплитуда кривой категории Волна. Масштаб волны по амплитуде равен

100 \* (Макс. амплитуда – Мин. Амплитуда) / Высота окна волн / Увеличение волны в ф.е./см. Кнопками +, – задаются цвета ФКД соответствующие Макс. амплитуда / Увеличение волны и Мин. Амплитуда / Увеличение волны. Промежуточные цвета ФКД равномерно распределяются на N Градаций.

Объект Метки отображает положение магнитных меток в виде горизонтальных черточек. Для него задаются Длина и Толщина в 0.1 мм и Цвет.

Объекты Шкала и Шкала меток отображают соответственно значения глубин и значения глубин магнитных меток. Для них задаются Шрифт и Выравнивание текста в колонке. Для объекта Шкала указывается Шаг в 0.1 мм между отметками глубины.

#### **Меню Файл / Команда Печать...**

Команда Редактирование предназначена для составления планшета, вызывает окно **Планшет**, в котором задаются Высота окна волн, Высота шкалы кривой, Привязка шкал Верх/Низ, а также количество, Положение и Ширина колонок на планшете. Все параметры имеют размерность 1 ед. = 0.1 мм. Привязка шкал Верх/Низ задает порядок расположения шкал кривых сверху вниз или наоборот.

#### **Меню Вид**

Команды Шкалы, Волна, Линейка, Строка состояния включают (выключают) отображение в окне соответствующих элементов.

Команда Добавить создает в окне еще один планшет.

#### **Меню Сервис**

Командой Ширина... задается Ширина бумаги, см. Для термоплоттера Printrex 820G она равна 21.6 см.

#### **Оборудование и материалы.**

Исходными данными для выполнения работы является компьютеризированная каротажная станция СКГ с набором скважинных приборов.

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

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности Приложение Б.

#### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А.

### **Задания**

1. Изучить компьютеризированную каротажную станцию СКГ.
2. Овладеть навыками работы со скважинными приборами.

### **Указания по порядку выполнения работы**

1. Выполнить настройку каротажной станции. Сформировать МАКЕТ.
2. Поочередно подключить и настроить скважинные приборы.

### **Контрольные вопросы**

1. Последовательность операций при настройке компьютеризированной каротажной станции.
2. Процедура настройки комплексного прибора поконтролюза эксплуатацией
3. Процедура настройки скважинного каверномера.
4. Какие методы можно выполнять малогабаритным прибором ЭК.

## **10. ПРИХВАТООПРЕДЕЛИТЕЛИ, ПРИХВАТОМЕРЫ И ЛОКАТОРЫ МУФТ**

**Цель работы.** Изучение назначения, принципа действия и конструкции прихватоопределителей, прихватомеров и локатора муфт.

### **Формируемые компетенции или их части**

ПСК-2,4 – способность профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование, оргтехнику и средства измерения.

ПСК-2,6 – способность выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях.

### **Теоретическая часть**

При бурении нефтяных и газовых скважин иногда происходят прихваты бурового инструмента. Для ликвидации таких аварий необходимо установить интервал и верхнюю границу прихвата бурильных труб. Эти операции выполняются с помощью прихватоопределителей (ПО), принцип действия которых основан на

свойстве ферромагнитных материалов – при деформации размагничивать предварительно намагниченные участки.

По факторам, способствующим возникновению прихватов, следует различать несколько их разновидностей.

### **1. Прилипание к стенке скважин под действием перепада давлений**

Это так называемые дифференциальные прихваты. Дифференциальное давление (перепад между гидростатическим и пластовым) прижимает колонну к стенке скважины. Прихват возможен при наличии в разрезе хорошо проницаемых пород (песчаников, алевролитов, известняков в продуктивной толще) с проницаемостью до 600–800 миллидарси.

Другими условиями возникновения дифференциального прихвата являются образование липкой фильтрационной корки на стенке скважины, возникновение механической прижимающей силы в виде нормальной составляющей веса труб в наклонно направленных скважинах и в искривленных участках ствола вертикальных скважин, оставление бурильной колонны без движения на какое-то время. Эта разновидность прихватов наиболее часто встречается на промыслах Западной Сибири. Обычно циркуляция бурового раствора при возникновении прихвата не прекращается.

### **2. Заклинивание низа колонны**

Заклинивание – это жесткое сопротивление колонны продольному перемещению и вращению, которое возникает при резкой посадке инструмента в желобную выработку, сужение, сильно искривленный участок ствола.

Эта разновидность также встречается часто. Преобладающими являются прихваты в суженной части ствола, а также в желобных выработках, в интервалах резкого изменения оси скважины, в интервалах интенсивного роста фильтрационных корок, при заклинивании труб посторонними предметами, шламом и утяжелителем, кусками обвалившейся породы,

В случае небольших превышений нагрузки или крутящего момента при натяжении или вращении колонны явление жесткого сопротивления называют подклиниванием.

Заклинивание низа колонны труб характерно для зон сужения ствола скважин, вызванных интенсивным нарастанием фильтрационных корок, для интервалов резкого изменения оси ствола, для

интервалов твердых и абразивных пород, пройденных долотом с потерей диаметра, а также при замене компоновки низа буровой колонны на более жесткую при бурении наклонно направленных и горизонтальных скважин. Обычно этот тип прихватов возникает при спуске, реже – при подъеме инструмента.

Признак прихвата при спуске – это разгрузка инструмента на 3–4 тс, а при подъеме – затяжка.

Наиболее сложной разновидностью прихвата является заклинка инструмента в образующейся на стенке скважины продольной выработке, называемой желобом. Желоб является следствием механического воздействия замков буровой колонны на наклонные участки наклонно направленных и горизонтальных скважин. При движении колонны происходит разрушение пород типа резания замками, прижатые к стенке горизонтальной составляющей веса определенной части буровой колонны.

Признаками образования желобов служат возникновение мгновенных значительных затяжек при подъеме колонны. Как правило, дополнительные затяжки ведут к осложнению аварии. Инструмент при этом еще более затягивается в желоб, а циркуляция, восстанавливаемая без затруднений, не помогает освобождению колонны.

Заклинивания инструмента посторонними предметами происходят вследствие ошибок членов буровой вахты при работе на устье. В скважину падают рабочие инструмента в виде цепных ключей, кувалд, ломов, клинья ротора, сухари АКБ и т.д. Заклинивание буровой колонны возможно при ее спуске с большой скоростью в искривленных интервалах ствола при наличии сильно трещиноватых перемятых пород. Замками сбиваются отдельные куски пород, которые при падении по затрубному пространству заклинивают трубы.

Заклинивание колонн обычно происходит мгновенно при сохранении циркуляции.

Прихваты колонны при заклинивании ее шламом или утяжелителем возникают из-за нарушения режима промывки скважины. Накопление осадка из частиц шлама или утяжелителя в кольцевом пространстве при определенных условиях может привести к заклиниванию буровой колонны. Признаки этой разновидности заклинивания следующие:

- постепенное повышение давления в нагнетательной линии,
- появление затяжек инструмента,
- постепенное прекращение циркуляции.

При турбинном бурении с двумя насосами и расходе бурового раствора 40–45 л/с возможен размыв резьбовых соединений.

Это приводит к тому, что ухудшаются условия промывки в нижней части ствола и увеличиваются шансы на прихват колонны.

### **3. Прихваты бурильной колонны обвалившимися неустойчивыми породами**

Они характерны для интервалов, состоящих из глинистых пород, склонных к осыпям и обвалам, а также к пластическому течению. Из геологических факторов, способствующих потере устойчивости пород, следует отметить наличие в разрезе перемятых, трещиноватых, тектонически нарушенных пород, склонных к быстрому набуханию под действием фильтрата бурового раствора.

Технологические факторы включают:

- низкое качество бурового раствора, прежде всего, большая величина фильтрации;
- несоответствие типа бурового раствора разбураемым горным породам;
- большие колебания давления промывочной жидкости в открытом стволе скважины, приводящие к поглощениям раствора и гидроразрывам пластов, а, следовательно, и к снижению уровня раствора и уменьшению противодействия на стенки скважины;
- длительное оставление вскрытых малоустойчивых отложений без крепления их обсадными трубами;
- механическое воздействие замковых соединений бурильной колонны на стенки скважины.

Признаки осыпей следующие:

- вынос во время циркуляции осколькоатого шлама, необработанного вооружением буровых долот;
- посадки и затяжки инструмента, недохождение долота до забоя из-за накоплений осадка после проведения спуска колонны и наращиваний;
- некоторое повышение давления на насосах при углублении скважины и проработках ствола;
- интенсивный рост вязкости и содержания кусков породы в буровом растворе.

Обвалы, в отличие от осыпей, имеют более объемный характер. Признаки обвалов таковы:

- резкое повышение давления в нагнетательной линии, сопровождающееся иногда поглощением раствора или потерей циркуляции;
- большой интервал недохождения инструмента до забоя;
- малая скорость проработки ствола.

#### **4. Прихват бурильной колонны сальником**

Образование в буровом растворе крупных пластичных кусков бурового глинистого шлама, названных сальниками, происходит при проходке глинистых отложений. Сальники возникают, главным образом, при сдирании со стенок замками колонны толстых рыхлых глинистых корок, отложившихся на высокопроницаемых породах. Образованию сальников способствует загрязненность ствола скважины частицами выбуренной породы при недостаточной скорости восходящего потока жидкости. При этом в зоне работы долота возникает концентрация частиц шлама и слипание их при условии низкой смазывающей способности раствора и значительного содержания в нем твердой фазы. В процессе подъема по стволу масса сальника увеличивается, а скорость подъема падает. Сальники накапливаются в местах увеличения поперечного сечения кольцевого пространства, прилипая к элементам низа бурильной колонны над долотом, выше турбобура, выше УБТ. Прихват колонны сальником возникает чаще всего при подъеме инструмента, когда формируются условия перекрытия затрубного пространства крупными сальниками в местах сужений ствола. Прихват труб может сопровождаться потерей циркуляции.

Признаками появления сальников являются:

- возникновение посадок, инструмента при спуске и затяжек при подъеме;
- уменьшение механической скорости проходки долотом, сохранившим работоспособность всех узлов;
- увеличение крутящего момента при роторном способе бурения;
- повышение давления в нагнетательной линии в процессе проходки и во время промывок;
- уменьшение веса колонны на крюке при спуске и восстановлении циркуляции;



- обнаружение плотных кусков глины на замках и других элементах бурильной колонны во время ее подъема;
- наличие кусков породы и глинистой корки в желобах и на виброситах.

Прихваты испытателей пластов.

Данный вид прихватов включает прихваты следующих узлов испытателей пластов:

- прихват бурильных труб выше пакера под действием перепада давления вследствие продолжительного оставления труб без движения;
- прихват пакера, не освободившегося при помощи ясса;
- прихват фильтра вследствие "заиливания" при интенсивном притоке пластовых флюидов с частицами слабо цементированных пород или из-за обвала пород при создании высоких депрессий на пласты.

Систематизация разновидностей прихватов, приведенная выше, не означает, что причиной той или иной аварии может быть только какой-то один из факторов. Как правило, возникновению прихвата может способствовать какой-то один фактор, называемый нами определяющим. В процессе развития прихвата может проявиться действие и других факторов. Например, возник прихват низа бурильной колонны под действием перепада давлений, но из-за ухудшения промывки произошло осаждение частиц шлама с увеличением силы прихвата. Для выбора способа ликвидации прихвата необходимо изучить все обстоятельства, при которых возникла аварийная ситуация.

В процессе проводки скважины основное внимание уделяется контролю за технологическими свойствами бурового раствора и показателями режима промывки ствола скважины.

Параметры бурового раствора должны соответствовать геолого-техническому наряду (ГТН). Отклонения фактической плотности раствора от проектной не должны быть более  $\pm 20 \text{ кг/м}^3$  – при плотности в целом до  $1450 \text{ кг/м}^3$  и более чем  $\pm 30 \text{ кг/м}^3$  для растворов с большей плотностью.

Для контроля режима промывки на выходе буровых насосов устанавливаются манометры, регистрирующие изменение давления в нагнетательной линии. При снижении давления, в случае нормальной работы насосов, бурильную колонну необходимо

поднять, установить место промоин и заменить поврежденные элементы колонны. Плановые профилактические опрессовки труб при давлении 20 МПа, а также дефектоскопия их проводятся в соответствии с профилактической картой по безаварийному ведению работ.

С целью контроля показателей свойств раствора буровая должна быть оснащена комплексом приборов и устройств КЛР-1 и снабжена набором химических реагентов, указанных в карте по интервальной обработке бурового раствора.

При бурении должен быть организован контроль за следующими параметрами раствора: плотность, водоотдача, условная вязкость, статическое напряжение сдвига, толщина фильтрационной корки, показатель рН, содержание песка и смазочных добавок. Регистрация показателей свойств, производится в специальном журнале, где указываются также объем и время ввода в буровой раствор химических реагентов, утяжелителя, смазочных добавок.

Для повышения противоприхватной способности раствора необходимо постоянно поддерживать в нем требуемое количество смазочных веществ, например, нефти, СМАД-1 (смесь дизельного топлива с окисленным петролатумом), СГ (смесь гудронов). ГКЖ-10 или ГКЖ-11 (гидрофобизирующая кремнийорганическая жидкость), графита. За последние годы нашли применение новые смазочные добавки (рыбожировая смазка, смазки на основе синтетических жирных кислот – Спринт, ЭКОС-Б и другие), обладающие экологической безвредностью и достаточно высокой смазочной способностью. В этой работе описывается также эффективное применение стеклянных и пластмассовых шариков диаметром  $(0,25-0,65) \times 10^{-3}$  м в качестве противоприхватных добавок к буровому раствору.

Смазочные свойства буровых растворов следует определять по значению коэффициента сдвига  $K_{сд}$  фильтрационной корки, который определяется при помощи модернизированного прибора СНС-2. По данным величина  $K_{сд}$  не должна превышать 0,3.

Не разрешается оставлять бурильную колонну без движения в открытой части ствола, особенно против пористых и проницаемых пород, а также пород, склонных к осыпям и обвалам. Для месторождений Тюменской области это время не должно быть более 3–10 минут.

При вынужденном оставлении инструмента в открытом стволе следует вести промывку забоя и по возможности вращать колонну ротором или ключами. В случае временного (до 0,5 часа) прекращения промывки скважины необходимо поднять колонну труб от забоя на длину ведущей трубы и систематически, с интервалом 2–5 минут расхаживать и проворачивать ротором. При длительных остановках (более 30 минут) инструмент следует поднять в обсадную колонну.

В случае, если во время СПО произошла поломка подъемного механизма при нахождении буровой колонны в открытом стволе, необходимо колонну подвесить на ротор, наверхнуть ведущую трубу, восстановить циркуляцию и проворачивать колонну ротором.

При спуске в скважину инструмента с долотом, отличающимся формой, размерами от долота предыдущего рейса, а также более жесткой КНБК, следует проявлять осторожность. В случае возникновения посадок необходимо спуск колонны превратить, поднять ее на длину ведущей трубы и проработать интервал. Интервалы посадок, затяжек, желобов, уступов, обвалов должны быть отмечены в буровом журнале и суточном рапорте бурового мастера. Углубление скважины при возникновении затяжек, посадок, подклиниваний из-за осыпей, обвалов, выпучивания пород, интенсивного роста фильтрационной корки должно быть прекращено.

В показатели свойств бурового раствора и режима промывки необходимо внести соответствующие коррективы и провести тщательную проработку ствола скважины.

### **Оборудование и материалы**

Работа выполняется в специализированной лаборатории ГИС.

Для выполнения работ будет использоваться отдельный прибор ЛМ и МЛМ установленный в станции СКГ.

**Указания по технике безопасности.** К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности Приложение Б.

### **Задания**

1. Изучить факторы, способствующие возникновению прихватов.

2. Изучить причины появления сальников и способы борьбы с ними.
3. Изучить назначение, конструкцию и принцип действия прихватоопределителя.
4. Изучить назначение, конструкцию и принцип действия электромагнитного локатора муфт
5. Изучить последовательность технологических операций при работе прихватоопределителем на скважине.
6. Изучить технологию определения места прихвата.

### **Указания по порядку выполнения работы**

#### **1. Изучить назначение, конструкцию и принцип действия прихватоопределителя**

Скважинный прибор ПО представляет собой электромагнит, состоящий из катушки и сердечника, помещенных в прочный кожух из немагнитной стали (рис. 10.1). Головка и наконечник скважинного прибора (СП) изготовлены из магнитной стали и выполняют роль полюсов электромагнита. Катушка электромагнита через штепсельный разъем в головке СП подключена к каротажному кабелю. Прихватоопределитель позволяет намагничивать небольшие участки бурильных труб (ставить на них магнитные метки) и измерять ЭДС магнитной индукции при перемещении СП вдоль колонны бурильных труб. Наилучшие результаты получают при минимальной разнице между внутренним диаметром бурильных труб и наружным диаметром кожуха СП. Поэтому в зависимости от размеров труб применяют приборы длиной 0,4 м и диаметром от 25 до 90 мм; их предельная термобаростойкость достигает 250 °С и 120 МПа.

