

550.80

П-55

Л. И. ПОМЕРАНЦ  
Д. В. БЕЛОКОНЬ  
В. Ф. КОЗЯР

# АППАРАТУРА И ОБОРУДОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН

СРЕДНЕТЕХНИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ



2004

550.83(075)

П-55

Л. И. ПОМЕРАНЦ  
Д. В. БЕЛОКОНЬ  
В. Ф. КОЗЯР

---

# АППАРАТУРА И ОБОРУДОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН

Под общей редакцией  
Л. И. ПОМЕРАНЦА

*Допущено Управлением кадров  
и учебных заведений Министерства нефтяной  
промышленности в качестве учебника  
для нефтяных техникумов*



МОСКВА „НЕДРА” 1985

---

Померани Л. И., Белоконь Д. В., Козяв В. Ф. Аппаратура и оборудование геофизических методов исследования скважин: Учебник для техникумов. — М.: Недра, 1985. 271 с.

Рассмотрены физические основы, принципы действия, функциональные схемы и конструкции измерительных, обрабатывающих и регистрирующих устройств автоматических каротажных и газокаротажных станций, скважинных приборов для различных методов исследований; спуско-подъемное оборудование каротажных станций, методика проведения измерений. Описаны мини-ЭВМ компьютеризированных автоматических каротажных и газокаротажных станций, экспедиционных вычислительных каротажных мини-центров, комплексные системы исследования скважин в процессе бурения.

Для учащихся нефтяных техникумов по курсу «Аппаратура и оборудование геофизических методов исследования скважин».

Табл. 13, ил. 97, список лит. — 4 назв.

Рецензенты: А. А. Мухер (Министерство нефтяной промышленности), С. М. Врублевский (Ленинградский нефтяной техникум)

При разведке месторождений большинства полезных ископаемых важным этапом является бурение разведочных скважин. На этапе разработки и эксплуатации месторождений нефти и газа проводится бурение эксплуатационных скважин. В период интенсивной разработки нефтяных месторождений бурятся нагнетательные скважины для закачки воды с целью вытеснения нефти из пласта.

Необходимо изучать геологический разрез каждой бурящейся скважины: определять последовательность залегания горных пород, вскрытых скважиной, их литолого-петрофизическую характеристику, наличие в них полезных ископаемых, глубины залегания пластов и т. п. Раньше для решения указанных задач использовались в основном образцы горных пород (керны), отбираемые в процессе бурения скважины, и обломки горных пород (шлам), получающиеся при разбуривании пород и выносимые промывочной жидкостью (ПЖ) на устье скважин. Однако указанные методы не обеспечивали достаточно эффективного изучения разреза скважины. Трудности, возникающие при изучении геологического разреза скважины по керну из-за малого выноса его на поверхность, и значительное замедление бурения при одновременном отборе керна привели к созданию комплекса геофизических методов исследования скважин (ГИС), основанных на измерении различных физических и химических параметров горных пород по стволу скважины. Эти методы получили название промыслово-геофизических исследований (применительно к исследованию нефтяных и газовых скважин), или каротажа.

В настоящее время комплекс и задачи промыслово-геофизических исследований (ПГИ) существенно расширились и включают кроме исследований физических и химических свойств горных пород и нефтегазоносных пластов контроль технического состояния скважин и разработки месторождений, геолого-технологический контроль в процессе бурения с целью его оптимизации, опробование и испытание пластов и отбор образцов пород из стенок скважины.

В данном учебнике рассматриваются физические основы, принципы действия и устройство основных типов аппаратуры и оборудования для ПГИ.

ПГИ проводятся с помощью специальных аппаратурных комплексов или установок. Основной объем ПГИ выполняется каротажными станциями после подъема бурильного инструмента на поверхность в специально запланированные перерывы в бурении. Каротажная станция состоит из следующих основных частей:

а) скважинного прибора (СП) для измерения одного или нескольких физических параметров по стволу скважины; б) кабеля, посредством которого осуществляется спуск СП в скважину, его перемещение вдоль ствола скважины и электрическая связь с наземной аппаратурой; в) спуско-подъемного оборудования для перемещения СП в скважине; г) аппаратуры для регистрации изменения измеряемых параметров по стволу скважины; д) аппаратуры для оперативной обработки получаемой информации; е) вспомогательной аппаратуры для контроля исследований и управления ими.

Часть исследований осуществляется непосредственно в процессе бурения нефтяных и газовых скважин. Первоначально эти исследования сводились только к газовому каротажу и контролю некоторых технологических параметров бурения (механический каротаж). В настоящее время при бурении кроме газового и механического каротажа проводится геолого-технологический контроль. Планируется измерение забойных геофизических и технологических параметров с передачей в наземную аппаратуру информации по бескабельному электрическому каналу связи или с консервацией результатов измерений в автономном скважинном приборе и последующей перезаписью зарегистрированной информации в функции глубины скважины. В ряде случаев газовый каротаж сопровождается отбором шлама с маркировкой его через заданные интервалы глубины скважины и последующим исследованием шлама (каротаж по шламу).

Газовый и механический каротаж, а также каротаж по шламу проводятся с помощью специальных установок, называемых газокаротажными станциями. Эти станции содержат датчики на буровой для извлечения газа из ПЖ, отбора шлама и измерения наземных технологических параметров; газоаналитическую аппаратуру; приборы для регистрации изменения измеряемых параметров по стволу скважины; аппаратуру для оперативной обработки измеряемой информации и вспомогательные устройства для контроля процесса проведения исследований и управления им. Комплексные системы исследований при бурении дополняются датчиками наземных и забойных технологических параметров, датчиками забойных геофизических параметров и аппаратурой для исследований шлама, керна и пластового флюида.

В начальный период развития ПГИ исследования скважин проводились с полуавтоматическими каротажными станциями, в которых обеспечивался постоянный монтаж аппаратуры и схемы, но регистрация результатов измерений выполнялась оператором станции с помощью полуавтоматических регистраторов. С 1951 г. в результате работ ВНИИГеофизики началось широкое внедрение лаборатории автоматической каротажной станции (АКС) с фотозаписью АКС/Л-50<sup>1</sup> (С. Г. Комаров, Л. И. Померанц и др.). Эта лаборатория и ее последующие модификации (АКС/Л-51 и АКС/Л-51м) в течение длительного времени являлись основным типом АКС на трехжильном кабеле в промыслово-геофизической службе СССР. С 1953 г. начался серийный выпуск лаборатории АКС на одножиль-

ном бронированном кабеле ОКС-52 (В. М. Запорожец и др.). В 1956 г. эта лаборатория была модернизирована и создана лаборатория ОКС-56 (Л. И. Померанц и др.), обеспечивающая проведение расширенного комплекса исследований на одножильном кабеле в глубоких и осложненных скважинах.

Одновременно с разработкой лабораторий АКС проектировались подъемники (агрегаты со спуско-подъемным оборудованием для работы с лабораториями АКС) и АКС, в которых измерительная аппаратура и спуско-подъемное оборудование монтировались на одном автомобиле. В 1950—1955 гг. был разработан ряд подъемников для исследования скважин глубиной 2000—4000 м (Н. Д. Волков и др.). С 1960 г. начался серийный выпуск АКС на трехжильном кабеле АЭКС-1500 с электронным самопишущим потенциометром (И. Я. Ривкин и др.) для исследования скважин глубиной до 1500 м.

В результате разработки перечисленных АКС была достигнута полная автоматизация процесса регистрации результатов исследований нефтяных и газовых скважин, которая позволила перейти к созданию лабораторий АКС, обеспечивающих комплексирование измерений и повышение их качества. С 1970 г. начался серийный выпуск четырехканальной лаборатории АКС/Л-7 (Н. Н. Сохранов, Н. Н. Герасимов и др.), а затем лаборатории ЛКС-7-02, которая в настоящее время является основной АКС для исследований в нефтяных и газовых скважинах на одно-, трех- и семижильном кабеле.

Разработкой СП для геофизических исследований в скважинах занимались многие институты, конструкторские бюро и заводы. До 1950 г. коллективами конструкторов в Баку, Грозном, Уфе были созданы СП для электрического каротажа, термометры, квернотомеры и инклинометры. С 1951 г. началось серийное производство аппаратуры для радиоактивного каротажа (РК) (Д. Ф. Беспалов, Б. И. Рогов, Ю. А. Гулин и др.). В 60—70-е годы интенсивно проводилась разработка аппаратуры для новых методов исследования скважин: индукционного (С. М. Аксельрод, М. И. Плюснин и др.), бокового (В. Т. Чукин и др.), акустического (П. А. Прямов, Г. В. Дахнов, Д. В. Белокоп и др.), диэлектрического (С. М. Аксельрод, Д. С. Даев) и ядерно-магнитного (С. М. Аксельрод и др.) каротажей, комплексной аппаратуры электрического каротажа (А. Г. Барминский, А. А. Кулигин и др.). Значительный вклад в создание новых типов СП внесли коллективы киевских конструкторов (П. А. Зельцман, Р. С. Челокьян и др.) и конструкторов организаций Миннефтепрома (Ф. А. Куриленко, А. А. Кулигин, Е. Ф. Семенов и др.).

В 1950—1960 гг. газовый каротаж проводился с помощью полуавтоматических газокаротажных станций (Ю. М. Юровский, Л. А. Галкин, Г. И. Эпштейн и др.), в которых полученная информация фиксировалась вручную. Однако эти станции не обеспечивали возможность регистрации комплекса параметров, необходимого для надежного выделения нефтегазоносных пластов в разрезе скважины. Существенную роль в развитии техники газового каро-

также сыграла разработка хроматографов (А. М. Туркельтауб, А. А. Дацкевич, С. Э. Симонгауз и др.).

В 1955—1960 гг. рядом организаций делались попытки создания автоматических газокаротажных станций (АГКС). Практически широкая автоматизация промыслово-геохимических исследований началась с 1966 г. с помощью станции АГКС-65 (Л. И. Померанц, Г. И. Эпштейн и др.).

В 70-е годы начал осуществляться перевод промысловой геофизики на цифровую запись с целью обработки и интерпретации результатов измерений с помощью ЭВМ геофизических вычислительных центров (Н. Н. Сохранов и др.). Газовый каротаж проводился станциями АГКС-4АЦ (Л. И. Померанц и др.) с цифровой записью расширенного комплекса параметров, а комплекс ГИС — цифровыми АКС — лабораториями ЛЦК-10 (И. К. Саркисов и др.) с 6-канальным регистратором на перфоленте ПЛК-6 (А. Г. Мельников, Н. Н. Сохранов и др.), ЛК-01 (А. Г. Барминский, Ю. П. Абозин и др.) с магнитным регистратором «Триас» (В. П. Логвинов и др.) и ЛКС-10-01 (И. К. Саркисов и др.) с магнитным регистратором «Триас» или регистратором измерительно-вычислительного комплекса ИВК-Н078. Одновременно началось оснащение геофизической службы сначала преобразователем «диаграмма — код» Ф001 (А. Г. Мельников, Н. Н. Сохранов и др.), а затем Ф014.

В конце 70-х годов стали широко развиваться исследования в процессе бурения с переходом от АГКС, предназначенных для проведения только газового каротажа, к комплексным компьютеризованным системам геолого-геофизико-геохимико-технологических исследований (АГИС). Для измерения в процессе бурения забойных геофизических и технологических параметров разработаны системы с передачей информации на поверхность по бескабельному электрическому каналу связи (колонне бурильных труб) и с консервацией информации в автономном скважинном приборе (И. К. Саркисов, А. А. Молчанов). Были созданы станции геолого-технологического контроля (Э. Е. Лукьянов, Б. Н. Славнитский и др.).

В настоящее время взят курс на оснащение промыслово-геофизической службы современными компьютеризованными комплексами, которые должны существенно повысить эффективность разведочного и эксплуатационного бурения на нефть и газ и сократить их сроки и стоимость. Одновременно начато оснащение ПГИ экспедиционными каротажными вычислительными мини-центрами для оперативной обработки получаемой информации!

Учебник подготовлен коллективом авторов под общей редакцией Л. И. Померанца. Предисловие, первая часть, гл. XVI и § 86—88 написаны Л. И. Померанцем; вторая и третья части Д. В. Белоконом и В. Ф. Козяром.

## ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

# ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ, ОБРАБАТЫВАЮЩАЯ И РЕГИСТРИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА АВТОМАТИЧЕСКИХ КАРОТАЖНЫХ И ГАЗОКАРОТАЖНЫХ СТАНЦИЙ И СИСТЕМ

## ГЛАВА I

### СВЕТОЛУЧЕВЫЕ КАРОТАЖНЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ

Основным типом аналогового регистрирующего прибора в автоматических каротажных станциях и системах исследований скважин приборами на кабеле является светолучевой каротажный осциллограф, иногда называемый фоторегистратором.

Светолучевыми осциллографами называются приборы, регистрирующие оптическим путем на фотоленте (осциллографной бумаге, фотопленке или фотокальке) процесс изменения измеряемого параметра. Светолучевые осциллографы общетехнического назначения обычно регистрируют изменение параметров в функции времени, протягивая фотопленку с постоянной скоростью. Каротажные светолучевые осциллографы отличаются от общетехнических в основном тем, что регистрируют изменение параметров в функции глубины скважины. В этом случае лента осциллографа в процессе измерения перемещается пропорционально перемещению скважинного прибора в скважине в определенном масштабе глубин.

#### § 1. ЗЕРКАЛЬНЫЙ ГАЛЬВАНОМЕТР, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ, ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Основным элементом светолучевого каротажного осциллографа является зеркальный магнитоэлектрический гальванометр<sup>1</sup> (рис. 1), который состоит из рамки, подвешенной на токопроводящих растяжках, и магнитной системы. Рамка помещена в магнитном поле этой системы так, что плоскость ее витков параллельна направлению магнитного поля. При пропускании через рамку тока  $i$  возникает магнитное поле рамки, которое взаимодействуя с полем магнитной системы, создает момент  $M_i$  (в мН·см), стремящийся повернуть рамку:

$$M_i = Fhdn = iBSn = i\Psi, \quad (1.1)$$

где  $F$  — сила, действующая на единицу длины проводника, помещенного в магнитное поле, в мН;  $h$  — высота рамки в см;  $d$  — диа-

<sup>1</sup> В некоторых типах светолучевых каротажных осциллографов в качестве чувствительного элемента используются электроионо-лучевые трубки.

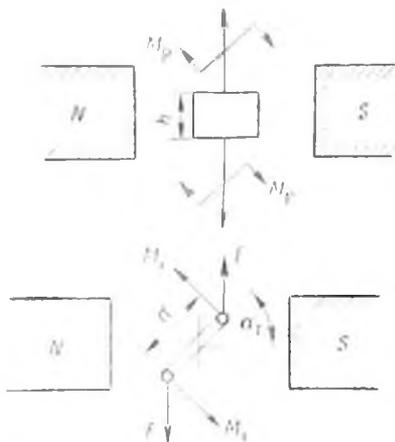


Рис. 1. Схема действия магнито-электрического зеркального гальванометра

жек на угол, равный 1 рад, мН·см/рад.

Отсюда легко найти угол, на который повернется рамка гальванометра

$$\alpha_1 = i\Psi/W.$$

Как известно, для зеркальных гальванометров угол поворота луча в 2 раза больше угла поворота рамки гальванометра:

$$\alpha = 2\alpha_1 = 2i\Psi/W. \quad (1.2)$$

Обычно этот угол выражают в виде линейного смещения  $a$  (в мм) олка гальванометра на ленте (шкале) осциллографа и определяют по формуле

$$\alpha = a/L, \quad (1.3)$$

где  $\alpha$  — в мм/м;  $L$  — оптический рычаг осциллографа — расстояние от зеркальца гальванометра до ленты осциллографа в м.

Основными параметрами гальванометра являются его постоянные по току и напряжению.

Постоянной гальванометра по току  $K_{i_0}$  называется ток в амперах, который необходимо пропустить через рамку гальванометра, чтобы при оптическом рычаге осциллографа, равном 1 м, блик гальванометра на ленте сместился на 1 мм:

$$K_{i_0} = i/\alpha = 0,5W/\Psi, \quad (1.4)$$

где  $K_{i_0}$  — в м·А/мм.

Постоянной гальванометра по напряжению  $K_{U_0}$  называют напряжение в вольтах, которое необходимо подать на зажимы гальванометра, чтобы при оптическом рычаге

метр катушки рамки в см;  $n$  — число витков рамки;  $i$  — в А;  $B$  — магнитная индукция в Тл;  $S$  — площадь рамки в см<sup>2</sup>;  $\Psi = BS$  — потокосцепление рамки в мН·см/А.