Для нанесения на трубу магнитной метки прибор останавливают через каждые 10–25 м и через катушку пропускают постоянный ток в течение 1,6–2 с. Запись ЭДС магнитной индукции производят каротажным осциллографом при подъеме СП со скоростью до 0,8 м/с. Первую кривую ЭДС записывают сразу по окончании нанесения магнитных меток. На этой кривой магнитные метки отмечаются четкими пиками, амплитуды которых в 4–5 раз превышают уровень помех. После растяжки колонны бурильных труб с максимально допустимым усилием снова записывают ЭДС магнитной индукции в том же интервале колонны. На этой кривой пи-

ки от магнитных меток, находящиеся выше места прихвата, исчезают либо уменьшаются по амплитуде. В зоне прихвата бурильных труб, куда деформация не передается, пики от магнитных меток остаются неизменными. Сопоставляя две кривые ЭДС – устанавливают верхнюю границу зоны прихвата.

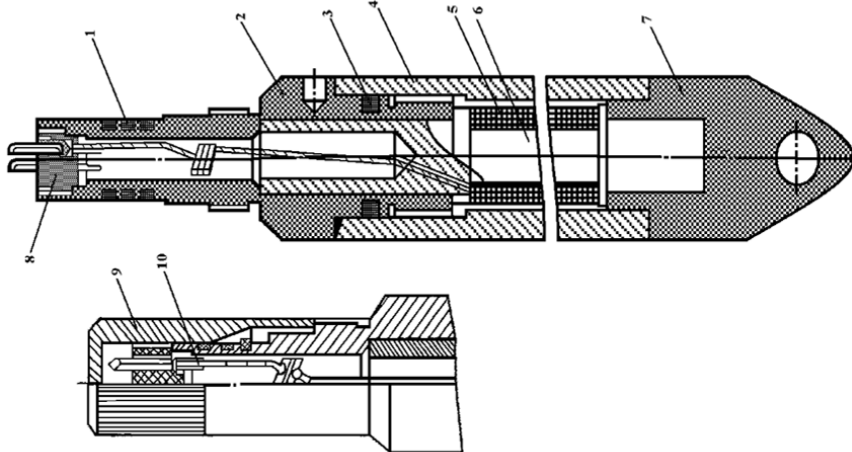


Рис. 10.1. Сквжинный прибор прихватоопределитель:

- 1, 3 – резиновые уплотнительные кольца; 2 – головка прибора; 4 – корпус из немагнитной стали; 5 – катушка; 6 – сердечник; 7 – наконечник из магнитной стали; 8 – разъем; 9 – защитный колпак; 10 – провод

**Сквжинный прихватоопределитель** типа ПО служит для определения места прихвата в колоннах бурильных и насосно-компрессорных труб по способу, основанному на свойстве размагничивания ферромагнитных материалов при упругой деформации намагниченных участков. Прибор ПХ представляет собой электромагнит, которым с определенным шагом наносятся магнитные метки на стальной колонне путем кратковременного пропуска тока через катушку электромагнита.

Непредвиденную потерю подвижности колонны труб при приложении к ней максимально допустимых нагрузок называют прихватом. Причины прихватов следующие:

- прилипание труб к стенке скважины под действием перепада давления,

- заклинивание в местах сужений ствола при спускоподъемных операциях (СПО) и в желобах,
- осыпание и обвалы горных пород, оседание шлама при нарушениях режима промывки, заклинивание колонны посторонними предметами.
- образование сальника на бурильной колонне.

Аварии с обсадными трубами занимают значительное место в практике бурения. Наибольшие затраты времени на ликвидацию их вызывают прихваты обсадных колонн. Особенно часто прихваты возникают при бурении на разведочных площадях, месторождениях, в разрезе которых имеются породы, склонные к набуханию, сужению ствола и обвалам. Строительство опорных, параметрических, структурно-поисковых, разведочных скважин на новых площадях ведется при весьма малой информации о горно-геологических условиях бурения. Поэтому конструкции скважин часто нерациональны, буровые растворы не по всем параметрам соответствуют условиям бурения. Вследствие этого породы набухают и обваливаются в процессе углубления скважины.

Основные факторы, способствующие возникновению прихвата обсадных колонн, носят организационно-технический характер:

- нечеткий план работ по спуску колонны, не полностью учитывающий результаты заключительных геофизических исследований и записей в буровом журнале о затяжках и посадках, в т. ч. интервалах сужений ствола, уступах, объеме скважины;
- неудовлетворительная подготовка ствола перед спуском колонны, в т. ч. проработка, промывка и калибровка;
- длительные остановки при спуске, вызванные поломками и неисправностями буровой вышки и ее элементов, оборудования и инструментов для спускоподъемных операций, контрольно-измерительных приборов;
- отказ от предусмотренных планом промежуточных промывок;
- несовершенная технология бурения ствола под спускаемую обсадную колонну, включая использование бурового раствора низкого качества, малое содержание смазывающих добавок, несоблюдение параметров режима бурения в часто чередующихся по твердости породах, что приводит нередко к резким перегибам ствола скважины.

Близким по физической сути к ЛМ методом является прихватопредельитель (ПХ) (рис. 10.2), используемый для определения места прихвата колонны труб при бурении и капитальном ремонте скважин.

Метод основан на способности ферромагнетиков утрачивать намагниченность при деформации. Прибор ПХ представляет собой электромагнит, которым с определенным шагом наносятся магнитные метки на стальной колонне путем кратковременного пропускания тока через катушку электромагнита.

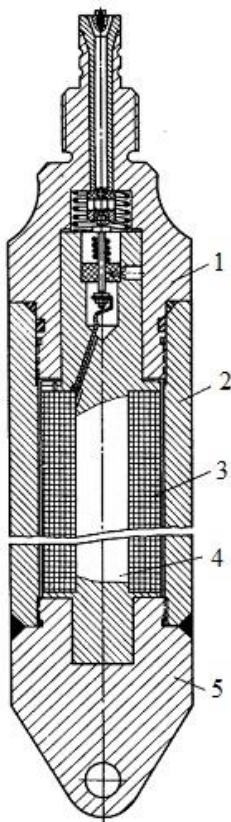


Рис. 10.2. Прихватопредельитель типа ПО:  
1 – головка; 2 – кожух; 3 – катушка; 4 – сердечник; 5 – наконечник

После приложения критических напряжений кручения или растяжения к колонне, ПХ считываются проставленные ранее метки. Выше интервала прихвата колонны метки полностью исчезают или уменьшаются по амплитуде. Верхняя зафиксированная метка является началом интервала прихвата колонны. Прихватоопределитель и локатор муфт можно спускать в скважину самостоятельно либо вместе с прибором радиоактивного каротажа, стреляющим или взрывным аппаратом. При совместном спуске прихватоопределителя или локатора муфт типа ЛП и аппарата на многожильном кабеле их подключают к отдельным жилам, при спуске на одножильном кабеле – взрывную цепь аппарата соединяют параллельно с катушкой прихватоопределителя (локатора муфт) через тиристоры или подобные устройства.

## **2. Изучить назначение, конструкцию и принцип действия электромагнитного локатора муфт**

Метод **электромагнитной локации (ЛМ)**, как и прочие электромагнитные методы, основан на принципе электромагнитной индукции в проводниках электрического тока. При исследованиях регистрируются изменения магнитной проводимости в металле обсадной колонны и насосно-компрессорных труб вследствие нарушения их сплошности (утолщений, разрывов, перфорации). Измерения выполняются локатором муфт (рис. 10.3), датчик которого представляет собой дифференциальную магнитную систему, состоящую из многослойной катушки с сердечником и двух постоянных магнитов, которые создают в катушке и вокруг нее постоянное магнитное поле. При перемещении локатора вдоль колонны в местах нарушения сплошности металла труб происходит перераспределение магнитного потока и индуцирование в измерительной катушке импульсов ЭДС.

Амплитуда сигнала пропорциональна числу витков в обмотке датчика, мощности используемых в локаторе магнитов и скорости движения прибора мимо неоднородности. Малогабаритные локаторы (диаметром 36 мм) имеют ограниченную разрешающую способность по отношению к выделению интервалов перфорации. Отношение сигнал/шум может быть увеличено за счёт регистрации и совместной обработки нескольких измерений. ЛМ применяется для установления положения муфтовых соединений колонны, точной привязки показаний других приборов к положению муфт,



взаимной привязки показаний нескольких приборов, уточнения глубины спуска лифтовых труб, определения текущего забоя скважины, в благоприятных условиях – определения интервала перфорации и выявления мест нарушения (типа разрывов, трещин) обсадных колонн, НКТ. В обсаженных перфорированных и неперфорированных скважинах в комплексе с другими методами ГИС-контроля метод используется для привязки, выявления дефектов, перфорации и элементов конструкции скважины.

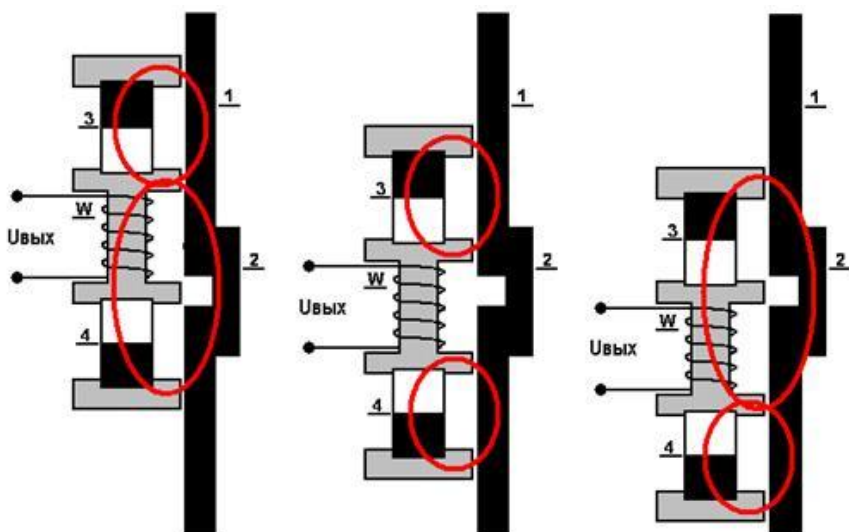


Рис. 10.3. Схема формирования сигнала локатора муфт

Имеются два типа локаторов муфт – для радиометра (ЛР) и перфоратора (ЛП). Локатор муфт типа ЛР предназначен для одновременной записи кривых гамма-метода и локатора муфт, совмещенных по глубине. При этом достигается нужная точность привязки интервалов перфорации к муфтам. Локатор муфт типа ЛП соединен с перфоратором, и при необходимости перфоратор или торпеда срабатывают через газовый разрядник в интервале, выбранном для прострела.

Магнитные локаторы служат для измерения магнитного поля внутри колонны обсадных труб. При записи кривой изменения этого магнитного поля по стволу скважины получают отметки,

определяющие местоположение муфтовых и замковых соединений труб, магнитных меток на трубах и нарушений в колонне (разрывы, утолщения и т. п.). По кривой магнитного локатора можно установить перфоратор, торпеду или другой аппарат против нужной точки разреза скважины, отсчитываемой от соответствующего муфтового (замкового) соединения.

Локатор муфт состоит из скважинного прибора и наземного пульта, соединенных двухпроводной линией одножильного бронированного кабеля (рис. 10.4, 10.5).

Скважинный прибор содержит многослойную катушку датчик с железным сердечником и два постоянных магнита ПМ, которые размещены с обоих концов катушки и одноименными полюсами соприкасаются с торцами ее сердечника. Вся магнитная система жестко закреплена в герметичном кожухе из немагнитной стали.

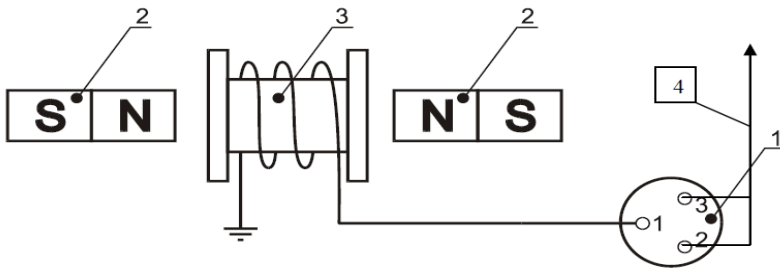


Рис. 10.4. Электрическая схема ЛМ:

1. Электрический разъем; 2. Постоянный магнит;
3. Катушка с магнитопроводом; 4. Транзитная жила

Постоянные магниты ПМ создают в катушке и вокруг нее постоянное намагничивающее поле. Это поле остается неизменным, если в окружающей среде (трубе) не имеется существенных изменений. Когда магнитное сопротивление среды изменяется (в муфтах, замках, утолщениях, разрывах труб), магнитное поле катушки тоже изменяется (ослабевает или усиливается), и в ней возникает ЭДС индукции, ток которой передается по кабелю в измерительную и регистрирующую аппаратуру на поверхности.

Поперечные перемещения локатора в трубе (удаление и приближение к ее стенкам) не вызывают ЭДС в катушке, так как в локаторах применена дифференциальная магнитная система, на по-

люсах которой создаются две равные, но противоположные по знаку ЭДС



Рис. 10.5. Общий вид локатора муфт

Магнитные локаторы применяют отдельно и совместно со скважинными приборами радиоактивного каротажа, перфораторами и торпедами.

Имеются два типа локаторов муфт – для радиометра (ЛР) и перфоратора (ЛП). Локатор муфт типа ЛР предназначен для одновременной записи кривых гамма-метода и локатора муфт, совмещенных по глубине. При этом достигается нужная точность привязки интервалов перфорации к муфтам. Локатор муфт типа ЛП соединен с перфоратором, и при необходимости перфоратор или торпеда срабатывают через газовый разрядник в интервале, выбранном для прострела. Близким по физической сути к ЛМ методом является прихватоопределитель (ПХ) используемый для определения места прихвата колонны труб при бурении и капитальном ремонте скважин.

ЛМ применяют для:

- установления положения замковых соединений, прихваченных буровых труб;
- определения положения муфтовых соединений обсадной колонны;

- точной привязки показаний других приборов к положению муфт;
- взаимной привязки показаний нескольких приборов;
- определения текущего забоя скважины;
- (в благоприятных условиях) для определения интервала перфорации и выявления мест нарушения (разрывы, трещины) обсадных колонн.

### 3. Последовательность технологических операций при работе прихватоопределителем на скважине

Конструктивно прибор состоит из следующих основных частей: электромагнита, корпуса, головной 7 и хвостовой части 2 (рис. 10.6). Обмотка электромагнита 5 намотана на сердечник 6 и помещена в немагнитный корпус 4.

Герметизация осуществляется уплотнительными кольцами 1, 3, а электропровод производится при помощи разъема 8. ПО может быть изготовлен в непроходном варианте с глухой головной частью и в проходном варианте с двумя транзитными электрическими жилами.

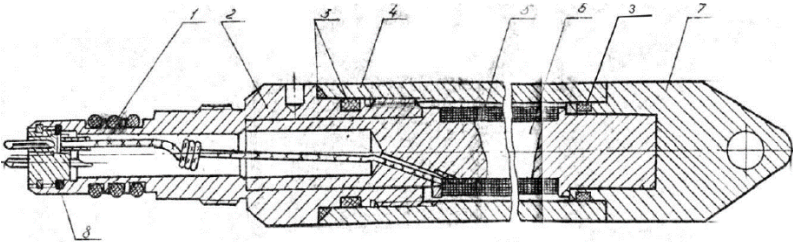


Рис. 10.6. Прихватоопределитель типа ПО

Электрическая схема ПО представлена на рис. 10.7.

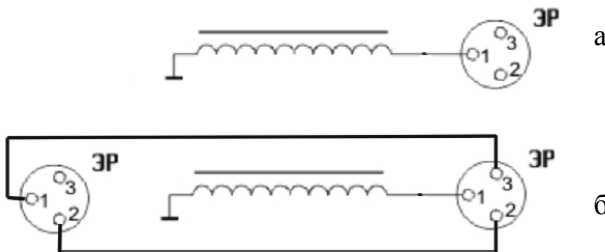


Рис. 10.7. Электрическая схема ПО:  
а – непроходной ПО; б – проходной ПО. ЭР – электрический разъем

Принцип работы основан на нанесении магнитных меток в отдельных точках колонны труб с помощью магнитного поля, возникающего вокруг катушки индуктивности при пропускании по ней импульса постоянного тока, а также регистрации в дальнейшем этих меток за счет индуцирования ЭДС в катушке при пересечении прибором магнитных меток.

При установке магнитных меток прибор питается от источника постоянного нестабилизированного напряжения в пределах 270...550 В, в зависимости от глубины погружения и длины кабеля. Напряжение питания непосредственно катушки электромагнита ПО равно  $270 \pm 10$  В. При прохождении постоянного тока по катушке небольшие участки 15...20 см бурильных и эксплуатационных труб в предполагаемом интервале прихвата намагничиваются.

После установки магнитных меток в колонне труб прикладывается растягивающее усилие максимально допустимой величины. Намагниченные участки, расположенные выше места прихвата размагничиваются в результате упругой деформации труб, и при регистрации, которая осуществляется при подъеме ПО не обнаруживаются или существенно ослабляются по амплитуде.

Установку аппарата на кабеле в заданном интервале осуществляют несколькими способами: по счетчику глубин, по меткам на кабеле, нанесенным в результате промера лентой, по естественному или искусственному радиоактивному реперу, по муфтам, патрубкам, магнитным реперам. Перечисленным методам свойственны различные точность и трудоемкость. Оптимальный способ выбирают в зависимости от типа аппарата, целей и задач ПВР, геолого-технических условий в скважинах и др. Эффективна методика точной установки аппарата в скважине по магнитному реперу (рис. 10.8), включающая следующие операции.

На стенке обсадной колонны выше объекта ПВР, например интервала перфорации, с помощью прихватаопределителя наносят магнитную метку (обычно совмещают с шаблонированием). Определяют точное расстояние от магнитной метки до кровли пласта путем одновременной записи диаграмм магнитной индукции и радиоактивного каротажа при совместном спуске соответствующих приборов.

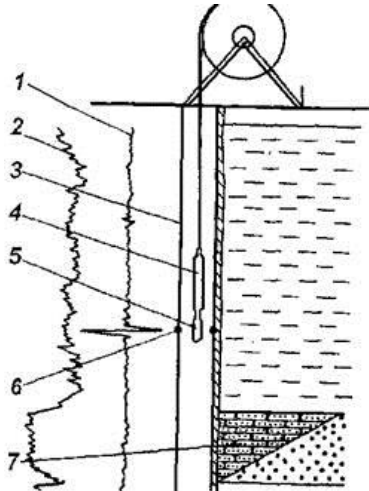


Рис. 10.8. Установка аппарата, спускаемого на кабеле, по магнитному реперу: 1 – диаграмма магнитной индукции; 2 – диаграмма радиоактивного каротажа; 3 – обсадная колонна; 4 – прибор радиоактивного каротажа; 5 – прихватоопределитель; 6 – магнитная метка; 7 – пласт-коллектор

Последующие спуски аппарата (перфоратора) осуществляют с привязкой к магнитному реперу: по предварительно установленным на кабеле меткам – при отдельном спуске аппарата или с помощью прихватоопределителя (локатора муфт) – при совместном спуске их с аппаратом. Пользуясь этой методикой, против пласта можно устанавливать аппараты практически всех типов с погрешностью, не превышающей  $\pm (0,1-0,2)$  м независимо от глубины скважины. Аппарат спускают несколько ниже заданной глубины, затем на малой скорости поднимают и устанавливают в требуемом месте.

#### 4. Изучить порядок выполнения работ ПО

- Натянуть колонну труб так, чтобы выбрать собственный вес труб.

- Спустить ПОВ скважину для записи контрольной кривой магнитной индукции вдоль всего исследуемого интервала (см. рис. 10.9 а).

- Метки устанавливать при спуске прибора на расстоянии 10...25 м друг от друга. Установку магнитных меток производить путем кратковременной (1...2 сек) подачи на ПО выпрямленного

нестабилизированного напряжения 270 В положительной полярности по центральной жиле кабеля.

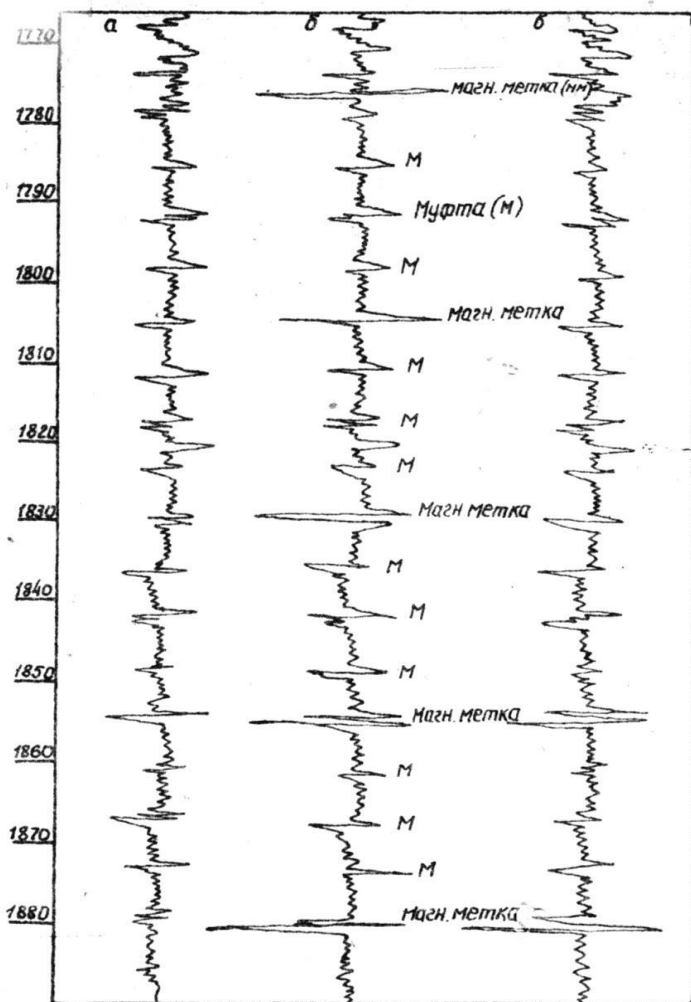


Рис. 10.9. Регистрируемые кривые ПО: а) контрольная кривая; б) после нанесения меток; в) поле деформации труб

– После установки меток провести их регистрацию при подъеме ПО (см. рис. 10.9 б). Если метки трудноразличимы на соб-

ственном магнитном фоне труб, то повторить установку меток при повышенном напряжении.

– После деформации труб вновь провести регистрацию меток с помощью ПО (см. рис. 10.9 в).

– Сопоставить кривые. Магнитные метки, расположенные выше места прихвата, стираются или резко уменьшаются по амплитуде, а метки, расположенные ниже места прихвата остаются без изменений. Чем чаще расположены метки, тем точнее можно определить место прихвата труб.

– Скорость перемещения ПО при измерении может быть выбрана в пределах 300...3000 м/час. Оптимальная скорость составляет 2500 м/час. Выбранная скорость измерений должна оставаться постоянной в течение всего процесса работ на данной скважине.

Скорость перемещения прибора при контроле интервала перфорации 200–300 м/час. Скорость подъема прибора при отбивке муфт – 1000–200 м/час, а в случае одновременной регистрации данных другим видом ГИС – скорость определяется требованиями, предъявляемыми к этому виду.

При определении глубины прихвата буровых труб, а также при выявлении интервалов перфорации с предварительным намагничиванием труб, измерения ЛМ проводятся трижды:

- до намагничивания труб;
- после намагничивания, но до перфорации;
- после перфорации или растягивания (натяжения) колонны.

Запись диаграмм при локации муфт осуществляется при подъеме прибора. Запись, выполненная для определения положения муфтовых соединений, признается браком, если кривая по своей форме и характерным пикам не позволяет выделять муфтовые соединения. Амплитуда сигнала от муфт должна более чем в два раза превышать уровень помех (флуктуации).

Две-три диаграммы (основная и контрольные), записанные для уточнения интервала перфорации, должны повторяться по конфигурации. Большая часть характерных, пик должна отмечаться на диаграммах и совпадать по глубинам. В противном случае запись бракуется. Совпадение амплитуд сигнала по величине не обязательно.



Для уточнения интервала перфорации две диаграммы в оригинале накладываются одна на другую на светокопировальном столе и совмещаются по муфтам и нулевым линиям.

Отмечаются все «пики», повторяющиеся и превышающие не менее чем в 1,5 раза уровень помех. Интервал их расположения является возможным интервалом перфорации. Интервал перфорации может не выделяться совсем или выделяться ошибочно в следующих случаях:

а) корродированные трубы характеризуются диаграммой, схожей с диаграммой, записанной в перфорированном интервале, ввиду того, что изменения толщины стенки трубы вызывают изменения магнитного потока;

б) цементная корка, грязь на поверхности колонны вызывает изменение магнитного зазора между полюсными наконечниками и стенкой колонны, а следовательно, изменение магнитного потока;

в) изменение намагниченности колонны обуславливает форму кривой, похожую на форму кривой для интервала перфорации.

Обработка диаграмм заключается в оформлении оригинала. На диаграмме определяется глубина положения муфт, воронки лифтовых труб, забоя скважины и интервала перфорации. На копию записи измерений основным методом исследования наносятся в виде условных обозначений положения муфт, воронки, забоя скважины и интервала перфорации.

Магнитный метод определения места прихвата основан на изменении магнитных свойств материала стальных труб при приложении к ним механической нагрузки (натяжения, разгрузки, скручивания). Его реализуют с помощью индукционных прихватопредделителей и индикаторов места прихвата (ИМП) при следующей последовательности выполнения операций (рис. 10.10):

- регистрируют контрольную (фоновую) кривую ИМП для выделения замковых соединений;
- в предполагаемом интервале прихвата или по всей бурильной колонне устанавливают через 10–20 м магнитные метки;
- регистрируют кривую ИМП с магнитными метками;
- прикладывают к колонне максимально возможные механические нагрузки (натяжение, разгрузки, скручивание) с целью снятия магнитных меток выше места прихвата;
- регистрируют кривую ИМП со снятыми метками;

- определяют верхнюю границу интервала прихвата по стиранию или уменьшению амплитуд магнитных меток в свободной от прихвата части колонны;
- для более точного определения верхней границы проводят второй цикл измерений ИМП с уменьшением расстояний между метками до 1–2 м.

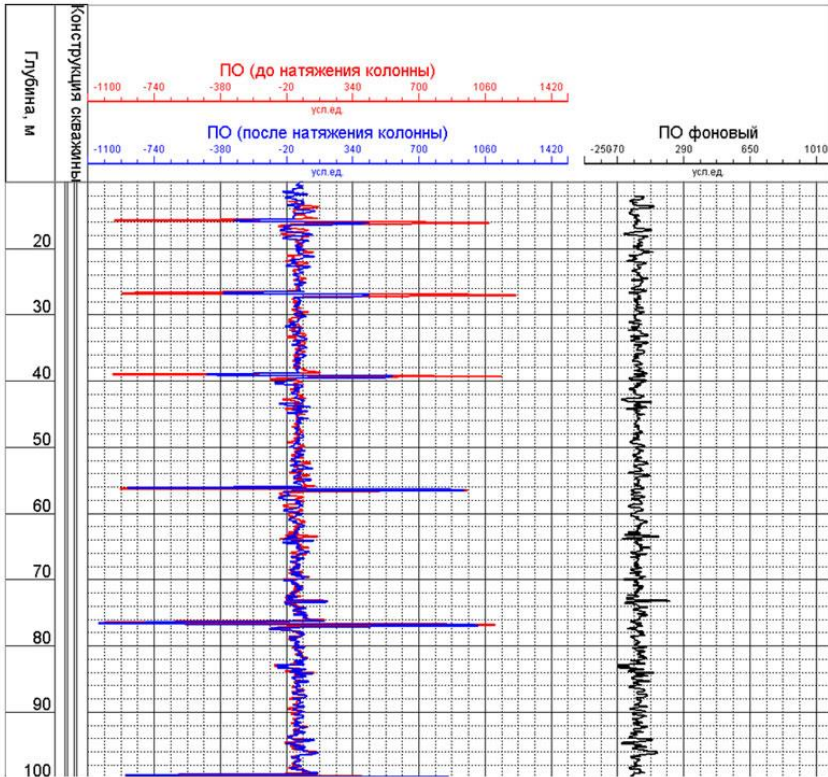


Рис. 10.10. Вид кривых при определении прихвата труб

Ограничения метода заключаются в возможности его применения только в стальных трубах, определении одной верхней границы интервала прихвата, снижении эффективности в сильно искривленных скважинах, в утяжеленных бурильных трубах и на больших глубинах вследствие плохого стирания магнитных меток.

### **Указания по технике безопасности**

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности Приложение Б.

### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А.

### **Контрольные вопросы**

1. Описать факторы, способствующие возникновению прихватов.
2. Каковы причины появления сальников на трубах и способы борьбы с ними.
3. Назначение, конструкция и принцип действия прихватопредделителя.
4. Назначение, конструкция и принцип действия электромагнитного локатора муфт
5. Описать последовательность технологических операций при работе прихватопредделителем на скважине.
6. Описать технологию определения места прихвата.

## **11. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН. КОНТРОЛЬНЫЕ СКВАЖИНЫ**

**Цель работы.** Ознакомление с метрологическим обеспечением геофизических исследований скважин.

### **Формируемые компетенции или их части**

ПСК-2,4 – способность профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование, оргтехнику и средства измерения.

ПСК-2,6 – способность выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях.

### **Теоретическая часть**

Самыми точными средствами воспроизведения и хранения единиц измерений являются эталоны. *Эталон единицы* – это сред-

ство измерений (или комплекс СИ), обеспечивающее воспроизведение и хранение единиц с целью передачи их размера нижестоящим по поверочной схеме СИ, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке в качестве эталона. Первичные эталоны утверждаются в качестве государственных. Они воспроизводят единицу измерения с наивысшей точностью, достижимой при современном уровне развития науки и техники. В метрологической практике широко используются вторичные эталоны, значения которых устанавливаются по первичным.

Для передачи размеров единиц рабочим средствам измерений применяют образцовые СИ. В зависимости от точности их подразделяют на разряды. Образцовые СИ 1-го разряда подлежат проверке непосредственно по эталонам, а 2-го, 3-го и последующих разрядов – по образцовым СИ более высоких (с меньшим номером) разрядов.

Порядок передачи размеров единиц измерения регламентируется поверочными схемами. Поверочная схема представляет собой исходный документ, устанавливающий метрологическое соподчинение эталонов, образцовых СИ и порядок передачи размера единицы образцовым и рабочим СИ. В поверочных схемах указывают также метод проверки и применяемые для этого средства сравнения и измерения.

Поверочные схемы подразделяют на государственные, ведомственные и локальные. Государственные поверочные схемы служат основанием для составления ведомственных и локальных поверочных схем и для разработки государственных стандартов на методы и средства проверки образцовых и рабочих средств измерений. **Ведомственная** поверочная схема представляет собой нормативно-технический документ ведомства, а **локальная** – нормативно-технический документ предприятия.

Структура поверочной схемы и количество ступеней передачи единицы измерений от исходного до рабочих СИ определяются, с одной стороны, требуемой точностью рабочих СИ, их общим количеством и степенью рассредоточения по территории страны, с другой – точностными характеристиками существующих методик передачи единицы от уровня к уровню, которые зависят, в свою очередь, от погрешностей образцовых СИ и методик передачи единиц.

Особенности передачи единицы геофизических величин состоят в том, что, с одной стороны, практически отсутствуют государственные эталоны, воспроизводящие единицу измерения, а с другой – предъявляются высокие требования к точности рабочих СИ. Данные обстоятельства делают необходимым создание специальных калибровочных схем, имеющих в своей основе исходные образцовые СИ, аттестованные методом косвенных измерений, что диктуется необходимостью обеспечения требуемой достоверности и точности ГИС. В общем случае максимальная точность передачи размера единицы рабочим СИ была достигнута при непосредственной их поверке по исходному образцовому СИ. Однако подобная технология передачи размера единицы неприемлема, так как рабочие СИ ГИС эксплуатируются во многих предприятиях, территориально удаленных друг от друга и от места базирования исходного образцового СИ. Поэтому в поверочную схему вводят промежуточную ступень передачи размера единицы – образцовые СИ, размещаемые в крупных производственных предприятиях.

Размер единицы геофизического параметра от исходных образцовых СИ передается образцовым СИ. ОСИ могут быть трех видов: 1) калибровочные установки, либо имитаторы; 2) скважинные приборы, аттестованные в качестве образцового СИ; 3) калибровочная скважина. Передача размера единицы скважинным приборам, используемым в качестве ОСИ, осуществляется методом прямых измерений, а калибровочным установкам и скважинам – методом сличения при помощи компаратора, роль которого может выполнять образцовый скважинный прибор.