Под воздействием вращающего момента рамка повернется на некоторый угол  $\alpha_1$ , при котором этот момент уравнивается противодействующим моментом растяжек  $M_p$ . При небольших углах, на которые закручиваются растяжки при работе гальванометра,

$$M_p = W\alpha_1,$$

где  $W$  — удельный противодействующий момент растяжек — момент при закручивании растя-

осциллографа, равном 1 мм, блик гальванометра на ленте сместился на 1 мм:

$$K_{U0} = K_{I0}R = 0,5RW/\Psi, \quad (1.5)$$

где  $K_{U0}$  — в мВ/мм;  $R$  — сопротивление цепи гальванометра в Ом, включающее собственное сопротивление (сопротивление рамки гальванометра)  $R_r$  и сопротивление цепи, в которую включен гальванометр,  $R_{вн}$ .

В практике промыслово-геофизических измерений обычно пользуются значениями постоянной по току  $K_i$  (в мкА/см) и постоянной по напряжению  $K_U$  (в мВ/см), показывающими, какую силу тока (в мкА) необходимо пропустить через рамку гальванометра или какое напряжение (в мВ) необходимо подать на зажимы гальванометра для смещения его блика на ленте на 1 см при данном оптическом рычаге осциллографа.

Так, для современных каротажных осциллографов Н015, Н017 и Н028А с оптическим рычагом  $L = 0,3$  м

$$K_i = 3,33 \cdot 10^7 K_{I0}; \quad (1.6)$$

$$K_U = 3,33 \cdot 10^4 K_{U0}. \quad (1.7)$$

Величина, обратная постоянной, называется чувствительностью гальванометра. Чувствительность гальванометра по току  $S_{I0}$  — отклонение на ленте блика гальванометра (в мм) при пропускании через его рамку тока 1 А:

$$S_{I0} = 1/K_{I0} = 2\Psi/W, \quad (1.8)$$

где  $S_{I0}$  — в мм/(м·А).

Чувствительностью гальванометра по напряжению  $S_{U0}$  называется величина отклонения на ленте блика гальванометра (в мм) при подаче на его зажимы напряжения 1 В:

$$S_{U0} = 1/K_{U0} = 2\Psi/RW, \quad (1.9)$$

где  $S_{U0}$  — в мм/(м·В).

## § 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЗЕРКАЛЬНОГО ГАЛЬВАНОМЕТРА

Дифференциальное уравнение движения рамки зеркального гальванометра имеет вид

$$J(d^2\alpha/dt^2) + P(d\alpha/dt) + W\alpha = i\Psi, \quad (1.10)$$

где  $J$  — момент инерции рамки гальванометра;  $P$  — коэффициент успокоения гальванометра (при электромагнитном успокоении  $P_{эм} = \Psi^2/R$ ).

Из уравнения (1.10), приравняв момент внешних сил и коэффициент успокоения к нулю, можно получить параметры режима свободных колебаний рамки гальванометра:  
период свободных колебаний

$$T_0 = 2\pi \sqrt{J/W}; \quad (1.11)$$

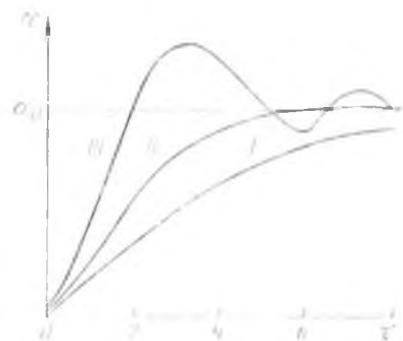


Рис. 2. Врение перемещения рамки гальванометра к положению равновесия при различных степенях успокоения  $\beta$

частоту свободных колебаний

$$f_0 = 0,5\pi^{-1} \sqrt{W/J}, \quad (1.12)$$

которую часто называют собственной частотой гальванометра.

Решение уравнения (1.10) имеет вид

$$\alpha = \alpha_0 e^{-\beta\tau} [(e^{\gamma\tau} + e^{-\gamma\tau})/2 + \beta(e^{\gamma\tau} - e^{-\gamma\tau})/2\gamma], \quad (1.13)$$

где  $\beta$  — безразмерный коэффициент, называемый степенью успокоения

$$\beta = P/2 \sqrt{JW}; \quad (1.14)$$

$\tau$  — относительное (безразмерное) время,

$$\tau = \sqrt{W/J} t = 2\pi t/T_0; \quad (1.15)$$

$$\gamma = \sqrt{\beta^2 - 1}. \quad (1.16)$$

В зависимости от величины  $\beta$  получаются три вида решения уравнения (1.13), определяющие характер движения рамки гальванометра к установившемуся положению  $\alpha_0$  (рис. 2).

1.  $\beta < 1$ . Движение рамки гальванометра происходит в так называемом аperiodическом режиме (кривая I), когда рамка гальванометра начинает поворачиваться быстро, затем ее движение замедляется и к отклонению  $\alpha_0$  она подходит через бесконечный отрезок времени. Практически процесс считается законченным, когда рамка подойдет к отклонению  $\alpha_0$  с заданной степенью точности.

2.  $\beta = 1$ . Движение рамки к отклонению  $\alpha_0$  происходит по экспоненциальному закону в так называемом критическом режиме (кривая II). При критическом режиме сопротивление цепи гальванометра называют критическим сопротивлением гальванометра  $R_{кр}$ . Учитывая, что  $P_{кр} = \Psi^2/R_{кр}$  из (1.14) легко определить  $R_{кр}$ :

$$R_{кр} = \Psi^2/2 \sqrt{JW}. \quad (1.17)$$

Фактическая степень успокоения  $\beta$  зависит от соотношения фактического  $R$  и критического  $R_{кр}$  сопротивлений цепи гальванометра:

$$\beta = R_{кр}/R. \quad (1.18)$$

Сопротивление цепи гальванометра  $R$  включает собственное сопротивление гальванометра  $R_g$  и сопротивление внешней цепи  $R_{вн}$ . Поэтому

$$R_{кр} = R_g + R_{вн, кр}, \quad (1.19)$$

где  $R_{\text{нн.кр}}$  — внешнее критическое сопротивление гальванометра.

3.  $\beta < 1$ . Движение рамки происходит в периодическом режиме (кривая III), когда при подходе к отклонению  $\alpha_0$  рамка колеблется по синусоидальному закону с амплитудой, затухающей по экспоненте.

Для определения необходимых средних параметров (типа) каротажного зеркального гальванометра определяют требуемую собственную частоту гальванометра  $f_0$ . Для этого в (1.15) подставляют время  $t$ , в течение которого скважинный прибор будет проходить мимо исследуемого пласта,  $t = 3600 h/v$ , где  $t$  — в с;  $h$  — мощность исследуемого пласта в м;  $v$  — скорость проведения измерений в м/ч. В результате получают

$$f_0 = 4,4 \cdot 10^{-5} \tau_y v / h \sqrt{1 - \beta^2}, \quad (1.20)$$

где  $\tau_y$  — относительное время, при котором процесс установления показаний гальванометра обычно заканчивается.

Собственная частота применяемых в настоящее время каротажных зеркальных гальванометров рассчитана из условий:  $\tau_y = 8$ ;  $v = 3000$  м/ч;  $h = 0,5$  м;  $\beta = 0,8$  (величина  $\beta$ , при которой каротажная кривая регистрируется с минимальными погрешностями; обычно  $\beta$  выбирается в пределах 0,5—1). При этих средних условиях собственная частота каротажного зеркального гальванометра  $f_0 \approx 3$  Гц.

Из формулы (1.12) видно, что для получения зеркального гальванометра с низкой  $f_0$  необходимо применять тонкие растяжки с малым  $W$  и увеличивать массу и ширину рамки для повышения ее момента инерции  $J$ . Однако такой широкорамочный зеркальный гальванометр очень чувствителен к вибрациям и требует точной балансировки. В зарубежных каротажных осциллографах сохранение балансировки гальванометров обеспечивается весьма сложной конструкцией, а виброустойчивость гальванометра — специальным жидкостным заполнением. Ввиду технологической сложности изготовления и больших габаритов таких гальванометров в СССР при создании отечественных каротажных зеркальных гальванометров пошли другим путем. Для получения гальванометра с необходимой величиной  $f_0$  используется виброустойчивый и не требующий балансировки более высокочастотный узкорамочный гальванометр, в котором собственная частота понижается путем подключения к рамке гальванометра емкости  $C$ .

Из теории метода электромагнитных аналогий известно, что подключение емкости к электромеханической колебательной системе, какой является рамка зеркального гальванометра, эквивалентно увеличению массы, а следовательно, и момента инерции  $J$  рамки гальванометра на величину  $J_C = C\psi^2$ . С учетом этого при подключении к рамке гальванометра дополнительной емкости  $C$  уравнение (1.10) движения рамки гальванометра будет иметь вид

$$(J + C\psi^2) d^2\alpha/dt^2 + P(d\alpha/dt) + W\alpha = i\psi F. \quad (1.21)$$

Собственная частота  $f_{0C}$  и критическое сопротивление  $R_{крC}$  гальванометра, к рамке которого подключена емкость  $C$ , будут соответственно

$$f_{0C} = f_0 / \sqrt{1 + 4\pi f_0 R_{кр} C}; \quad (1.22)$$

$$R_{крC} = R_{кр} / \sqrt{1 + 4\pi f_0 R_{кр} C}. \quad (1.23)$$

Таким образом, если имеется узкорамочный гальванометр с параметрами  $f_0$ ,  $R_{кр}$  и необходимо понизить его собственную частоту до величины  $f_{0C}$ , параллельно рамке гальванометра должна быть подключена емкость

$$C = 10^6 (f_0^2 - f_{0C}^2) / 4\pi f_0 f_{0C} R_{кр}, \quad (1.24)$$

где  $C$  — в мкФ;  $f_{0C}$  и  $f_0$  — в Гц;  $R_{кр}$  — в Ом.

### § 3. ВКЛЮЧЕНИЕ ЗЕРКАЛЬНОГО ГАЛЬВАНОМЕТРА В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КАНАЛ КАРОТАЖНОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

К измерительному каналу АКС предъявляется ряд требований, касающихся величин: постоянной по току, частотной характеристики и динамического диапазона записи. Для выполнения этих требований в измерительный канал каротажного осциллографа последовательно включаются несколько гальванометров (обычно три или два) и элементы, позволяющие регулировать параметры гальванометров в измерительном канале.

Из типовой схемы включения гальванометров в измерительный канал каротажного осциллографа (рис. 3) видно, что через гальванометры проходит только часть  $i_r$  тока измерительного канала АКС. Поэтому для характеристики измерительного канала приходится пользоваться дополнительными параметрами — постоянными гальванометра в измерительном канале по току и напряжению.

Постоянной гальванометра в измерительном канале по току  $K_{ик}$  называют ток в канале в микроамперах, при котором блик гальванометра на ленте сместится на 1 см. Она связана с величиной  $K_i$  соотношением  $K_{ик} = qK_i$ , где  $K_{ик}$  — в мкА/см;  $q$  — постоянный коэффициент шунтирования гальванометра, показывающий, какая часть тока измерительного канала ответвляется на гальванометр.

Постоянной гальванометра в измерительном канале по напряжению  $K_{Ук}$  называют напряжение в милливольтгах, приложенное ко входу канала, под воздействием которого блик гальванометра на ленте сместится на 1 см. Она связана с величиной  $K_U$  и  $K_i$  соотношениями  $K_{Ук} = qK_U = qK_i R$ , где  $K_{Ук}$  — в мВ/см.

В схемах каналов КС каротажных осциллографов имеются по три последовательно включенных гальванометра PS1—PS3, пишущих кривые в масштабах, относящихся друг к другу как 1 :  $\xi$  :  $\xi^2$ ,

где  $\xi$  — коэффициент загрубления масштаба, обычно равный 5. Каждый гальванометр (1 : 1; 1 : 5 и 1 : 25) шунтируется емкостью  $C$  по (1.24) для снижения собственной частоты гальванометра  $f_0$  до требуемого значения  $f_{0\sigma}$ .

Для регулирования параметров гальванометра в измерительном канале в цепь каждого гальванометра включены резисторы: параллельно  $R_x$  и последовательно  $R_y$ . Входное сопротивление измерительного канала регулируется с помощью переменного резистора  $R_z$ .

Такая схема включения гальванометров в измерительный канал каротажного осциллографа является наиболее удобной, так как обеспечивает возможность отдельного регулирования постоянной по току  $K_{ик}$  (с помощью резистора  $R_x$ ) и степени успокоения  $\beta$  (с помощью резистора  $R_y$ ).

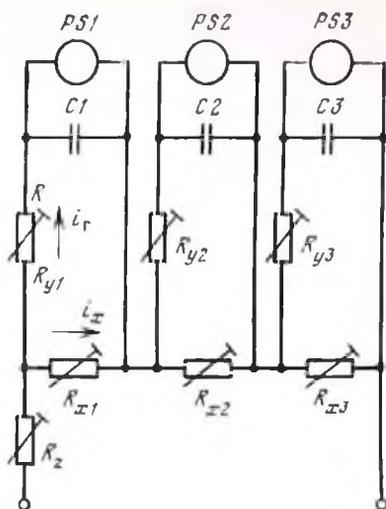


Рис. 3. Схема включения гальванометров в измерительный канал каротажного осциллографа

#### § 4. КАРОТАЖНЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ Н015

Основным каротажным осциллографом, применяемым в настоящее время, является осциллограф Н015. Его особенностью является наличие двух лентопротяжных механизмов, обеспечивающих возможность одновременной записи пяти параметров (например, четырех кривых КС, зарегистрированных различными зондами, и кривой ПС) на двух лентах, синхронно перемещаемых в одном общем масштабе глубин, или одновременной записи кривых стандартного каротажа на двух лентах, перемещаемых в двух различных масштабах глубин. Для уменьшения объема камеральной обработки зарегистрированных диаграмм осциллограф имеет специальные устройства, обеспечивающие совмещение по глубинам точек записи различных параметров, корректировку линий глубин по кабельным меткам и оцифровку диаграмм по глубинам.

*Блок гальванометров и измерительная схема осциллографа.* В светолучевых каротажных осциллографах используются общие для нескольких гальванометров-вставок магнитные блоки, называемые вместе с гальванометрами-вставками блоками гальванометров. В осциллографе Н015 устанавливаются два блока гальванометров: в каждом блоке по шесть гальванометров-вставок.

В качестве гальванометров-вставок в осциллографе Н015 используются гальванометры М007 и М012. Конструкция гальвано-

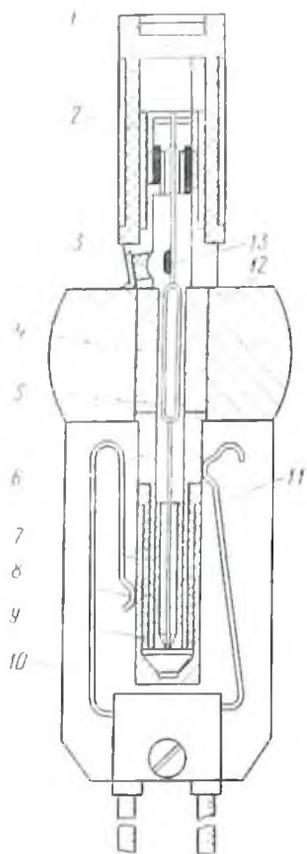


Рис. 4. Гальванометр-вставка М007 с полюсным вкладышем блока гальванометров

$\times 10^{-8}$  А·м/мм. Он рассчитан на шунтирование емкостью  $C = 50$  мкФ.

Измерительная схема осциллографа Н015 включает 12 гальванометров, обычно скоммутированных в четыре канала, каждый из которых смонтирован по схеме, показанной на рис. 3. Гальванометры I и II каналов производят запись кривых на первой ленте, а гальванометры III и IV каналов — на второй ленте. При записи четырьмя каналами первая и вторая ленты протягиваются в одном общем масштабе глубин. При проведении стандартного каротажа гальванометры I—III и II—IV каналов включаются последовательно, обеспечивая запись идентичных кривых КС и ПС на двух лентах, протягиваемых в различных масштабах глубин (например, 1 : 500 и 1 : 200). При проведении измерений пластывым наклономером третий гальванометр II канала включается в от-

метров М007 (рис. 4), как и М012, неразборная, герметичная. Подвижная система гальванометра с рамкой 5 смонтирована в круглом корпусе 6, в который впаяны полюсные вставки 4 и вклеена сферическая линза 3. Против линзы на верхней растяжке подвижной системы приклеено зеркальце 13. Растяжки закреплены во втулках 2 и 9 и припаяны к ним. Контактными выводами служат корпус 6 и изолированный от него наконечник 7, подключенный к втулке 9. Корпус гальванометра герметизирован пластмассовой головкой 1, с помощью которой производится установка и юстировка гальванометра. Гальванометр устанавливается в магнитный блок с помощью стандартного полюсного наконечника 10, контактирующего с полюсами магнита 12, и включается в измерительную схему осциллографа через пружинные контакты 8 и 11. Диаметр посадочной части гальванометра 6 мм, длина 66 мм.