Нижнему полю калибровочной схемы соответствуют рабочие СИ – скважинные приборы и полевые калибраторы, используемые для установки масштабов регистрации при измерениях в скважинах. Размеры единицы им передаются от образцовых СИ либо методом сличения при помощи компараторов, либо методом прямых измерений. Особо выделяется группа рабочих СИ повышенной точности, размер единицы которым передается непосредственно от исходного образцового СИ методом прямых измерений.

Исходные образцовые СИ чаще всего размещаются в метрологических и сертификационных центрах, образцовые и рабочие СИ – на производственных предприятиях.

### **Оборудование и материалы**

Эталонировочный стол для инклинометра, эталонировочные кольца для каверномера и эталонировочный круг для приборов ИК.

**Указания по технике безопасности.** К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности (Приложение Б).

### **Задания**

1. Изучить основные технологические процедуры метрологического обеспечения ГИС.
2. Изучить назначение контрольной скважины и виды имитаторов физических свойств.

### **Указания по порядку выполнения работы**

**1. Вначале изучить основные технологические процедуры метрологического обеспечения ГИС**, такие как *стандартные образцы состава и свойств горных пород, калибровочные установки, имитаторы физических величин.*

**Стандартный образец** состава и свойств (СО) является средством измерения в виде вещества (материала), состав и свойства которого установлены при аттестации. Стандартные образцы предназначены для градуирования, аттестации и поверки СИ, аттестации методик выполнения измерений, контроля точности результатов измерений, измерения свойств и состава исследуемых сред методом сравнения.

В практике ГИС стандартные образцы, как правило, выполняют роль первичного эталона или исходного образцового средства измерений для воспроизведения с наибольшей точностью и достоверностью геологических параметров или физических величин горной породы.

СО ГИС представляет собой средство измерений, выполненное в виде модели пласта, пересеченного скважиной. Для ряда СО изготовленная в них скважина заполняется жидкостью с известными физическими свойствами и составом. При этом жидкость оказывает влияние на аттестуемую характеристику СО, и это влияние следует учитывать при метрологических работах. Размеры СО выбирают такими, чтобы физическое поле, созданное в нем,

было эквивалентно полю в бесконечной однородной среде тех же состава и свойства.

Стандартные образцы, являясь в большинстве случаев близким подобием реальных объектов исследования, позволяют охватить метрологическим контролем, как результаты измерений, так и экспериментальную процедуру методики измерений.

Стандартные образцы для метрологического обеспечения ГИС представляют собой средство измерений, выполненное в виде модели пласта, пересеченного скважиной. Специальное конструктивное выполнение СО ГИС необходимо для осуществления его взаимодействия со скважинными СИ. По структуре материала стандартные образцы можно подразделять на монолитные, насыпные и гетерогенные. Гетерогенные модели могут быть изготовлены на основе монолитов, просверленных в одном или нескольких направлениях с определенным периодом, или на основе сборки из кубиков, цилиндров, шаров или мозаичных элементов с последующим заполнением свободного пространства веществом-носителем свойств (состава) СО. Определяющей характеристикой таких моделей является соотношение масштаба гетерогенности и длины волны излучения геофизического поля (электрического, акустического, ионизирующего и т. п.).

К гетерогенным моделям можно отнести модель объемной плотности на основе стеклянных шариков, пространство между которыми заполнено флюидом, а также модель из мраморных блоков, в которых просверлены отверстия в трех взаимно перпендикулярных направлениях. При значимом влиянии гетерогенности СО этого типа не рекомендуется использовать для градуирования аппаратуры; их можно применять для контроля правильности результатов измерений и проверки аппаратуры ГИС.

Несмотря на то, что создание СО в большинстве случаев требует значительных затрат, а набор воспроизводимых ими исследуемых параметров и условий измерений ограничен, роль СО в системе МО ГИС уникальна, так как получаемую с их помощью информацию нельзя заменить информацией, получаемой, например, при исследовании керна или по данным измерений в контрольно-поверочной скважине. Только СО могут дать в неискаженном виде информацию о связи показаний скважинной аппаратуры и геологических (физических) параметров. В остальных случаях эта связь

устанавливается в результате статистических сопоставлений «кern-каротаж» при ограниченной точности таких сопоставлений. Преимущества использования СО в виде моделей пластов, пересеченных скважиной, для целей градуировки аппаратуры заключаются в следующем.

Комплект СО может обеспечить необходимый набор стандартных условий для градуирования аппаратуры и получения необходимых поправок, учитывающих отклонение условий измерений от стандартных в широком диапазоне их измерения в процессе каротажа. ВСО могут быть воспроизведены необходимые значения различных параметров пластов и скважин (концентрация элемента, плотность, пористость, диаметр скважины и др.). Подобные оптимальные условия и их одновременное сочетание редко встречаются в реальных скважинах; маловероятно также, чтобы нужный набор параметров оказался сосредоточенным в одном районе.

Стандартные образцы предназначены для обеспечения единства и требуемой точности измерений посредством градуирования, аттестации и поверки средств измерений, аттестации МВИ, контроля точности результатов измерений, измерения свойства и состава исследуемых сред методом сравнения.

В системе МО ГИС стандартные образцы, как правило, выполняют роль первичного эталона или исходного образцового средства измерений, воспроизводящего с наибольшей достоверностью и точностью геологическую или физическую характеристику горной породы. Достоверность воспроизводимого СО параметра достигается обеспечением характеристик СО и условий измерений в них, максимально приближенных (адекватных) к характеристикам исследуемых пород (пласта) и условиям измерений в скважине. Точность СО достигается соблюдением требований методик изготовления СО, обеспечивающих минимальный уровень погрешностей аттестуемых характеристик СО, и применением при их аттестации высокоточных образцовых средств измерений и аттестованных МВИ (рис. 11.1).

Стандартные образцы, в зависимости от уровня их аттестации и утверждения, подразделяют на государственные стандартные образцы (ГСО), отраслевые стандартные образцы (ОСО) и стандартные образцы предприятия (СОП).





Рис. 11.1. Стандартные государственные образцы состава и свойств горных пород

**Калибровочной установкой** называется образцовое СИ, содержащее в своем составе совокупность мер, приборов, измерительных преобразователей, а также вспомогательных устройств, обеспечивающих воспроизведение значений физических величин, принимаемых за действительные, и позволяющие проводить калибровку, градуировку и поверку геофизических СИ.

Калибровочная установка для скважинной аппаратуры может воспроизводить одну или несколько физических величин. Комплексные калибровочные установки необходимы для комплексной скважинной аппаратуры (инклинометр – азимут и зенитный угол скважины, аппаратура акустических исследований скважин – интервальное время и коэффициент затухания) или при взаимной зависимости измеряемых физических величин (зависимость погрешности измерений азимута от зенитного угла для точечных инклинометров, зависимость погрешности измерений интервального времени от коэффициента затухания акустических волн). В ряде случаев создание комплексной калибровочной установки обусловлено необходимостью воспроизведения одновременно измеряемо-

го параметра и влияющей величины. Например, для скважинных манометров с тензометрическим преобразователем давления, сильно зависящим от температуры, в установке "Топаз-1М одновременно воспроизводятся давление и температура.

**Имитатором физической величины** называется устройство, позволяющее воздействовать на вход скважинной аппаратуры и вызывать выходной сигнал, эквивалентный значению измеряемой величины. Имитаторы геофизических величин выполнены на основе стандартных образцов веществ и материалов или электрических, электронных, механических и других устройств. К первой группе имитаторов относятся, например, имитаторы плотности для аппаратуры плотностного ГГМ, выполненные из магния, алюминия, гетинакса и других материалов, имитаторы влагосодержания нефти для скважинных дизьлкометрических влагомеров в виде жидкостей с различной диэлектрической проницаемостью и др. Вторую группу имитаторов составляют электрические цепи на основе сосредоточенных резисторов, имитирующие удельное электрическое сопротивление для аппаратуры электрометрии макро- и микрондами контактного типа, имитатор удельной электрической проводимости для аппаратуры индукционного метода в виде индукционной катушки, размещаемой на зонде, в цепь которой включены резистор и конденсатор, имитатор пористости пласта на основе стальной трубы с воздушным зазором для аппаратуры нейтронных методов.

Примерами имитаторов могут служить имитатор удельного электрического сопротивления для аппаратуры градиентзондирования в виде электрической цепи, состоящей из резисторов (магазинов сопротивлений), имитатор удельной электрической проводимости для аппаратуры индукционного каротажа в виде индукционной катушки, размещаемой на зонде, в цепь которой включены резистор и конденсатор, имитатор плотности в виде блоков магния (алюминия или чередующихся пластин) для скважинных гамма-плотномеров горных пород и др.

Применяемые для метрологического обеспечения ГИС имитаторы можно разделить на две группы: имитаторы, исполненные в виде стандартных образцов веществ и материалов; имитаторы, выполненные на основе электрических, электронных, механических и других устройств.

К первой группе имитаторов относятся, например, имитаторы плотности для аппаратуры плотностного ГГК (рис. 11.2), выполненные из магния, алюминия, гетинакса и других материалов, имитаторы влагосодержания нефти для скважинных диэлькометрических влагомеров в виде жидкостей с различной диэлектрической проницаемостью и др.

Ко второй группе имитаторов относятся электрические цепи на основе сосредоточенных резисторов, имитирующие удельное электрическое сопротивление для аппаратуры электрического каротажа макро- и микрозондами контактного типа, электронный имитатор интервального времени и коэффициента затухания акустических сигналов для аппаратуры акустического каротажа и контроля цементирования скважин, имитатор пористости пласта на основе стальной трубы с воздушным зазором для аппаратуры НК.

Имитаторы для метрологических целей могут использоваться по отдельности или в совокупности в составе поверочных установок.



Рис. 11.2. Имитаторы плотности для аппаратуры плотностного ГГК

В большинстве случаев применение имитаторов для метрологического контроля скважинной аппаратуры возможно только тогда, когда дляверяемой аппаратуры нормирована номинальная статическая функция преобразования. В противном случае один и

тот же имитатор для разных экземпляров однотипной аппаратуры воспроизводит (имитирует) разные значения измеряемого параметра.

Поверочные установки и имитаторы физических величин подвергаются метрологической аттестации с помощью СИ, «привязанных» к государственным поверочным схемам. Поверочные установки могут использоваться в качестве как исходных (ведомственных), так и промежуточных образцовых СИ. Имитаторы, как правило, используются на низших ступенях ведомственных поверочных схем.

Определение значений физических величин, имитируемых имитаторами, осуществляется либо путем передачи размеров единиц физических величин с помощью компаратора (скважинной аппаратуры со стабильными свойствами) от стандартных образцов или поверочных установок, либо путем математического моделирования измерительного процесса с проверкой модели по ограниченному числу точек (одна, две) в диапазоне измерений физической величины с использованием реальных физических сред.

Аппаратура для линейных и угловых измерений в скважинах служит для измерения линейных размеров (диаметр, профиль и сечение) скважины (каверномеры и профилемеры), линейных размеров сечения колонны 158 (трубные профилемеры), углов и азимута искривления оси ствола скважины по глубине (инклинометры), элементов залегания пластов (наклономеры) (рис. 11.3).

Поскольку измерительные каналы всех перечисленных устройств обеспечивают измерение линейных размеров и углов, метрологический контроль, как правило, осуществляется прямыми измерениями (непосредственным слижением) путем задания с помощью образцовых средств измерений (поверочных установок) на входе первичных преобразователей скважинных приборов известных (действительных) значений измеряемых величин.

Скважинными каверномерами и профилемерами измеряют в одной или нескольких плоскостях линейные размеры сечения: диаметр, средний диаметр, радиусы сечения скважины (колонны).

Средства измерений, заимствованные из государственной поверочной схемы, применяют для метрологической аттестации или поверки образцовых средств измерений (набора образцовых колец, образцовых мер, поверочных установок), а также для поверки ра-

бочих мер, применяемых для калибровки скважинных каверномеров и профиломеров, методом прямых измерений.



Рис. 11.3. Фото комплекта 5-ти эталонных колец для градуировки и калибровки каверномеров-профиломеров

В качестве образцовых средств измерений для каверномеров и профиломеров применяют поверочные установки и устройства, воспроизводящие линейные размеры, и образцовые кольца.

В качестве рабочих средств измерений используются скважинные каверномеры и профиломеры рычажного типа с пределом основной погрешности от 2,5 до 15 мм в рабочем диапазоне измерений длины 40–800 мм, каверномеры, входящие в состав комплексных скважинных приборов (с прижимными устройствами), с пределом основной погрешности  $\pm 12$  мм в рабочем диапазоне измерений 120–400 мм, а также рабочие меры для калибровки каверномеров и профиломеров, воспроизводящие значения длины 200, 300, 400 мм с предельной погрешностью не более 1,2 мм.

Соотношение между допускаемыми основными погрешностями образцовых и рабочих средств измерений 1 : 3.

На рис. 11.4, 11.5 представлены установки для проверки скважинных каверномеров-профиломеров. Установка предназначена для первичной, послеремонтной и периодической проверок каверномеров типа СКП-1 или других типов с аналогичными характери-

стиками. Она воспроизводит 10 диаметров скважин в диапазоне 100–800 мм.



Рис. 11.4. Фото установки УАК-Кав-700 для автоматизированной калибровки каверномеров и профилемеров

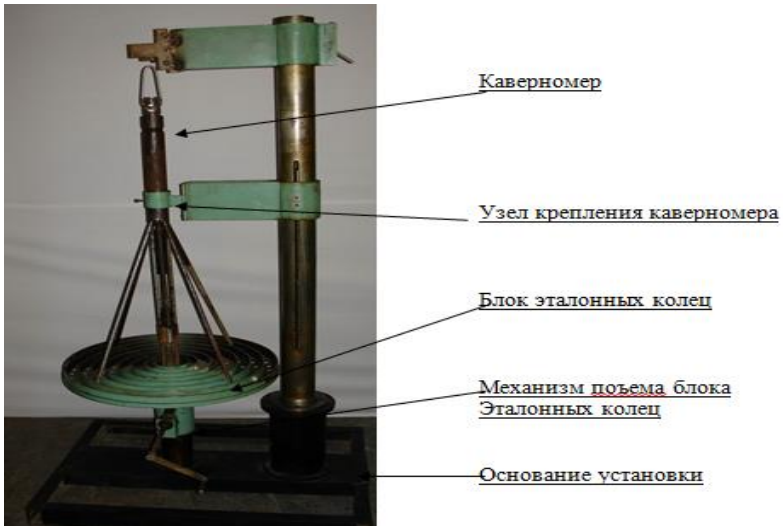


Рис. 11.5. Общий вид установки УПК-1 для калибровки каверномеров

## 2. Изучить основные технологические процедуры МО ГИС

Контроль нормированной точности используемых при ГИС средств измерений составляет основное содержание практической деятельности метрологической службы и реализуется в виде специальных технологических процедур метрологического обеспечения.

В общем случае к стандартным метрологическим процедурам относятся операции, выполняемые специалистами метрологических служб с использованием образцовых средств измерений по специальным технологиям, регламентированными нормативно-техническими документами: *градуировка, поверка, калибровка СИ*.

**Градуировка.** Измерительному прибору или преобразователю соответствует определенная функциональная зависимость между входной величиной и выходной величиной:  $y = f(x)$ , которая называется истинной функцией преобразования. Процедура определения градуировочной характеристики называется градуировкой средства измерения. Имитаторы для градуировки аппаратуры АК представлены на рис. 11.6.



Рис. 11.6. Имитаторы для градуировки аппаратуры АК

Задачи построения градуировочных характеристик средств измерений широко распространены в измерительной практике.

В зависимости от цели градуировки различают два типа градуировочных характеристик: типовые и индивидуальные.

Типовые (номинальные) градуировочные характеристики определяются для группы однотипных средств измерений, выпускаемых серийно. Соответствие индивидуальных функций преобразований каждого СИ типовой градуировочной характеристике в пределах нормированного допуска определяется в результате поверки.

Индивидуальные градуировочные характеристики определяют непосредственно для конкретного экземпляра средства измерения, как правило, для наиболее точной передачи размера единиц. В связи с этим метод градуировки довольно распространен при передаче размера единиц на верхних ступенях поверочных схем и при исследовании высокоточных (образцовых) средств измерений.

При построении градуировочных характеристик выполняют совместные измерения величин на входе и выходе СИ. Обычно измеряют несколько входных величин  $x_1, \dots, x_m$  и соответствующие выходные величины  $y_1, \dots, y_m$ , где  $y_i = f_i(x_i)$ . По этим экспериментальным данным строят градуировочную характеристику  $y = f(x)$ . Полученную градуировочную характеристику фиксируют и затем используют для оценивания значений входных величин по выходным.

**Поверка.** Поверкой средств измерений называют совокупность действий, выполняемых для определения и оценки погрешностей средств измерений с целью выяснить, соответствуют ли их точные характеристики регламентированным значениям и пригодны ли средство измерений к применению.