Гальванометр М007 выпускается в двух модификациях: М007.1 и М007.2 с  $K_{i0}$  соответственно  $1,5 \cdot 10^{-8}$  и  $2,3 \times 10^{-8}$  А·м/мм. Обе модификации гальванометра в схеме осциллографа шунтируются емкостью  $C = 100$  мкФ и рассчитаны на регистрацию сигналов, изменяющихся с частотой до 1 Гц. Гальванометр М012 отличается от гальванометра М007 только параметрами подвижной системы —  $K_{i0} = 1,35 \times$

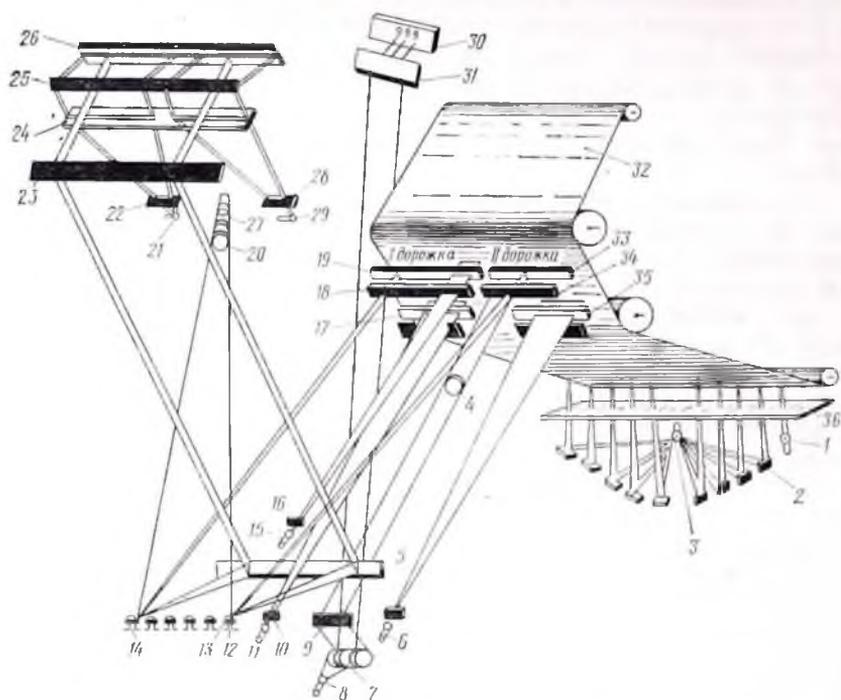


Рис. 5. Оптическая схема каротажного осциллографа Н015 (для второй ленты)

дельный V канал и на первой ленте обеспечивается запись I, I- и V каналов. Каждый гальванометр осциллографа имеет индивидуальный электрический корректор нуля. В каналы I—IV включены элементы фильтров измерительного канала АКС — индуктивность и емкость.

*Оптическая схема осциллографа.* Оптическая схема осциллографа Н015 рассчитана на получение диаграммы с минимальной последующей камеральной обработкой (только нанесением на диаграмму литологической колонки). Для этого лента в процессе регистрации размечается вертикальными масштабными линиями и оцифрованными горизонтальными линиями глубин, согласованными с метками на кабеле, запись кривых каждого параметра проводится на отдельных дорожках, а регистрируемые на фотоленте кривые смещаются по глубине друг относительно друга на расстояние, пропорциональное смещению точек записи измеряемых параметров в СП.

Осциллограф Н015 имеет два лентопротяжных механизма и две самостоятельные, в основном идентичные, оптические схемы. На оптической схеме осциллографа для второй ленты (рис. 5) показаны основной (1 : 1) гальванометр 14 III канала и вспомогательный (1 : 25) гальванометр 12 IV канала, установленные в общем блоке.

Эти гальванометры производят запись кривых соответственно на I и II дорожках ленты 32. Для смещения кривых, записываемых на одной дорожке ленты, относительно кривых, записанных на другой дорожке, цилиндрическая линза 19 против I дорожки зафиксирована, а цилиндрическая линза 33 против II дорожки может быть смещена в вертикальной плоскости на расстояние до 22 мм.

Гальванометры III и IV каналов освещаются общим осветителем 27 с линзой 20. Зеркальце 13 гальванометра с помощью его сферической линзы (см. рис. 4) создает изображение нити лампы на цилиндрической линзе 33, экспонирующей точку на ленте 32.

Для обеспечения попадания изображения нити лампы осветителя 27 на линзу 33 при различных ее положениях расстояние линзы 20 от нити лампы осветителя 27 и плоскость, в которой расположены зеркальца 13 гальванометров, выбраны такими, чтобы высота бликов гальванометров в плоскости цилиндрической линзы 33 была около 40 мм.

Для записи гальванометрами III и IV каналов на установленных дорожках ленты шириной 80 и 120 мм перед гальванометрами установлены шторки (на рис. 5 не показаны), а перед линзами 19 и 33 — экраны-диафрагмы 18 и 34. Наблюдение изменения параметров в процессе записи производится по перемещению бликов гальванометров III и IV каналов на общей шкале визуального наблюдения 26. Для этого нижняя часть бликов гальванометров срезается зеркалом 5 и с помощью зеркала 23 проектируется на шкалу 26. Суммарная длина луча от зеркальца 13 до шкалы 26 равна оптическому рычагу осциллографа. Это обеспечивает идентичность перемещения блика гальванометра на ленте 32 и шкале 26. Подсвет шкалы 26 производится осветителями 21 и 29 через диафрагмы 22 и 28 и матовый экран 24 с помощью зеркала 25.

Для нанесения на ленту горизонтальных линий глубин служат осветители 6 и 11 с диафрагмами 10 и цилиндрические линзы 35 и 17. Линии кабельных меток наносятся с помощью цилиндрической линзы 19 при вспышках лампы осветителя 15, снабженного диафрагмой 16. При вспышках лампы осветителя 8 изображение шкалы счетчика глубин 7 отражается зеркалом 9 и с помощью объектива 4 фотографируется на участке ленты 32 между горизонтальными линиями глубин. Одновременно с помощью зеркала 31 показания счетчика глубин 7 проектируются на экран 30. Осветитель вертикальных линий состоит из лампы 3 и системы зеркал 2, с помощью которых свет через отверстия в кожухе 36 осветителя падает на ленту 32, экспонируя на ней при ее перемещении вертикальные линии. Для нанесения на ленту марок времени крайняя вертикальная линия наносится в виде пунктирной линии с помощью периодически включаемой синхронным электродвигателем лампы 1.

*Осветительные цепи и цепи управления осциллографом* (рис. 6). Автоматическая разметка диаграммы осциллографа линиями глубин, их оцифровка и согласование с кабельными метками производятся с помощью схемы, смонтированной в пульте 2 и включаю-

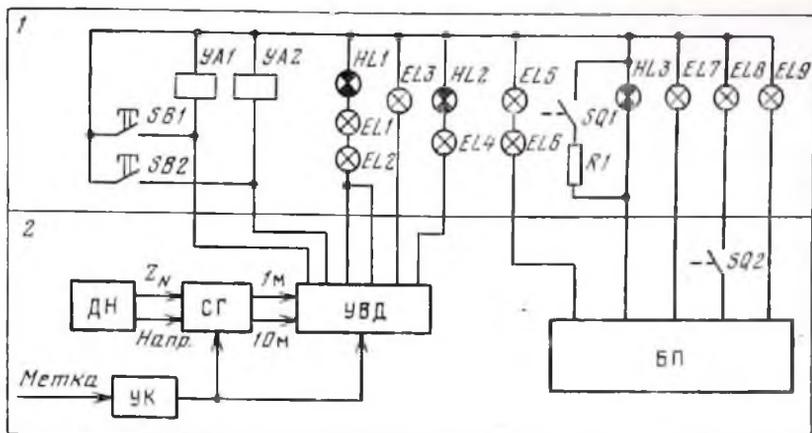


Рис. 6. Электрическая схема осветительных цепей и цепей управления каротажным осциллографом НО15 (для одной ленты) и блок-схема пульта управления осциллографом:

1 — каротажный осциллограф; 2 — пульт управления осциллографом

щей датчик направления движения и перемещения СП в скважине ДН, счетчик глубин СГ, устройство коррекции УК и устройство выдачи данных УВД.

ДН представляет собой барабан, связанный через шестеренчатую передачу с сельсином-приемником и делающий 1 об при перемещении СП в скважине на 0,2 м. Лампа, находящаяся внутри барабана, через щель поочередно освещает четыре светодиода, схема соединения которых обеспечивает выдачу сигналов глубин  $Z$  с шагом квантования по глубинам  $\Delta = 0,1$  м. В зависимости от направления вращения барабана и изменения последовательности включения светодиодов на выходе ДН появляются импульсы разной полярности, обеспечивающие увеличение показаний СГ при спуске или уменьшении его показаний при подъеме скважинного прибора.

СГ содержит корректируемую электронную часть в виде двух декад, собранных на транзисторах, и некорректируемую часть в виде электромеханического счетчика, а также формирователь и эмиттерный повторитель для согласования корректируемой части с некорректируемой.

С помощью диодных матриц коды счетчика дешифруются в десятичный код и подаются на УВД. Выходные шины дешифраторов СГ выведены на переключатели «задержка» «0,1—0,9 м» и «1—9 м» (на рис. 6 не показаны), которые используются для учета «цены первой метки» (смещения основной точки записи СП от нижней кабельной метки). С помощью этих переключателей вводятся первоначальные уставки в СГ.

УК обеспечивает корректировку показаний СГ по сигналу кабельной метки. Коррекция СГ производится путем принудительного сброса показаний на «0» или на «9» в зависимости от направ-

ления перемещения СП в скважине. Для защиты УК от ложных меток сигнал «метка» производит коррекцию показаний СГ тогда, когда показания СГ кратны 10 м и отличаются от них только на  $\pm 0,1$  м.

УВД получает сигналы от СГ через каждые 1 и 10 м перемещения СП в скважине и при поступлении сигнала кабельной метки обеспечивает выполнение следующих операций:

а) через каждые 2 м перемещения СП в скважине вспыхивают лампы осветителей горизонтальных линий *EL1* и *EL2* в осциллографе 1, нанося на ленту тонкие горизонтальные линии глубин; одновременно для контроля вспыхивает сигнальная лампочка *HL1* (необходимые накал лампы и время их экспозиции обеспечиваются специальной электронной схемой УВД в пульте 2);

б) через каждые 10 м перемещения СП в скважине снова вспыхивают лампы *EL1* и *EL2* с большим временем экспозиции и на ленту наносятся жирные горизонтальные линии;

в) одновременно с операцией, указанной в п. «б», на электромагнит *YA1* или *YA2* счетчика глубин осциллографа (в зависимости от спуска или подъема СП) подаются сигналы и показания счетчика меняются на единицу;

г) с небольшой задержкой после выполнения операций по пп. «б» и «в» включается лампа *EL3* осветителя счетчика глубин и на ленте фиксируются показания счетчика;

д) при поступлении сигнала кабельной метки включаются лампа *EL4* осветителя кабельной метки, нанося на ленту горизонтальную линию метки, и сигнальная лампа *HL2*.

Первоначальная установка показаний счетчика глубин производится с помощью кнопок *SB1* и *SB2* «установка счетчика; +; —», управляющих электромагнитами *YA1* и *YA2* счетчика.

В пульте 2 смонтирован блок питания БП, обеспечивающий питание ламп осветителей гальванометров *EL9*, осветителей вертикальных линий *EL7* и *EL8*, индикатора протяжки ленты *HL3* и осветителей подсветки шкал *EL5* и *EL6*. В пульте 2 в цепь лампы *EL8* включены контакты *SQ2*, управляемые синхронным электродвигателем (на рис. 6 не показан). Поэтому разрывы в соответствующей вертикальной линии являются марками времени. Контакты *SQ1* в осциллографе 1 приводятся в действие при протяжке ленты, и с их помощью сигнальная лампа *HL3* периодически шунтируется резистором *R1*. По миганию лампочки судят о работе лентопротяжного механизма осциллографа.

**Лентопротяжный механизм.** Кинематическая схема первого лентопротяжного механизма осциллографа (рис. 7) включает сельсину *BE*, служащий приводом лентопротяжного механизма, коробку передач *I*, навесной лентопротяжный механизм *II* и узел счетчика глубин *III* (коробка передач и второй навесной лентопротяжный механизм, на рис. 7 не показанные, приводятся от того же сельсина *BE*).

Вал 1 сельсина *BE* связан с входными валами 2 коробок передач. От вала 2 через шестерни 3—5 или 3—5—4—7—8—9 вращение

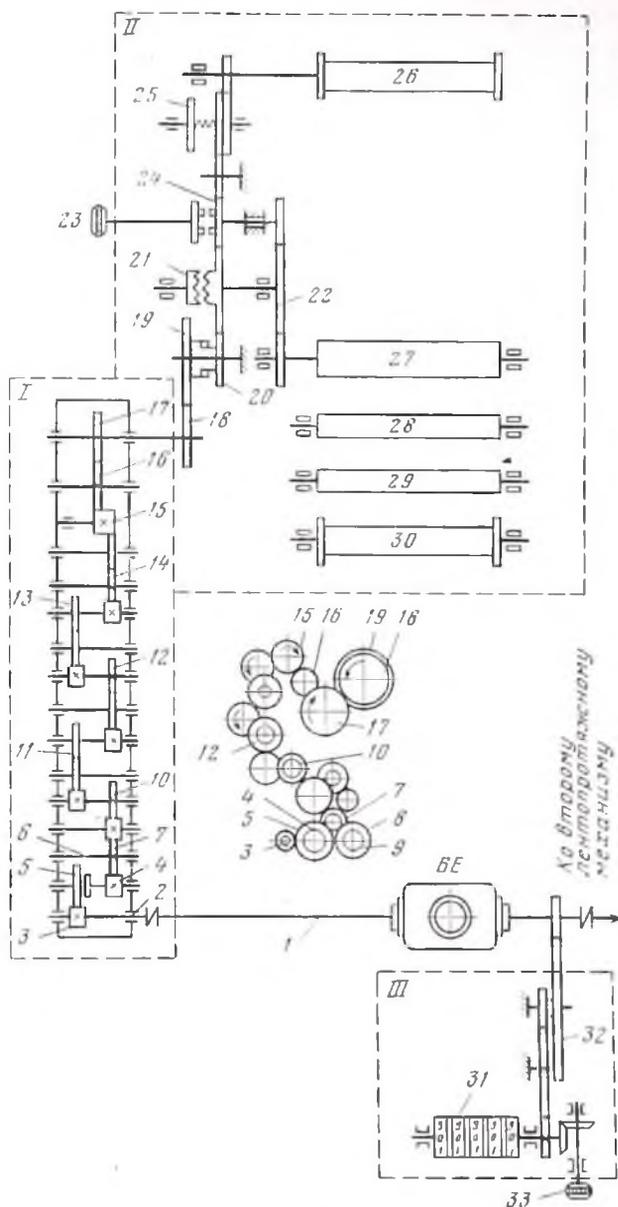


Рис. 7. Кинематическая схема первого лентопротяжного механизма каротажного осциллографа Н015

передается валу 6. Шестерни 5 и 8 имеют храповые устройства (на рис. 7 не показаны), направленные в различные стороны и образующие «механический выпрямитель». Поэтому при любом направлении вращения вала 1 сельсина ВЕ вал 6 вращается в одну и ту же сторону. Это обеспечивает прогajку ленты в одном направлении (сверху вниз) при любом направлении перемещения СП в скважине. Вращение от вала 6 через систему промежуточных шестерен 10—17, управляемых клавишными переключателями, передается шестерне 18, обеспечивая соответственно включение масштабов глубин 1 : 1000, 1 : 500, 1 : 200 или 1 : 100, 1 : 50, 1 : 20. От шестерни 18 движение передается навесному лентопротяжному механизму 11.

Ведущий валик 27 навесного лентопротяжного механизма через шестерню 19 и передачу 20—22 связан с шестерней 18 коробки передач. В навесном лентопротяжном механизме лента протягивается ведущим валиком 27 из магазинной кассеты 30 через направляющие ролики 29 и 28 в приемную кассету 26. Валик приемной кассеты связан с ведущим валиком 27 через шестеренчатую передачу 24 и фрикционную муфту 25, обеспечивая подмотку ленты с регулируемым натягом. В передачу 20 к ведущему валику 27 введено храповое устройство 21, позволяющее с помощью ручки 23 протягивать ленту вручную.