В зависимости от того, на каком этапе работы средства измерения проводится поверка, различают ГОСТ 8.002-86 первичную, периодическую и внеочередную поверки средств измерений.

Первичную поверку проводят при выпуске средств измерений в обращение из производства и ремонта. На средство измерения, поверенное при выпуске или после ремонта, выпускающей либо ремонтирующей, организацией выдается аттестат, содержащий результаты поверки и сведения о годности данного средства измерения.

В практике ГИС первичной поверке могут подвергаться СИ при их входном контроле на предприятие.

Периодическая поверка проводится при эксплуатации и хранении средств измерений через определенные межповерочные интервалы, установленные при государственных испытаниях СИ или



при их метрологической аттестации. При эксплуатации СИ меж-поверочные интервалы могут быть скорректированы.

Внеочередная поверка выполняется при эксплуатации (хранении) средств измерений вне зависимости от сроков периодической поверки, когда необходимо удостовериться в исправности средств измерений. К внеочередной поверке может быть отнесена так называемая рабочая поверка аппаратуры для ГИС, осуществляемая непосредственно перед выездом на скважину.

Поверку СИ выполняют с использованием образцовых средств измерений и в соответствии с нормативно-технической документацией, регламентирующей методику поверки.

Обычно методика поверки включает следующие основные операции: подготовку к поверке, проведение поверки (внешний осмотр, опробование, определение метрологических параметров), обработку результатов измерений и определение годности СИ к эксплуатации, оформление результатов поверки.

Внешний осмотр средства измерений и проверка его исправности (опробование), строго говоря, выходят за рамки понятия «поверка». Однако в практике под поверкой понимают совокупность операций как по определению погрешностей, так и по проверке технической исправности средств измерений, в связи с тем, что большинство из этих операций позволяет убедиться в отсутствии неисправностей, которые могут нарушить нормальную работу СИ или увеличить погрешности поверочных операций.

Определение метрологического параметра поверяемого средства измерения сводится, как правило, к определению характеристик основной погрешности и при необходимости (обычно при первичной поверке) функций влияния условий измерений на погрешность СИ.

Характеристики основной погрешности геофизической аппаратуры определяют в следующей последовательности:

- оценивают среднее квадратического отклонение от случайной составляющей основной абсолютной погрешности;
- устанавливают ее существенность (или несущественность) и необходимость ее учета при определении вариации и систематической составляющей погрешности;

- находят вариацию и устанавливают ее существенность и необходимость учета при определении систематической составляющей погрешности;
- оценивают систематическую составляющую абсолютной погрешности.

**Калибровка СИ.** В практике проведения геофизических исследований скважин, наряду с описанными выше видами метрологического обеспечения – градуировкой и поверкой, широко используется также еще одна метрологическая процедура – калибровка измерительного канала.

Под калибровкой понимают установление и контроль стабильности функции преобразования измерительного канала ГИС и масштабирование выходного сигнала в единицах измеряемого параметра.

Необходимость калибровки измерительного канала ГИС вызвана технологическими особенностями его функционирования, важнейшие из которых – необходимость транспортировки ИИС на скважину в разобранном виде с последующей сборкой и настройкой перед проведением измерений, сложность структуры измерительного канала, состоящего из ряда самостоятельных структурных элементов (скважинный прибор, кабель, наземная панель, регистратор), имеющих собственные нормируемые метрологические характеристики и, как правило, поверяемых независимо друг от друга.

В качестве средств калибровки используют эквивалентные меры (имитаторы) измеряемого параметра, воспроизводящие фиксированные его значения в одной или нескольких точках диапазона. Конструктивно калибраторы могут быть выполнены в виде отдельных устройств, как правило, транспортабельных, которые при проведении калибровки приводятся во взаимодействие с первичным преобразователем средства измерения, либо входят в состав средства измерения в виде встроенных элементов, подключаемых в процессе калибровки в измерительную цепь вместо первичного преобразователя (рис. 11.7).

Номинальное значение меры, воспроизводимой калибратором, устанавливают в процессе периодической поверки одновременно с проверкой годности поверяемого средства измерения.



Рис. 11.7. Калибровка каналов аппаратуры нейтронного каротажа

*Первый этап калибровки* измерительного канала проводится во время внеочередной поверки аппаратуры перед выездом на скважину. При этом фиксируется значение меры, воспроизводимой калибратором, которое не должно отличаться от ее номинального значения, установленного при последней периодической поверке, более чем на величину основной погрешности.

*Вторым этапом калибровки* является проведение измерений меры, воспроизводимой калибратором на скважине, непосредственно перед проведением ГИС. Результат измерения при этом должен воспроизводить значение меры с погрешностью, не более суммы основной и дополнительной погрешности, вызванной отличием условий калибровки на скважине от нормальных.

После окончания измерений в скважине проводят *третий – заключительный этап калибровки*. Вновь измеряют рабочим СИ значение воспроизводимой калибратором меры и сравнивают результат с аналогичным, полученным на предыдущем этапе калибровки. Расхождение результатов при стабильной работе аппаратуры не должно превышать допустимых значений.

При использовании встроенных калибраторов контроль стабильности работы аппаратуры может производиться и в процессе измерения в скважине.

Методика выполнения измерения с использованием калибраторов определяется их конструкцией и принципом действия и должна обеспечивать точность калибровки не более 0,3 основной погрешности рабочего средства измерений.

Результаты калибровки документируются, приобщаются к результатам измерения в скважинах и являются обязательным отчетным документом.

### **3. Изучить назначение контрольных скважин**

Стандартные образцы состава и свойств горных пород, калибровочные установки, являясь важнейшей составной частью метрологического обеспечения аппаратуры ГИС, существенно повышают качество информации, получаемой при исследовании скважин. Однако их применение имеет ряд ограничений.

Важнейшими из них являются сложность конструктивного исполнения, необходимость множества физических моделей пластов, широкий диапазон изменения свойств геологического разреза, сложность имитации вещественного состава реальных физических сред, невозможность калибровки геофизических средств измерений в реальных скважинных условиях и при рабочих режимах измерения.

Большинство этих ограничений отсутствует в специальных контрольных скважинах, пластовые условия в которых остаются неизменными в течение установленного периода службы скважины, а дифференциация в разрезе (естественная или искусственно созданная) позволяет стандартизировать показания аппаратуры во всем нормируемом диапазоне измерений.

Проектирование контрольных скважин ведут исходя из того, что конструкция, местоположение и обустройство скважины должны обеспечивать:

- 1) оперативность, удобство и возможность систематического проведения работ по контролю качества геофизических измерений;
- 2) возможность проведения измерений максимальным числом типов аппаратуры электрических, радиоактивных и акустических методов ГИС;
- 3) сохранность, постоянство пластовых условий и технологии измерений в течение заданного времени;
- 4) дифференциацию физических параметров в разрезе не менее 1,5–2 порядков.

При достаточной дифференциации параметров геологического разреза предпочтительна конструкция скважины, в которой при общей глубине 300–500 м сохраняется интервал устойчивого открытого ствола не менее 100–150 м. Такая скважина до глубины 100–150 м обсаживается стальными трубами, далее ствол остается открытым.

В дифференцированных, но неустойчивых разрезах глубина скважины ограничивается 150–200 м и предусматривается крепление неустойчивых интервалов разреза неметаллическими токопроводящими трубами (например, асбоцементными), а остальной части разреза – стальной колонной.

Если в заданном месте заложения контрольной скважины верхняя часть осадочной толщи не дифференцирована по физическим параметрам, целесообразно сооружать скважины такой же глубины (150–200 м) и обсаживать их комбинированными колоннами из различных материалов. Использование в контрольных скважинах комбинированных колонн из различных материалов, а также включение в конструкцию колонн различных имитаторов позволяют существенно расширить дифференциацию параметров геологического разреза.

На рис. 11.8 представлена конструкция одной из контрольных скважин, относящаяся к третьему типу с недостаточной дифференциацией параметров разреза. Для увеличения степени дифференциации свойств пластов естественного разреза в скважине использованы имитаторы физических свойств горных пород. Верхняя часть скважины до 50 м обсажена кондуктором – стальной трубой диаметром 219 мм.

С целью увеличения степени дифференциации естественного разреза скважина обсажена комбинированной колонной, состоящей из ряда имитаторов физических свойств разреза. В качестве имитатора пластов с различной электропроводностью используются стеклопластиковые трубы, перфорированные с различной плотностью, перфорационные отверстия заглушены латунными пробками. Для аппаратуры индукционного метода в качестве имитатора проводимости использовано несколько витков медного провода, замкнутых на резистор. Водородосодержание имитируется воздушным зазором, образованным коаксиально расположенными трубами различного диаметра. Для контроля приборов акустиче-

ских исследований скважин используется часть незацементированной колонны.

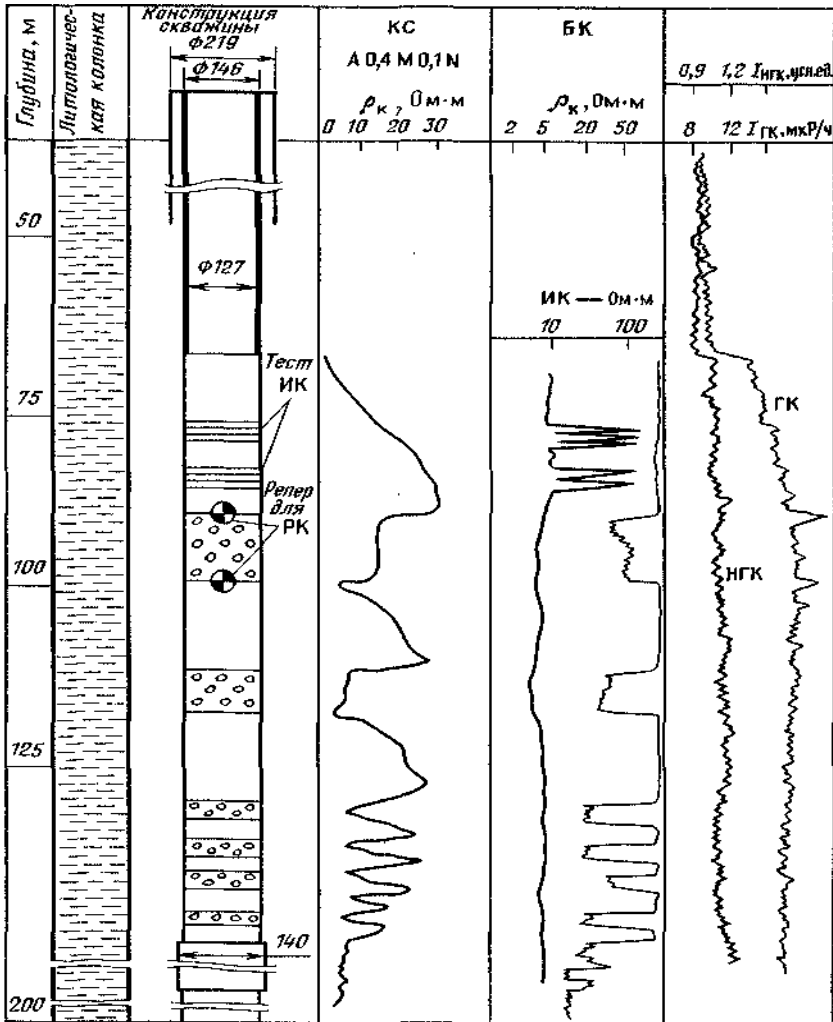


Рис. 11.8. Контрольная скважина с имитаторами физических свойств

Анализ диаграммного материала, полученного в контрольной скважине, показывает, что полученная искусственным путем диф-

ференциация достаточна для оценки сходимости и воспроизводимости аппаратуры большинства методов.

Контрольные скважины, как правило, оснащаются вышками, спускоподъемным оборудованием, источниками питания, наземными панелями и регистраторами для выполнения измерений скважинкой аппаратурой.

Погрешности результатов измерений геофизических параметров в контрольной скважине определяются по отклонениям измеренных значений от аттестованного значения в данной точке разреза.

Аттестация действительных (истинных) значений геофизических параметров по разрезу скважины может, осуществляться двумя способами:

- 1) передачей единиц измерения физических величин от стандартных образцов с помощью высокоточных образцовых скважинных приборов;
- 2) статистическим способом путем усреднения большого числа повторных измерений, выполненных различными экземплярами серийной аппаратуры.

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

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности Приложение Б.

#### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какие существуют технологические процедуры метрологического обеспечения ГИС
2. Какие существуют стандартные образцы состава и свойств горных пород?
3. Какие калибровочные установки применяются в промышленной геофизике?
4. Какие известны имитаторы физических величин?
5. Дать определение основным технологическим процедурам МО ГИС: градуировка, поверка, калибровка СИ
6. Назначение контрольных скважин?

## 12. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЙ КАРОТАЖНОЙ СТАНЦИИ СКГ

**Цель работы.** Ознакомление с конструктивными особенностями вспомогательного оборудования: геофизического коллектора, датчика глубины, датчика меток глубин, каротажного кабеля, лубрикаторной установки.

### **Формируемые компетенции или их части**

ПСК-2,4 – способность профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование, оргтехнику и средства измерения.

ПСК-2,6 – способность выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях.

### **Теоретическая часть**

Под вспомогательным оборудованием ГИС понимают: геофизический коллектор (рис. 12.1), датчик глубины, датчик меток глубин, каротажный кабель, лубрикаторная установка и другие приборы.

Геофизические коллекторы серии КГ-ЛОТ (КГ-ЛОТ-3/1, КГ-ЛОТ-7/1) предназначены для осуществления электрической связи между скважинными приборами и аппаратурой каротажной станции.

Коллектор КГ-ЛОТ-3/1 позволяет работать с одно- и трехжильными кабелями, коллектор КГ-ЛОТ-7/1 с одно-, трех- и семижильными каротажными кабелями всех типов.

Специальное покрытие кольцевых токопроводящих дорожек в комплексе с серебряно-графитовыми щетками обеспечивают малое сопротивление контактных пар даже при максимальных скоростях вращения в широком диапазоне напряжений и токов, а также позволяют увеличить рабочий ресурс коллекторов.

Изготовление коллекторов из ударопрочной термостойкой пластмассы в полностью герметичном варианте позволяет изделиям работать при температурах от минус 60 °С до плюс 100 °С, давлении от 60 до 120 кПа и влажности до 100 %.

Применение подшипников вращения в совокупности с особенностями конструкции контактных пар обеспечивает момент



вращения не более 0,1 н/м, что значительно повышает надежность узла сопряжения коллекторов.

Конструкции коллекторов КГ-ЛЮТ-3/1 и КГ-ЛЮТ-7/1 полностью идентичны. Отличие заключается только в числе контактных пар и, соответственно, в габаритной длине.

Устройство геофизического коллектора представлено на рис. 12.1.

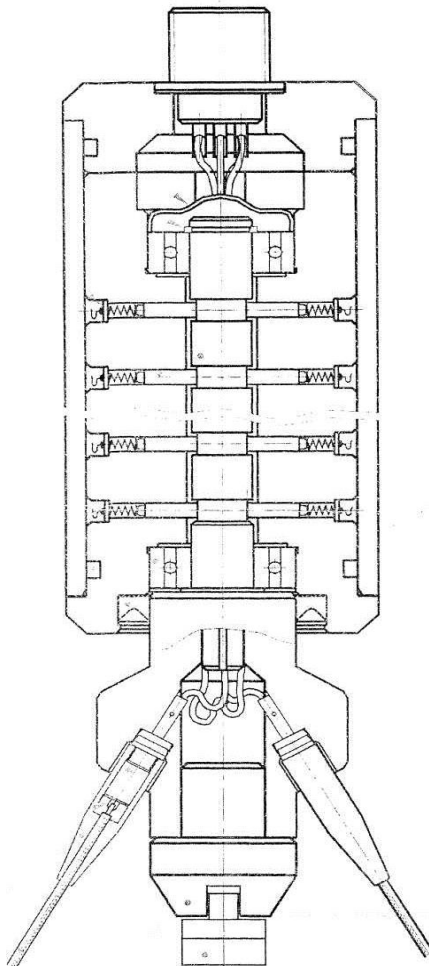


Рис. 12.1. Общий вид геофизического коллектора

Коллектор состоит из четырех составных частей: якоря, корпуса, крышки, изготовленных из ударопрочной термостойкой пластмассы, и металлического кожуха. Якорь свободно вращается в корпусе на подшипниках.

Токопроводящие жилы каротажного кабеля подключаются к коллектору с помощью перьевых контактов и клемм, расположенных в якоре и соединенных проводами с кольцевыми токопроводящими дорожками на валу якоря.

Токопроводящие подпружиненные щетки установлены в пазах корпуса и через шины соединены проводами с контактами разъема, закрепленного в крышке.

Герметичность изделия обеспечивается манжетой, уплотнительными кольцами резиновыми колпачками. Передача вращения на коллектор осуществляется через крестовину.

При необходимости разборку коллектора следует проводить в нижеописанной последовательности:

- снимается коллектор с лебедки;
- отворачиваются винты, крепящие разъем. Вытягивается разъем из корпуса на расстояние, достаточное для того, чтобы отпаять провода;
- снимается крышка, затем снимается кожух с корпуса;
- вытягиваются из корпуса шины с токосъемными щетками и пружинами;
- снимается стопорное кольцо, колпачок и выпрессовывается якорь из корпуса.

**Внимание!** Якорь при разборке не подлежит, так как выполнен неразборным.

При установке коллектора на кронштейне лебедки должна соблюдаться соосность коллектора и вала барабана лебедки (рис. 12.2).

Крестовина, передающая вращение, не должна быть зажата, чтобы исключить осевое давление на якорь коллектора.

При спуске кабеля в скважину следует оставлять на барабане лебедки 5–10 витков неразмотанного кабеля, так как конец кабеля, присоединенного к коллектору через зажимную втулку, не в силах удержать вес кабеля.



Рис. 12.2. Геофизический коллектор КГ-4М

Основным конструктивным отличием данного коллектора от известных является то, что контактные щетки выполнены в виде роликов, вращающихся на осях и контактирующих с подвижными пластинами. Такая конструкция коллекторного устройства позволяет использовать в месте контакта трение качения, что обеспечивает стабильно низкое переходное сопротивление контакта “ролик-пластина”, уменьшает износ деталей и увеличивает срок службы коллектора.

Коллектор содержит герметизированный корпус с установленным в нем неподвижным основанием, в углублении которого находится стержень и пружина. В стержне запрессована ось, на которой вращается ролик. На валу, вращающемся в шарикоподшипниках, закреплено основание с контактной пластиной. Герметизированный корпус заполняется жидким диэлектриком (например, трансформаторным маслом). Коллектор содержит четыре контактных пары, каждая из которых имеет тройное дублирование контакта. Для удобства монтажа и эксплуатации коллектор снабжен штепсельным разъемом. Выводные провода, паяются

непосредственно к пластине и оси и выходят соответственно на ламели, расположенные на валу, и на штепсельный разъем, через который осуществляется передача информации.

В рамках приемо-сдаточных испытаний коллектор проходит прикатку, в результате чего каждый ролик накатывает свою дорожку на пластине, площадь контактирования увеличивается и соответственно уменьшается переходное сопротивление контакта “ролик-платина”. Переходное сопротивление коллектора по каждой контактной паре составляет 0,15 Ом при токе 15 мА. Более того, процесс накатки оптимальной дорожки продолжается и в процессе эксплуатации. Отмечено, что в процессе работы коллектора переходное сопротивление имеет тенденцию к уменьшению.

**Датчик глубин** является устройством передачи перемещения прибора в скважине каротажному регистратору.

Для записи кривых ГИС в функции глубины и контроля спускоподъемными операциями необходимо непрерывно измерять длину спущенного в скважину кабеля или глубину забоя скважины и передавать перемещение кабеля каротажному регистратору. В каротажной станции такие измерения выполняют двумя способами: с помощью мерного ролика и путем считывания магнитных меток. Погрешность первого способа, связанная с проскальзыванием кабеля по мерному ролику и несоответствием расчетного диаметра ролика фактическому диаметру кабеля, в глубоких скважинах достигает  $\pm 5\text{--}10$  м, поэтому результаты измерений используются только для визуального контроля за спускоподъемными операциями. Погрешность измерения глубин по магнитным меткам не превышает  $\pm 1,5$  м в скважинах глубиной 2 км и  $\pm 2,5$  м в скважинах глубиной до 4 км.

Скорость вращения мерного ролика пропорциональна длине прошедшего через него кабеля. Для измерения глубины нахождения скважинного прибора в скважине и протяжки ленты регистратора в функции глубины принято, что один оборот ролика соответствует определенной длине  $L$  кабеля (например, 2 м для бронированных кабелей). Отсюда расчетный радиус  $r$  по дну желоба мерного ролика:

$$r = (L - \pi d_k) / 2\pi, \quad (12.1)$$

где  $d_k$  – диаметр кабеля;  $L$  – длина кабеля.

Для дистанционного переноса вращения мерного ролика на буровой к геофизическим приборам используется сельсиновая синхронная передача. При проведении ГИС сельсин-датчик  $BC$ , помещенный в герметичный корпус датчика глубин, закрепляется на раме блок-баланса и соединяется с валом мерного ролика через редуктор, передаточное отношение которого выбрано таким, чтобы перемещение кабеля на 1 м соответствовало четырем оборотам ротора  $BC$ . Обычно применяются однофазные сельсины. Схема соединения сельсин-датчика  $BC$  с сельсин-приемником  $BE$ , число которых может доходить до шести, показана на рис. 12.3.

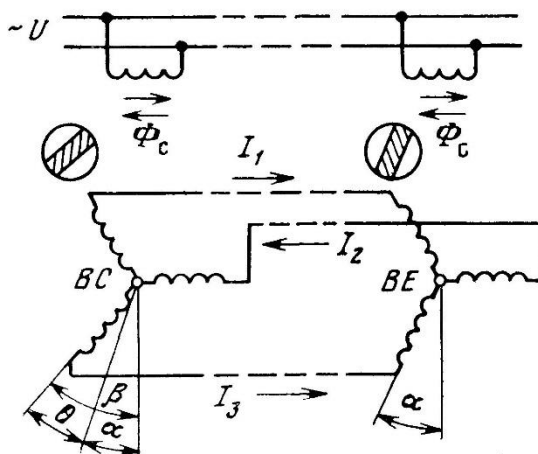


Рис. 12.3. Электрическая схема сельсинной передачи

Переменный ток частотой 50 Гц и напряжением 110 В, пропускаемый через обмотки статоров сельсинов, создает в них пульсирующие магнитные потоки  $\Phi_c$ , направления которых совпадают с направлениями осей обмоток статоров. При этом в обмотках роторов индуцируются ЭДС, величины которых зависят от расположения осей роторных обмоток относительно осей обмоток статоров. Если положения роторов  $BC$  и  $BE$  одинаковы ( $\alpha = \beta$ ), эти ЭДС в соответствующих роторных обмотках равны по величине и противоположны по направлению. При этом уравнительные токи в каждой роторной цепи ( $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$ ) равны нулю.

Если роторы  $BC$  и  $BE$  находятся в различном положении и разность углов их поворота  $\alpha$  и  $\beta$  равны углу  $\theta$ , называемому уг-

лом рассогласования, то ЭДС в обмотках ротора не равны между собой и в роторных цепях возникают уравнивающие токи  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$ . Под действием этих токов в роторах  $BC$  и  $BE$  образуются синхронизирующие моменты, которые стремятся приблизить угол  $\theta$  к нулю. Поскольку ротор  $BC$  связан с мерным роликом, находящимся под большой нагрузкой, ротор  $BE$  будет стремиться к положению, аналогичному положению ротора  $BC$ . Практически вследствие имеющейся на роторе  $BE$  нагрузки, существенно меньшей нагрузки  $BC$ , между положениями роторов постоянно сохраняется небольшой угол рассогласования  $\theta$ , при котором синхронизирующий момент уравновешивается моментом нагрузки  $BE$ .

Зависимость статического синхронизирующего момента  $M_c$  от угла рассогласования  $\theta$  имеет вид:

$$M_c = M_{\max} \sin \theta, \quad (12.2)$$

где  $M_{\max}$  – максимальный синхронизирующий момент (при  $\theta=90^\circ$ ).

Динамический синхронизирующий момент  $M_d$ , возникающий при вращении сельсина, отличается от статического момента  $M_c$  и определяется зависимостью:

$$M_d = M_c \cos \pi n / 2n_c = M_{\max} \sin \theta \cos \pi n / 2n_c, \quad (12.3)$$

где  $n$  – частота вращения ротора 50 об/с;  $n_c$  – синхронная частота вращения ротора 50 об/с.

Из формулы 12.2 следует, что при приближении частоты  $n$  к  $n_c$  момент  $M_d$  стремится к нулю. Если  $n > n_c$ , момент  $M_d$  меняет знак и  $BE$  начинает вращаться в сторону, противоположную направлению вращения  $BC$ . Практически при ГИС может учитываться только статический синхронизирующий момент  $M_c$ , так как даже при максимальных скоростях (0, 3 м/с) перемещение кабеля равно 1,2 об/с, а  $n/n_c < 0,15$ . При этом  $\cos \pi n / 2n_c \approx 1$  и  $M_d \approx M_c$ , т. е. влиянием частоты вращения сельсина на его синхронизирующий момент можно пренебречь.

Автосинхронная (или сельсинная) передача представляет собой электрическую дистанционную синхронизированную передачу, состоящую из двух идентичных соединяемых между собой электрических механизмов – датчика и приемника.

Датчик сельсинной передачи установлен в герметичном цилиндрическом корпусе, который при помощи направляющей и установочного винта крепится к «щеке» блок-баланса. Шестерня датчика сельсинной передачи соединяется с шестерней, закреп-

ленной на ступице ролика блок-баланса. Ток к сельсину подводится при помощи соединительной двенадцатиконтактной соединительной муфты, пять клемм которой соединяют обмотки статора и ротора датчика, три клеммы – меткоуловитель, две клеммы – сигнальную кнопку «Метка».

При передаче движения ролика блок-баланса лентопротяжным механизмам регистрирующих устройств в прорези «щеки» блок-баланса устанавливается редуктор блок-баланса, второй конец которого присоединяется к лентопротяжному механизму регистрирующего прибора с помощью сельсин передачи.

**Датчик меток глубин** используется для считывания магнитных меток, нанесенных на каротажный кабель.

Магнитный меткоуловитель ДМГ-1 представляет собой магнитомодуляционный датчик (рис. 12.4), сигнал которого при прохождении магнитной метки не зависит от скорости перемещения кабеля. Меткоуловитель состоит из **двух параллельно расположенных пермалловых стержней с уложенными на них первичными обмотками возбуждения I**, питаемыми переменным током частотой 50 Гц и напряжением 110 В. Вокруг обеих стержней уложена вторичная измерительная обмотка II. Обмотки возбуждения на каждом из стержней намотаны встречно и поэтому их внешнее магнитное поле компенсируется и не создает ЭДС в измерительной катушке.

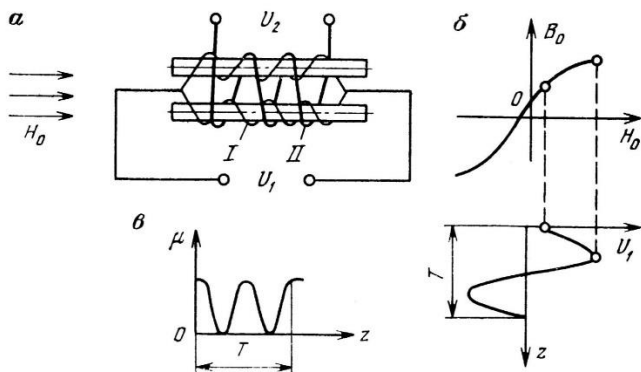


Рис. 12.4. Схема магнитомодуляционного меткоуловителя (а), характеристика  $B_0 = f(H_0)$  (б), кривая изменения магнитной проницаемости пермалловых стержней (в)

При прохождении магнитной метки мимо меткоуловителя возникает магнитное поле напряженностью  $H_0$ , направление которого совпадает с направлением осей пермалловых стержней. При этом в измерительной обмотке II под влиянием магнитного потока возникает напряжение  $U_2$ , зависящее от магнитной индукции  $B_0$  пермалловых стержней меткоуловителя. Так как  $B_0 = \mu H_0$  ( $\mu$  – магнитная проницаемость стержней), напряжение  $U_2$  оказывается зависимым от магнитной проницаемости пермалловых стержней.

При питании обмотки возбуждения I переменным током магнитная проницаемость стержней меткоуловителя не остается постоянной. Напряжение  $U_1$  меняется по закону  $U_1 = U \sin \omega t$ . Так как пермаллой насыщается в относительно слабых магнитных полях, угол наклона характеристики  $B_0 = f(H_0)$  магнитной индукции в стержне меткоуловителя (рисунок 12.4) уже при малых значениях  $U_1$  станет близким к нулю и магнитная индукция  $B_0$  будет оставаться практически постоянной даже при изменении напряженности  $H_0$ . При этом величина магнитной проницаемости падает от максимальной почти до нуля. Вследствие того, что магнитная проницаемость не меняется по знаку, за период  $T$  изменения напряжения  $U_1$  пройдут два периода изменения  $\mu$ .

Напряжение  $U_2$  в измерительной обмотке меткоуловителя меняется по закону:

$$U_2 = K H_0 \sin 2\omega t, \quad (12.4)$$

где  $U_2$  – напряжение в измерительной обмотке меткоуловителя;  $K$  – коэффициент, зависящий от конструкции меткоуловителя;  $H_0$  – напряженность магнитного поля;  $\omega t$  – круговая частота.

Из выражения 12.4 следует, что сигнал  $U_2$ , идущий с меткоуловителя, не зависит от скорости перемещения кабеля и такой меткоуловитель работает при любых режимах измерений. Сигнал поступает на унифицированное электронное устройство, усиливающее его и выдающее управляемый сигнал на нанесение метки на диаграмме каротажного регистратора.

Для определения местоположения прибора в скважине используются магнитные метки. Магнитные метки наносятся на броню кабеля путем намагничивания отдельных участков на заранее промеренных его длинах. Эти места фиксируются четкими аномалиями. Меньшие аномалии фиксируют замки и муфты труб.



Для нанесения магнитных меток на кабель и их стирания предусмотрены специальные магнитные головки. Головка нанесения меток питается постоянным током и, следовательно, с ее помощью создается поле постоянного магнита. Головка стирания меток создает поле переменного магнита и питается переменным током.

Датчик магнитных меток (или размагничивающее и намагничивающее устройство) смонтирован на отдельном кронштейне, который с помощью двух фасонных роликов навешивается на кабель, и двух щек с ушками и защелками – на ось мерного ролика. Такой способ крепления повышает надежность фиксации магнитных меток за счет сохранения постоянного расстояния между кабелем и магнитным зондом датчика во время колебания кабеля или незначительного его натяжения. Момент прохождения метки мимо датчика отмечается прибором, смонтированным в кузове станции на передней панели блока контроля каротажа.

При опускании размеченного таким образом кабеля в скважину магнитные метки воздействуют на магнитный меткоуловитель. Он состоит из двух сердечников, набранных из пластин 45 % пермаллоя. Действие меткоуловителя подобно действию магнитного усилителя с удвоением частоты с той разницей, что постоянный поток, создается не управляющей обмоткой, а магнитным полем метки на кабеле.

### **Силовые устройства каротажных станций**

Автоматические каротажные и газокаротажные станции получают питание от сети переменного тока напряжением 220 или 380 В, частотой 50 Гц или от автономного бензоэлектрического агрегата переменного тока. Последний прилагается всем АГКС и поставляется автономно для каротажных станций.

Бензоэлектрические агрегаты АБ-4-0/230 для АГКС и АБ-2-0/230 для АКС представляют собой бензиновый двигатель, спаренный с однофазным генератором переменного тока. Агрегаты позволяют получить ток частотой 50 Гц, напряжением 230 В, номинальной мощностью 4 и 2 кВт соответственно. Частота и напряжение стабилизируются в пределах 2 %. Агрегаты имеют панель с аппаратурой пуска, регулирования напряжения и измерительными приборами для контроля тока, напряжения и частоты генератора. Недостатки агрегатов заключаются в ограниченном ресурсе работы и большом потреблении бензина.

Подключение АГКС к промышленной сети или бензоэлектрическому агрегату осуществляется через специальный силовой блок, а АКС – через унифицированный источник питания УИП-К, входящий в станцию. УИП-К состоит из двух основных блоков – силового, установленного в отдельном каркасе, и стабилизированного – в силовой стойке лаборатории, и обеспечивает питание необходимыми напряжениями постоянного и переменного тока наземную аппаратуру АКС и работающие с ней СП. Силовой блок включает в себя четыре трансформатора и лицевую панель с переключателями и предохранителями.

Стабилизированный блок в свою очередь состоит из трех функциональных узлов: блока стабилизатора напряжения 20–300 В при выходном токе от 40–800 мА; блока стабилизатора тока силой 50–400 мА при нагрузке 200–1000 Ом и блока четырех маломощных стабилизаторов напряжения 150 В, обеспечивающих выходные токи силой от 7 до 80 мА. Источник питания УИП-К выдает также выпрямленные нестабилизированные напряжения 720, 850 и 930 В при токах нагрузки от 100 до 600 мА и нестабилизированные переменные напряжения 6,3; 12; 36; 110 и 220 В, используемые для питания отдельных узлов и вспомогательного оборудования АКС.