Счетчик глубин 31, по которому контролируется глубина нахождения СП в скважине, связан с валом 1 сельсина ВЕ передачей 32, обеспечивающей получение показаний счетчика в метрах. С помощью ручки 33 «протяжка» устанавливают требуемые начальные показания счетчика глубин.

Каротажный осциллограф Н015 представляет собой светонепроницаемый кожух, в котором смонтированы элементы оптической, кинематической и электрической схем. Для облегчения доступа к этим элементам в корпусе осциллографа предусмотрены откидная крышка и откидная дверка. С левой и правой сторон на лицевой панели осциллографа смонтированы панели шунтов измерительной схемы, а на их крышках — переключатели и переменные резисторы электрических корректоров нуля гальванометров.

### § 5. КАРОТАЖНЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ Н028А

Более совершенным по сравнению с моделью Н015 является каротажный осциллограф Н028А, которым комплектуются лаборатории цифровых каротажных станций ЛКС7-02, ЛЦК-10 и ЛКС-10-01. Осциллограф Н028А имеет следующие принципиальные отличия от Н015: восемь измерительных каналов вместо пяти с возможностью записи шести каналами на трех дорожках в линейном и двумя каналами на одной дорожке в логарифмическом масштабах; встроенные лентопротяжные механизмы вместо навесных; фиксацию на ленте литологической колонки по ко-

мандам, поступающим из АКС<sup>1</sup>; более совершенную схему разграфки и оцифровки лент и возможность параллельно с аналоговой регистрацией проводить регистрацию измеряемых параметров в цифровой форме с помощью магнитного цифрового регистратора (МРЦ). Осциллограф Н028А, так же как и осциллограф Н015, имеет два лентопротяжных механизма, обеспечивающих одновременную запись всех регистрируемых параметров на двух лентах шириной по 200 мм в одном общем масштабе глубин или одновременную запись нескольких параметров в двух различных масштабах глубин.

*Блок гальванометров и измерительная схема осциллографа.* В осциллографе Н028А смонтированы четыре блока гальванометров, в каждом из которых установлено по пять гальванометров-вставок М033, в основном аналогичных гальванометрам-вставкам М012 (см. § 4). Измерительная схема осциллографа включает 20 гальванометров, скоммутированных в восьми каналах. В I, III, V и VII каналы включено по три гальванометра, пишущих кривые в масштабах, относящихся друг к другу как 1 : 5 : 25, а во II, IV, VI и VIII каналы — по два гальванометра, пишущих в масштабах, относящихся друг к другу как 1 : 5 или 1 : 1.

Гальванометры I и II измерительных каналов и гальванометры III и IV каналов, смонтированные соответственно в I и II блоках, пишут кривые на первой ленте — на I и II дорожках шириной по 80 мм. Гальванометры V—VI и VII—VIII каналов, смонтированные соответственно в блоках III и IV, пишут кривые на второй ленте — на I дорожке шириной 80 мм и II дорожке шириной 100 мм. Запись на I—II дорожках первой ленты и на I дорожке второй ленты производится в линейном масштабе, а на II дорожке второй ленты — в линейном или логарифмическом масштабе. Так же как и в осциллографе Н015, гальванометры осциллографа Н028А имеют индивидуальные электрические корректоры нуля и в каждом канале элементы фильтров низкой частоты (дрессель и емкость).

*Оптическая схема осциллографа.* Оптическая схема осциллографа Н028А рассчитана на полное исключение камеральной обработки зарегистрированных диаграмм. Она обеспечивает выполнение всех функций осциллографа Н015, а также нанесение на ленту литологической колонки.

Особенностью оптической схемы осциллографа Н028А является то, что ее основные элементы для каждого двух каналов (каждой дорожки ленты) жестко смонтированы в одном общем световом блоке. В этот блок входят блок гальванометров, осветитель гальванометров со светоконденсором, цилиндрическая линза записи, расположенная в горизонтальной плоскости, и зеркало, отражающее блики гальванометров на цилиндрическую линзу. С помощью этой линзы на ленте, протягиваемой в горизонтальной плоскости, экс-

<sup>1</sup> По измеряемым параметрам вычислительное устройство или бортовая ЭВМ АКС обеспечивает литологическое расчленение разреза скважины и выдает в осциллограф соответствующие индексы литологии в виде команд.

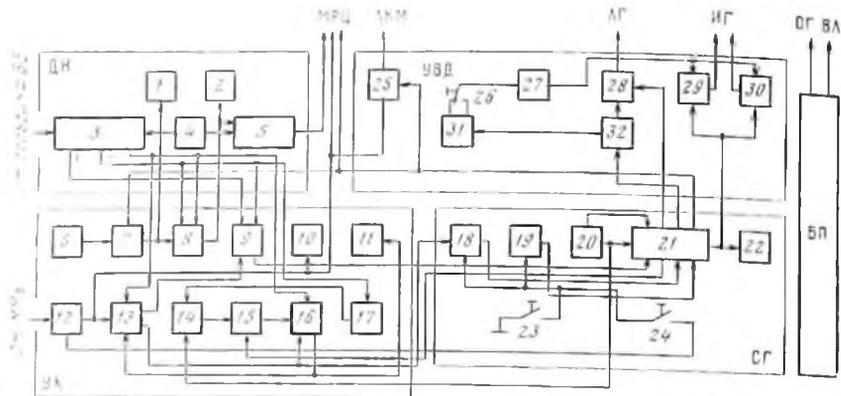


Рис. 8. Блок-схема пульта управления каротажным осциллографом Н028А

поируются кривые изменения измеряемых параметров. Одновременно часть бликов гальванометров попадает на шкалу визуального наблюдения, смонтированную на передней панели осциллографа.

I светолучевой блок жестко закреплен на основании осциллографа, а II—IV блоки могут перемещаться в горизонтальной плоскости против направления протяжки лент на расстояние до 50 мм по отношению к I блоку. Такой способ смещения обеспечивает более качественную запись и возможность учета смещения точек измерений в СП в диапазоне, в 2 раза большем, чем у осциллографа Н015.

Оптическая схема разграфки лент вертикальными масштабными линиями и горизонтальными линиями глубины и кабельных меток отличается от оптической схемы разграфки лент в осциллографе Н015 только тем, что все осветители для каждой ленты смонтированы в специальном блоке разграфки ленты и что предусмотрена вертикальная разграфка II дорожки второй ленты как в линейном, так и в логарифмическом масштабе.

Блок литологической колонки выполнен в виде трех ламп, освещающих через шторки определенной конфигурации ленту на линии записи бликов гальванометров. В зависимости от команды из АКС включается та или иная лампа блока и на ленте фиксируется соответствующий литологический индекс (условный знак литологин). Более четкая ошифровка лент по глубинам обеспечивается использованием вместо электромеханических счетчиков электронных четырехразрядных счетчиков, собранных на вакуумных цифровых индикаторах ИВ-9.

*Осветительные цепи и цепи управления осциллографом.* Управление осветительными и другими электрическими цепями осциллографа Н028А, как и в осциллографе Н015, сосредоточено в пульте управления (рис. 8). В пульт управления входят датчик направления движения и перемещения СП в скважине ДН, счетчик глу-

бин СГ, устройство коррекции УК, устройство выдачи данных УВД и блок питания БП.

Схема пульта управления работает в следующем порядке. Перед началом проведения измерений переключателем набора глубины 20 с помощью клавиши 23 и схем 18 и 19 соответственно для I, II и III—V разрядов СГ производится установка истинной глубины СП (с учетом цены «первой метки») на реверсивном счетчике 21 и индикаторе глубины 22. Одновременно переключателем 6 набора проектной глубины устанавливается проектная глубина (глубина, с которой планируется регистрация информации в цифровой форме регистратором МРЦ). С помощью клавиши 26 «10; 20» устанавливается оцифровка диаграммы через 10 или 20 м.