Скважинные приборы питаются синусоидальным напряжением от унифицированного генератора УГ-1, размещенного в силовой стойке станции. Генератор работает на фиксированных частотах 300 и 400 Гц и на частотах, плавно регулируемых в пределах 360–440 и 1800–2200 Гц. Стабильность частоты не хуже  $\pm 1\%$  при колебаниях напряжения питающей сети в пределах  $\pm 10\%$ ; стабильность выходного напряжения в диапазоне 200–350 В не хуже  $\pm 8\%$ ; ток на выходе генератора регулируется в пределах 0–1,5 А. Генератор УГ-1 питается от унифицированного источника УИП-К.

#### **Датчик натяжения кабеля**

Контроль за натяжением кабеля в процессе СПО осуществляется датчиками натяжения, закрепляемыми между крюком буровой лебедки и подвесным роликом. Основу датчика ДНТ-033 составляют два полупроводниковых тензорезистора, наклеенных на стальной упругий стержень вдоль и перпендикулярно к его оси (рис. 12.5). Стержень закреплен в стальных жестких пробках, собственное положение которых обеспечивается корпусом. На верх-

ний конец корпуса навинчена проушина для соединения с опорой и корпусом подвесного ролика. Полость внутри корпуса герметизирована уплотнительными кольцами.

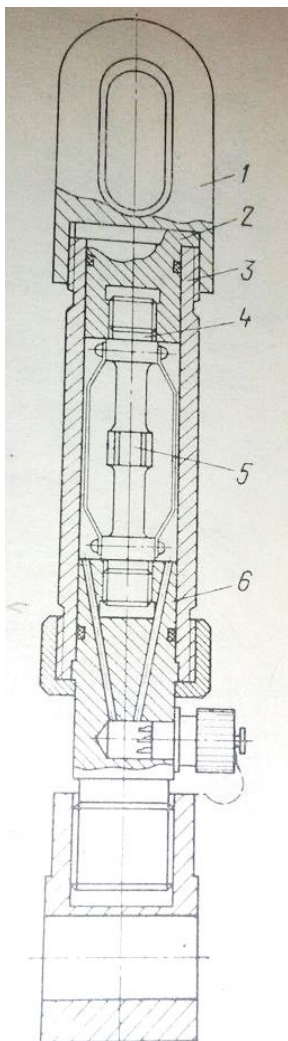


Рис. 12.5. Датчик натяжения кабеля: 1 – проушина; 2 и 6 – пробка; 3 – корпус; 4 – стержень; 5 – тензорезистор

С помощью тензорезисторов механическая деформация стержня, пропорциональная натяжению кабеля, преобразуется в электрические сигналы. Для этого тензорезисторы включены в мостовую схему, два других плеча которой размещены в пульте подъемника. Под действием растягивающей нагрузки тензорезистор, наклеенный вдоль оси стержня, деформируется и изменяет свое сопротивление; сопротивление второго тензорезистора остается неизменным. В результате мост разбалансируется и в измерительной диагонали потечет ток, пропорциональный приложенной нагрузке. Датчик ДНТ-033 имеет два предела измерений: 0–25 и 0–50 кН.

**Лубрикатор скважинный** предназначен для герметизации устья скважины при спуске в нее глубинных приборов или инструментов на канатной проволоке или кабеле.

Лубрикатор (рис. 12.6) представляет из себя трубу необходимой длины с герметизирующим устройством из нескольких рядов сальников, краном для вытравливания давления и фланцем для крепления на фонтанной арматуре. Спуск приборов осуществляется на канатной проволоке или кабеле. В лубрикаторе применено двухступенчатое сальниковое уплотнение с возможностью замены рабочего сальника под давлением. Имеется устройство для контроля давления и слива продукта.



Рис. 12.6. Лубрикаторная установка

Действующие скважины с повышенным давлением на устье исследуются с помощью лубрикатора, обеспечивающего спуск и

подъем прибора без разгерметизации устья. Лубрикаторы могут быть стационарными (рис. 12.7а) или установленными на передвижной вышке (рис. 12.7б). При больших давлениях на устье приборы снабжают грузами.

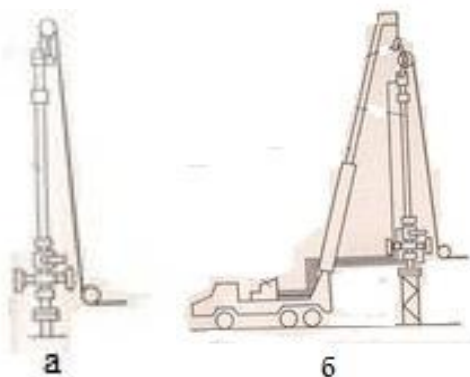


Рис. 12.7. Разновидности лубрикаторных установок: а – стационарный лубрикатор, б – лубрикатор, установленный на передвижной вышке

Лубрикатор Л-7/50 состоит из шлюзового отсека длиной 4000 мм, представляющего собой две герметично свинченных между собой трубы; контактного уплотнителя и проталкивателя кабеля. В контактном уплотнителе применены резиновые элементы, обжимаемые гидравлическим способом. Проталкиватель кабеля представляет собой систему роликов, плотно прижимаемых к кабелю и вращающихся с помощью ручного привода. Лубрикатор удерживается в горизонтальном состоянии с помощью оттяжек, крепящихся к фонтанной арматуре. Управление уплотнителем кабеля и проталкивающим устройством осуществляется дистанционно. Лубрикатор Л-7/50 используется при работах на скважинах с давлением на устье до 7 МПа и позволяет осуществлять спуско-подъемы приборов с грузами общей длиной до 4200 мм.

Лубрикаторное оборудование Л-210 и оборудование герметизации устья ОУВ-80Х35 имеют практически одинаковое устройство и отличаются друг от друга лишь по параметрам насосных установок. В состав оборудования входят: собственно, лубрикатор (в Л-210 длиной до 10 000 мм, в ОУВ-80Х35 – до 15 000 мм); комбинированный уплотнитель, сочетающий гидродинамический

принцип герметизации кабеля с контактным; станция управления с насосом подачи густой смазки и системой напорных отводных шлангов; кабельный превентор.

### **Порядок работы лубрикаторных установок**

Лубрикаторы Л-40 и Л-7/50 монтируются на устье скважины вручную, и работа с ними производится при наличии около устья скважины стандартной рабочей площадки. Спускоподъем приборов на кабеле в скважине обеспечивается посредством системы роликов, при этом направляющий ролик крепится непосредственно на лубрикаторе, а оттяжкой – к основанию фонтанной арматуры. Поскольку при таком способе работы нагрузку несет фонтанная арматура, при исследованиях допускается применение геофизических кабелей с минимальной величиной разрывного усилия (до 30 кН).

Работы с применением лубрикаторного оборудования типа Л-210 и ОВУ-80Х35 производятся на скважинах при наличии на них грузоподъемных механизмов.

При проведении работ в фонтанирующих скважинах для преодоления выталкивающей силы, действующей на кабель применяют грузы, которые подвешивают к прибору или помещают над ним. При газлифтном способе подъема нефти к действию выталкивающей силы, выталкивающей за счет перепада давления, добавляется действие усилий, обусловленных высокой скоростью движения газожидкостной смеси. Величину выталкивающего усилия и, следовательно, массу требуемого груза для ее преодоления можно приблизительно оценить по экспериментальным зависимостям (рис. 12.8).

Лубрикатор состоит из сальниковой головки и герметизатора, приемной камеры, манометра, вентиля манометрического, фланца, ролики (верхний и нижний) (рис. 12.9).

*Сальниковая головка лубрикатора* служит для герметизации устья нефтяных и газовых скважин, находящихся в ремонте и освоении, при промывке их под давлением без демонтажа ротора и головки уплотнительного герметизатора, для исключения утечек нефти между полированным штоком и уплотнением сальника. Через сальниковую головку, может пропускаться геофизический кабель или канатная проволока (рис. 12.10).

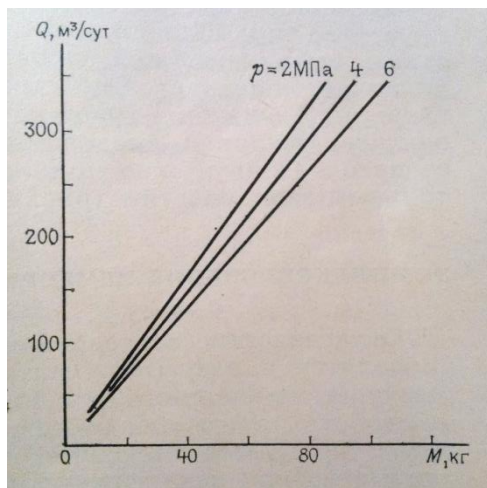


Рис. 12.8. График для определения массы груза  $M$ , необходимой для преодоления выталкивающей силы, действующей на кабель в зависимости от расхода жидкости  $Q$

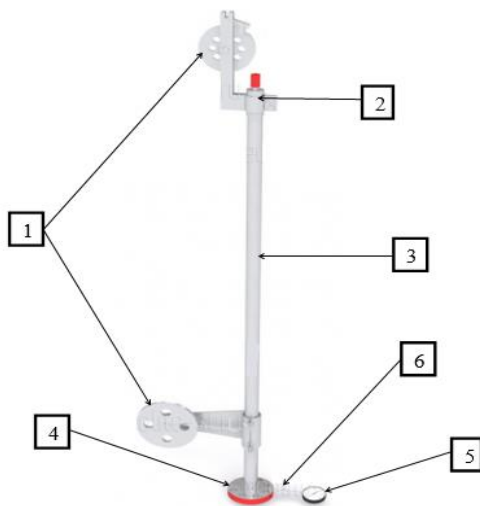


Рис. 12.9. Конструктивные особенности лубрикаторной установки: 1 – ролики (верхний и нижний), 2 – сальниковая головка, 3 – приемная камера, 4 – фланец, 5 – манометр, 6 – вентиль манометрический

### Герметизатор геофизического кабеля

В зависимости от среды, величины давления на устье скважины, допустимости утечки жидкости, типа используемого кабеля и т.д. могут применяться различные способы герметизации (уплотнения) движущегося геофизического бронированного кабеля. Наиболее распространенными в нефтепромысловой практике являются контактный, дросселирующий (лабиринтный), гидродинамический способы уплотнения и их комбинации (рис. 12.11).

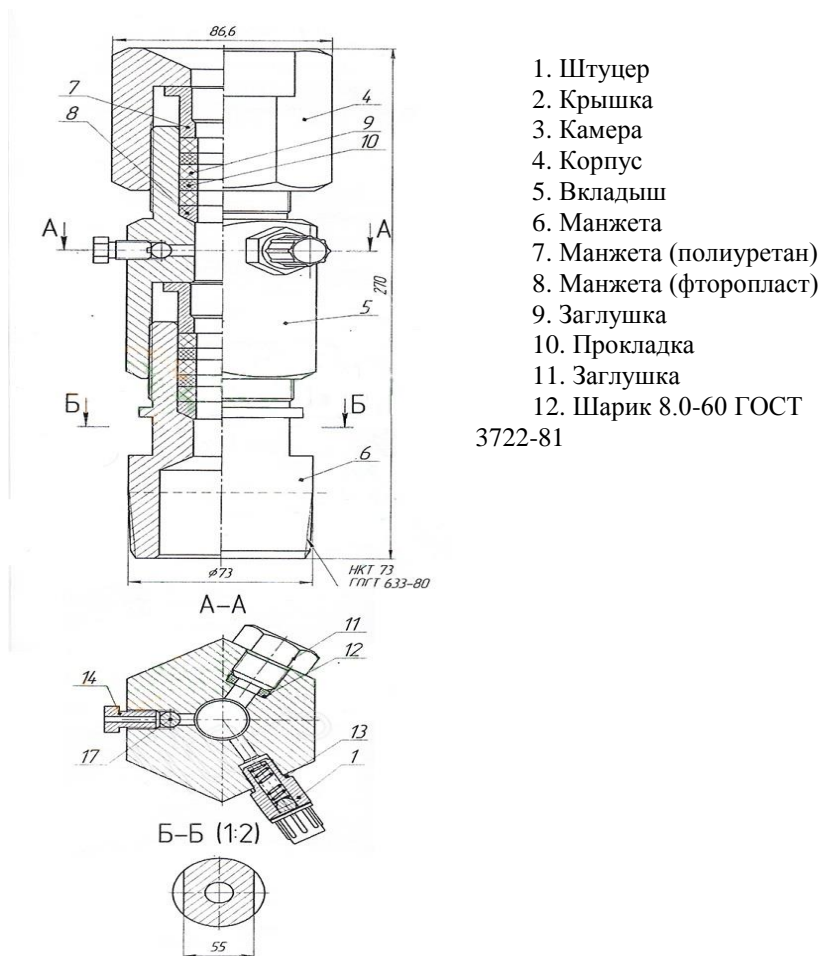


Рис. 12.10. Сальниковая головка

Контактный уплотнитель представляет собой сальниковое устройство, обжимающее геофизический кабель. Обжатие может осуществляться механическим или гидравлическим способом. В качестве материала, изменяющего свой объем при сжатии, наиболее часто применяют резину. Уплотнители такого типа просты по устройству и компактны, что обусловило их наиболее широкое применение на производстве.

Для спуска различных глубинных приборов в скважину используют грузонесущие **кабели**, которые выполняют функции канала связи между прибором и наземной аппаратурой и несут механическую нагрузку (рис. 12.12).





1. Штуцер
2. Крышка
3. Камера
4. Корпус
5. Вкладыш
6. Манжета
7. Манжета (полиуретан)
8. Манжета (фторопласт)
9. Заглушка
10. Прокладка
11. Заглушка
12. Шарик 8.0-60 ГОСТ 3722-81

Рис. 12.11. Герметизатор кабеля

Эти кабели должны обладать достаточной прочностью, гибкостью, иметь низкое электрическое сопротивление токопроводящих жил и хорошую изоляцию, иметь броневое покрытие, обладающее стойкостью в агрессивной среде. Постоянные механические трения о стенки скважины во время спускоподъемных операций требует высокой механической прочности внешней оболочки кабеля. Кабель также должен сохранять свою первоначальную длину в

процессе эксплуатации, а его остаточная деформация не должна превышать расчетную.

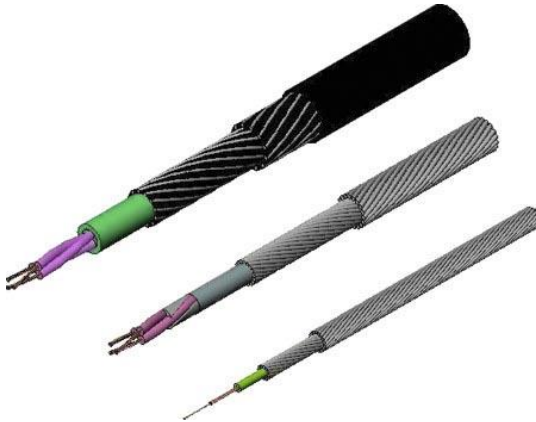


Рис. 12.12. Геофизический кабель

К геофизическим кабелям любого типа предъявляются следующие требования: малое сопротивление токонесущих жил; низкие потери мощности электрической энергии, передаваемой глубинному прибору, высокая разрывная прочность; высокая удельная масса; электрическая симметрия жил; стойкость броневое покрытие к истиранию; тепло- и баростойкость; коррозионная стойкость; минимальные удлинения и раскручивание под нагрузкой; возможно меньший диаметр; долговечность эксплуатации и др.

Кабели всех типов состоят из основных элементов: токопроводящих жил, крученных из стальных и медных проволок и покрытых резиной, полиэтиленовой или фторопластовой изоляцией; внешней оболочки в виде двухслойной проволочной брони.

Каждому типу кабеля присваивается шифр, характеризующий основные элементы конструкции и условия применения. Например, шифр кабеля КГ1-30-180 означает: К – кабель; Г – геофизический; 1 – одножильный; 30 – номинальное разрывное усилие в кН; 180 – максимальная температура окружающей среды при эксплуатации в градусах Цельсия.

### Элементы скважинных приборов

Основные элементы скважинных приборов, позволяющие проводить быстрое подсоединение их к геофизическому кабелю – унифицированные приборные и кабельные наконечники (рис. 12.13).



Рис. 12.13. Унифицированные приборные и кабельные наконечники

Охранный кожух предохраняет схему прибора от попадания влаги, нарушения электрической изоляции и смятия самого прибора под действием высокого внешнего давления. Герметизация соединений охранного кожуха с приборными наконечниками осуществляется с помощью резиновых колец круглого поперечного сечения. Эти кольца устанавливаются в канавки на цилиндрической части приборного наконечника и уплотняются сначала в процессе свинчивания его с корпусом прибора и в дальнейшем по мере увеличения гидростатического давления в скважине.

Верхний наконечник прибора через кабельную головку и кабель соединяет схему прибора с наземной частью аппаратуры, к нижнему наконечнику может быть подсоединен другой прибор или дополнительный груз.

### Ремонт кабеля. Признаки утечек в кабеле

Одним из основных условий получения точных результатов геофизических исследований в скважинах является высококачественная изоляция жил кабеля. Качество изоляции характеризуется электрическим сопротивлением между жилой и «землей». При

нарушении изоляции жил (появления утечки) разность потенциалов  $\Delta U$  отличается (нередко весьма значительно) от разности потенциалов при высококачественной изоляции жил. Измерения можно производить только в том случае, когда жилы кабеля имеют вполне удовлетворительную изоляцию. Поэтому за ее состоянием необходимо внимательно следить.

Важнейшими признаками утечек в кабеле в процессе измерений в скважинах являются:

1) значительные искажения или сомнительные результаты регистрируемых величин;

2) отсутствие повторяемости кривых при каротаже, электротермометрии, кавернометрии и т. п., а также данных кривизны и азимута при инклинометрических измерениях;

3) незакономерные колебания и резкие скачки величины КС и ПС, измеряемых как при движении кабеля, так и во время его остановок;

4) смещение нулевой линии кривой кажущегося сопротивления (КС);

5) наличие заметных величин КС, когда коротажный зонд находится в колонне;

6) отрицательное КС, т. е. изменение знака измеряемой  $\Delta V$  без перемены полярности в цепи тока.

Для выявления утечек в кабеле при указанных выше признаках кабель отсоединяют от других цепей (приборов, зонда, коллектора) и измеряют сопротивление изоляции жил обычно мегомметром М-1101, создающим напряжение до 500 В, или потенциометром ЭП-1 (рис. 12.14).

При этом нельзя включать потенциометр между «землей» (оплеткой кабеля) и батареей, так как он отметит ток утечки из батареи на «землю» и результат замера будет неверен.

Иногда для предохранения рамки гальванометра от перегрева током утечки (в случае большой утечки) следует включить последовательно с ним предохранительное сопротивление (не менее 10 тыс. Ом) (рис. 12.15).



Рис. 12.14. Внешний вид мегомметра

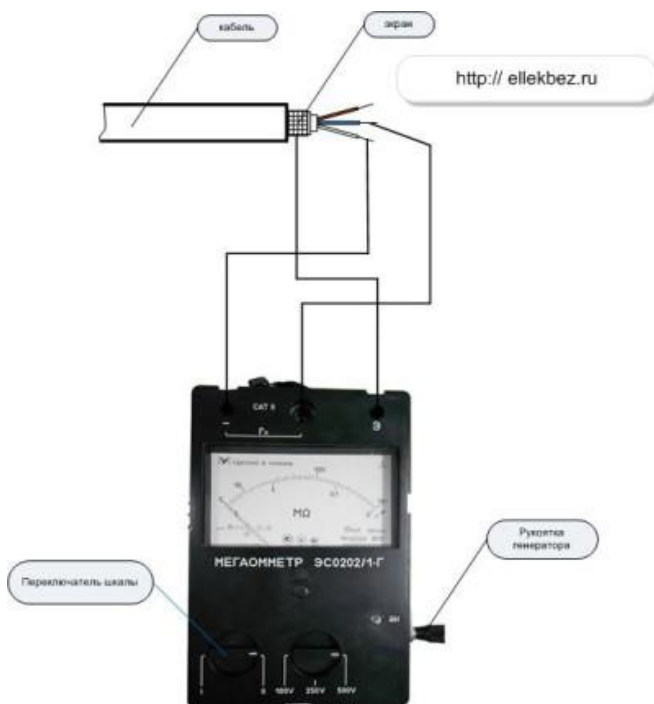


Рис. 12.15. Схема проверки изоляции жил кабеля

### Оборудование и материалы

Работа выполняется в специализированной лаборатории ГИС. Для выполнения работ будут использоваться геофизический коллектор, датчик глубины, датчик меток глубин, каротажный кабель и другие приборы.

### **Указания по технике безопасности**

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности Приложение Б.

### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А.

### **Задания**

1. Изучить назначение и конструктивные особенности геофизического коллектора.
2. Изучить назначение и конструктивные особенности датчика глубины.
3. Изучить назначение и конструктивные особенности датчика меток глубин.
4. Изучить назначение и конструктивные особенности датчика натяжения кабеля.
5. Изучить назначение и конструктивные особенности скважинной лубрикаторной установки.
6. Изучить типы грузонесущих кабелей.
7. Изучить основные элементы скважинных приборов.
8. Изучить признаки утечки тока в кабеле и технологию ремонта кабеля.

### **Контрольные вопросы**

1. Назначение и конструктивные особенности геофизического коллектора.
2. Назначение и конструктивные особенности датчика глубины.
3. Назначение и конструктивные особенности датчика меток глубин.
4. Назначение и конструктивные особенности датчика натяжения кабеля.
5. Назначение и конструктивные особенности скважинной лубрикаторной установки.
6. Типы грузонесущих кабелей.
7. Основные элементы скважинных приборов.
8. Признаки утечки тока в кабеле и технологию ремонта кабеля.

## Приложение А

### Требования к оформлению отчета по выполнению лабораторных работ

Отчет должен содержать следующие элементы:

Титульный лист

Цель работы

Теоретическая часть

Задание

Порядок выполнения работы

Вывод

### Образец титульного листа

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Северо-Кавказский федеральный университет»

Кафедра «Геофизические методы поисков  
и разведки месторождений полезных ископаемых»

Отчет по лабораторной работе №

\_\_\_\_\_

название работы

Вариант №

Выполнил студент группы \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ф.И.О.

Проверил преподаватель

\_\_\_\_\_

Ф.И.О.

**Цель работы:** приводится формулировка цели лабораторной работы. Формулировки цели для каждой лабораторной работы приведены в методических указаниях.

**Теоретическая часть:** приводятся теоретические сведения, необходимые для выполнения соответствующей лабораторной работы. Например, описываются различные методы решения того или иного класса задач и пр., т. е. все сведения, которые могут помочь во время защиты лабораторной работы.

**Используемые программные продукты:** перечисляются использованные в работе программы.

**Исходные данные:** исходные данные приводятся в виде табличных данных, скан-образов карт и т.п.

**Задание:** приводится описание задания в соответствии с выданным вариантом.

**Порядок выполнения работы:** описываются последовательно этапы выполнения работы с указанием результатов.

**Вывод:** Кратко описываются итоги проделанной работы, и приводится анализ полученных результатов.

### Параметры форматирования

Текст работы должен быть напечатан через 1,5 интервала на одной стороне стандартного листа белой бумаги (А4).

Текст и другие отпечатанные элементы работы должны быть черными, контуры букв и знаков – четкими, без ореола и затенения.

Шрифт Times New Roman, размер шрифта 14.

Названия глав и параграфов выделяются полужирным шрифтом.

Лист с текстом должен иметь поля: слева – 30 мм, справа – 10 мм, сверху – 20 мм, снизу – 20 мм.

Необходимо различать в тексте **дефис** (-) (например, корреляционно-регрессионный) и **тире** (–) (Alt + 0150).

Нумерация рисунков, таблиц и формул должна соотноситься с номером лабораторной работы. Например, в лабораторной работе 1 таблицы и рисунки нумеруются так: Таблица 1.1, Рисунок 1.1, (1.1) и так далее.

**Рисунки** должны быть оформлены с учетом особенности черно-белой печати (рекомендуется использовать в качестве заливки различные виды штриховки и узоры, в графиках различные виды



линий – пунктирные, сплошные и т. д., разное оформление точек, по которым строится график – кружочки, квадраты, ромбы, треугольники).

Рисунки нумеруются снизу (Рисунок 1.1 – Название).

Надписи на рисунках должны читаться.

Рисунки должны читаться отдельно от текста, поэтому оси должны иметь название и единицы измерения;

**Таблицы** должны иметь название. Таблицы нумеруются сверху (Таблица 1.1 – Название).

**Формулы** выполняются в программе редактор формул **MathType**; выравниваются по центру, их номера ставятся при помощи табулятора в круглых скобках по правому краю. Допускается выполнение формул и уравнений рукописным способом черными чернилами.

**Заголовки** должны быть выделены относительно основного текста, например, выполнены в полужирном стиле.

**Страницы** нумеруются арабскими цифрами. Номер страницы ставится в центре нижней части листа без точки. Титульный лист включается в общую нумерацию, номер на нем не ставится.

## Приложение Б

### ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Аудитория, где проводятся занятия по дисциплине «Аппаратура ГИС» должна отвечать гигиеническим требованиям, нормам охраны труда и правилам техники безопасности.

Аудитория должна быть оборудована специализированными аппаратами и приборами.

Наименьшая освещенность должна быть: при люминесцентных лампах – 300 лк. (20 Вт 1 кв. м), при лампе накаливания – 150 лк. (48 Вт/кв. м).

Электроизмерительные приборы, органы управления должны быть целы и исправны.

В кабинете должны быть:

– инструмент с изолированными ручками, который испытывается один раз в год:

– указатель напряжения, который испытывается один раз в год;

Учащейся перед выполнением лабораторной практики обязан внимательно изучить содержание и порядок проведения лабораторной работы или лабораторного практикума, а также безопасные приемы ее выполнения.

**В аудитории запрещается включать приборы, не изучив инструкцию по эксплуатации.**

В аудитории запрещается также: приборы с содержанием ртути, генераторы УВЧ, индукционные катушки, приборы для демонстрации электроискровой обработки металлов, выпрямители, катушки Томсона, фотореле на фотоспротивлениях, электронагревательные приборы с открытой спиралью на напряжение переменного тока более 42 В.

Пребывание учащихся в лаборатории запрещается или только в присутствии преподавателя.

Для обеспечения надлежащей естественной освещенности нельзя расставлять на подоконниках цветы. Стекла окон должны очищаться от пыли и грязи не реже двух раз в год. К этой работе привлекать учащихся запрещается.

Согласно существующим санитарным нормам световой поток солнечного света должен падать с левой стороны от учащихся; наименьшая общая искусственная освещенность горизонтальных поверхностей на уровне 0,8 м от пола должна быть для учебных кабинетов не ниже 150 лк при лампах накаливания.

Категорически запрещено включать без нагрузки скважинные приборы, выпрямители и не делать переключений в схемах при включенном питании.

Не оставлять без надзора включенные в сеть электрические устройства и приборы.

При обнаружении неисправности в работе электрических устройств, немедленно прекратить работу и отключить источник электропитания. Работу продолжать только после устранения неисправности.

При коротком замыкании в электрических устройствах и их загорании, немедленно отключить их от сети, эвакуировать обучающихся из кабинета, сообщить о пожаре в ближайшую пожарную часть и приступить к тушению очага возгорания порошковым огнетушителем или песком.

В случае, если разбилась лабораторная посуда или приборы из стекла, не собирать их осколки незащищенными руками, а использовать для этой цели щетку и совок.

При получении травмы оказать первую помощь пострадавшему, сообщить об этом администрации учреждения, при необходимости отправить пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение.

При проведении лабораторных работ и лабораторного практикума по дисциплине возможно воздействие на учащихся следующих опасных и вредных производственных факторов:

- термические ожоги при нагревании жидкостей и различных физических тел;
- порезы рук при небрежном обращении с лабораторной посудой и приборами из стекла;
- поражение электрическим током при работе с электроустановками;
- возникновение пожара.

О каждом несчастном случае пострадавший или очевидец несчастного случая обязан немедленно сообщить зав. кафедрой.

При неисправности оборудования, приспособлений и инструмента прекратить работу и сообщить об этом преподавателю.

### **Требования безопасности во время работы**

В процессе работы учащиеся должны соблюдать порядок проведения лабораторных работ и лабораторного практикума, правила личной гигиены, содержать в чистоте рабочее место.

Учащиеся, допустившие невыполнение или нарушение инструкции по охране труда, привлекаются к ответственности, со всеми учащимися проводится внеплановый инструктаж по охране труда.

Подготовить к работе рабочее место, убрать посторонние предметы. Приборы и оборудование разместить таким образом, чтобы исключить их падение и опрокидывание.

Проверить исправность оборудования, приборов, целостность лабораторной посуды и приборов из стекла.

Точно выполнять все указания преподавателя при проведении лабораторной работы или лабораторного практикума, без его разрешения не выполнять самостоятельно никаких работ.

При работе со спиртовкой беречь одежду и волосы от воспламенения, не зажигать одну спиртовку от другой, не извлекать из горящей спиртовки горелку с фитилем, не задувать пламя спиртовки ртом, а гасить его, накрывая специальным колпачком.

При нагревании жидкости в пробирке или колбе использовать специальные держатели (штативы), отверстие пробирки или горлышко колбы не направлять на себя и на своих товарищей.

Во избежание ожогов, жидкость и другие физические тела нагревать не выше 60–70 °С, не брать их незащищенными руками.

Соблюдать осторожность при обращении с приборами из стекла и лабораторной посудой, не бросать, не ронять и не ударять их.

Следить за исправностью всех креплений в приборах и приспособлениях, не прикасаться и не наклоняться близко к вращающимся и движущимся частям машин и механизмов.

При сборке электрической схемы использовать провода с наконечниками, без видимых повреждений изоляции, избегать пересечений проводов, источник света подключать в последнюю очередь.

Собранную электрическую схему включать под напряжением только после проверки ее преподавателем или лаборантом.

Не прикасаться к находящимся под напряжением элементам электрической цепи, к корпусам стационарного электрооборудования, к зажимам конденсаторов, не производить переключений в цепях до отключения источника тока.

Наличие напряжения в электрической цепи проверять только приборами.

Не допускать предельных нагрузок измерительных приборов.

Не оставлять без надзора не выключенные электрические устройства и приборы.

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Лукьянов Э. Е. Геолого-технологические исследования и геофизические исследования в процессе бурения. Новосибирск: Изд. дом «Историческое наследие Сибири», 2009. 752 с.
2. Лукьянов Э. Е. Информационно-измерительные системы геолого-технологических и геофизических исследований в процессе бурения. Новосибирск: Изд. дом «Историческое наследие Сибири», 2010. – 816 с.
3. Геофизические исследования скважин: учебное пособие для вуза / В. М. Добрынин, Б. Ю. Вендельштейн, Р. А. Резванов, А. Н. Африкян; под ред. В. М. Добрынина. РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина. М.: Нефть и газ, 2004. 400 с.
4. Стрельченко В. В. Геофизические исследования скважин: учебник. М.: Недра, 2008. 551 с.
5. Геофизический и гидродинамический контроль разработки месторождений углеводородов / А. И. Ипатов, М. И. Кременецкий. Ижевск: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. 780 с.

### Дополнительная

1. Скважинные геофизические информационно-измерительные системы: учебное пособие для вуза / В. Н. Широков, Е. М. Митюшин, В. Д. Неретин, Э. Е. Лукьянов, Д. В. Белоконь. М.: Недра, 1996. 317 с.
2. Шнурман И. Г. Изучение терригенных коллекторов Предкавказья по результатам геофизических исследований скважин. Краснодар: Просвещение – Юг, 2003. 397 с.
3. Скважинные геофизические информационно-измерительные системы: учебное пособие для вуза / В. Н. Широков, Е. М. Митюшин, В. Д. Неретин, Э. Е. Лукьянов, Д. В. Белоконь. М.: Недра, 1996. 317 с.
4. Геофизические методы исследования скважин: справочник геофизика / под ред. В. М. Запорожца. М.: Недра, 1983.
5. Применение геофизических методов в процессе эксплуатации скважин: учебное пособие / В. Н. Моисеев. М.: Недра, 1990. 240 с.

### **Методическая**

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине "Аппаратура геофизических исследований скважин" для студентов специальности 130202 "Геофизические методы исследования скважин" / сост.: Керимов А-Г. Г., Бекетов С. Б.; рец. Ставрополь: СевКавГТУ, 2006. 56 с.

Учебное издание

АППАРАТУРА  
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
СКВАЖИН

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Авторы-составители:  
Керимов Абдул-Гапур Гусейнович,  
Бекетов Сергей Борисович,  
Сторчак Екатерина Викторовна

Технический редактор и компьютерная верстка Н. Неговора

---

Подписано в печать 26.03.2018

Формат 60x84 1/16  
Бумага офсетная

Усл. п. л. 12,15  
Заказ 250

Уч.-изд. л. 11,69  
Тираж 25 экз.

---

Отпечатано в издательско-полиграфическом комплексе  
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»  
355029 г. Ставрополь, пр-т Кулакова, 2