При перемещении СП в скважине фотодатчик 3, приводимый в движение от селсина-приемника ВЕ, аналогичный датчику ДН в осциллографе Н015, выдает через переключатель шага квантования 4 «0,05; 0,1; 0,2» сигналы глубин с шагом глубин  $\Delta$  и сигналы «+» (спуск СП) или «-» (подъем СП). Сигналы глубин с шагом  $\Delta = 0,1$  м через схему коррекции 13 и схему реверса 9 поступают на прямой или реверсивный вход счетчика 21. Из 21 глубина, преобразованная из двоичного в семиричный код, поступает на индикатор 22 для визуального наблюдения и через схему 27 на цифровые индикаторы глубины ИГ осциллографа, с помощью которого оцифровываются ленты. Сигналы на схему 27 подаются схемами 32 выделения нулей I и II декад счетчика и 31 формирования импульсов через 10 или 20 м перемещения СП в скважине. Экспозиция цифровых индикаторов ИГ определяется схемами 29 и 30.

Сигнал кабельной метки с магнитного меткоуловителя ММУ АКС поступает на формирователь 12, выдающий импульсы положительной и отрицательной полярности. Первые импульсы поступают на схему коррекции 13 для корректировки показаний счетчика глубин 21, на схему экспозиции линии кабельной метки ЛКМ 25 и на индикатор метки 10; вторые — через клавишу 24 в схемы 18 и 19 автоматического занесения глубины с переключателя 20 и цены первой метки в счетчик 21 по сигналу кабельной метки.

Формирование сигналов «тонких» и «жирных» горизонтальных линий глубин ЛГ осуществляется с помощью счетчика 21, схем 32 и 28. Коррекция показаний счетчика 21 выполняется путем автоматического занесения цены первой метки по сигналу кабельной метки. Электронное устройство обеспечивает прохождение сигнала только за 5 м до ожидаемого поступления сигнала метки на устье скважины или не более чем за 5 м после сигнала (т. е. в пределах «зоны» — 10 м). Коррекция происходит следующим образом. Значение цены первой метки, установленное на I и II декадах блока 20, поступает на сумматор 14. Сюда же для задания «зоны» (интервала  $\pm 5$  м) вводится постоянное число (5 — при подъеме и 95 — при спуске СП) со схемы формирования постоянного числа 17. При поступлении сигнала «-» с фотодатчика 3 в сумматоре 14 производится сложение указанного постоянного числа и цены первой метки и полученная сумма в двоичном коде

поступает на схему сравнения 15, куда непрерывно поступают (также в двоичном коде) значения I и II декад счетчика 21. При равенстве указанных величин (а оно может произойти только в пределах «зоны») схема 15 выдает импульс на схему формирования «зоны» 16. Последняя выдает разрешение в схему коррекции 13 на прохождение сигнала кабельной метки и сигнал на включение индикатора «зона» 11.

До прихода кабельной метки импульсы  $\Delta = 0,1$  м проходят через схему 13 на счетчик 21 без задержки. При приходе сформированной кабельной метки в схеме 13 вырабатывается запрет на прохождение следующего импульса  $\Delta$  на вход счетчика 21 и сигнал коррекции, который через схему 18 заносит в первые две декады счетчика 21 нули первой метки. Этим же сигналом схема 16 возвращается в исходное положение и включает индикатор зоны 11. Схема 16 имеет устройство, которое по сигналу «зона» начинает вести счет импульсов  $\Delta = 0,1$  м и по прохождении 10 этих импульсов выдает сигнал, возвращающий схему в исходное состояние и выключающий индикатор 11.

Выдача значений глубины в двоично-десятичном коде и сигналов  $\Delta = 0,05; 0,1$  или  $0,2$  м производится следующим образом. Со счетчика 21 значение глубины в двоично-десятичном ходе поступает на схему выдачи сигналов на МРЦ 5 и при приходе запроса выдает на МРЦ. Сигналы  $\Delta$  выдаются на МРЦ по следующему алгоритму. При спуске СП до достижения проектной глубины (ПГ) сигналы со схемы выдачи сигналов на МРЦ 5 не поступают. После прохождения ПГ и включения индикатора ПГ 1 начинают подъем СП. При подъеме СП на схему запрета 8 поступает команда «—» с фотодатчика 3 и при повторном достижении ПГ сигнал со схемы включения ПГ 7 включает индикатор ПГ 1, включает индикатор «зона» 2, схема запрета 8 дает разрешение на прохождение импульсов со схемы 5 через схему 25 на МРЦ с выдачей сигналов  $\Delta = 0,05; 0,1$  или  $0,2$  м в зависимости от положения переключателя 4.

В процессе проведения измерений с блока питания БП подается напряжение на осветители гальванометров ОГ и осветители вертикальных линий ВЛ осциллографа.

**Лентопротяжный механизм.** Лентопротяжный механизм осциллографа ЦОБЭА отделяется от лентопротяжного механизма осциллографа ЦОБ (см. рис. 7) в основном тем, что он встроен в корпус осциллографа, а на лицевой панели осциллографа крепятся только прилагаемые кассеты. Кроме того, в лентопротяжном механизме осциллографа ЦОБЭА отсутствует узел механического счетчика глубины, а индикация движения ленты и заезда ленты в магазинных кассетах производится с помощью специальных блоков, управляющих светодиодами на лицевой панели осциллографа. Блоки индикации движения ленты выполнены в виде дисков из диэлектрика с четырьмя адресованными металлическими вкладышами, попеременно включающими при движении ленты и вращении диска светодиоды над приемными кассетами. Блоки заезда ленты находятся над магазинными кассетами и представляют собой дружи-

нящие щупы, погруженные в кассету и в зависимости от глубины погружения (количества ленты, оставшейся в кассете) включающие соответственно светодиоды «0», «1», «3», «5», «10», «20», «30», «40» или «50» м на лицевой панели осциллографа над приемными кассетами.

## § 6. РАБОТА С ОСЦИЛЛОГРАФОМ

Работа с осциллографом сводится к заправке лент в лентопротяжные механизмы, вводу первоначальных уставок, включению осциллографа и контролю его работы. Все эти операции проводятся в соответствии с инструкциями по эксплуатации указанных типов осциллографов. Рассмотрим наиболее сложную операцию — первоначальные уставки для учета смещения точек записи различных параметров в СП и правильной разграфки и оцифровки по глубинам лент осциллографами Н015 и Н028А.

Для учета смещения точек записи различных параметров в СП определяют смещение цилиндрических линз (осциллограф Н015) или светолучевых блоков (осциллограф Н028А) по формулам:

$$l_{II-I-I} = L_{II-I} N_I; \quad (1.25)$$

для осциллографа Н028А

$$l_{II-II-I} = L_{III-I} N_{II}; \quad (1.26)$$

для осциллографа Н028А

$$l_{II-II-II} = L_{IV-I} N_{II}; \quad (1.27)$$

для осциллографа Н015

$$l_{II-II-II} = L_{III-IV} N_{II}; \quad (1.28)$$

где  $l_{II-I-I}$  — смещение цилиндрической линзы или светолучевого блока против II дорожки первой ленты по отношению к I дорожке в мм;  $l_{II-II-I}$  и  $l_{II-II-II}$  — смещения светолучевого блока против I и II дорожек второй ленты по отношению к I дорожке первой ленты в мм;  $l_{II-II-II}$  — смещение цилиндрической линзы против II дорожки второй ленты по отношению к I дорожке в мм;  $L_{II-I}$ ,  $L_{III-I}$  и  $L_{IV-I}$  — расстояния между точками записи I (основного) и II, III, IV датчиков в СП в мм;  $L_{III-IV}$  — расстояние между точками записи III и IV датчиков СП в мм;  $N_I$  и  $N_{II}$  — масштабы глубин I и II лентопротяжных механизмов. Величины  $l_{II-I-I} - l_{II-II-I}$  (для осциллографа Н028А) и  $l_{II-I-I} - l_{II-II-II}$  (для осциллографа Н015) устанавливают по нониусам на лицевой панели осциллографа.

При работе с осциллографом Н015 для правильной разграфки и оцифровки ленты по глубинам на пульте управления осциллографом устанавливают переключатели «задержка» в позицию, номер которой численно равен величине А, определяемой по формулам:

при привязке глубины на устье скважины и записи на подъеме

$$A = 10\pi - L_{1M} - 10^{-3} \cdot 12/N; \quad (1.29)$$

при привязке глубины на забое скважины и записи на подъеме

$$A = 10(n + 1) - L_n + 10^{-3} \cdot 12/N; \quad (I.30)$$

при привязке глубины на устье скважины и записи на спуске

$$A = 10n - L_{1m} - 10^{-3} \cdot 12/N, \quad (I.31)$$

где  $n$  — целое число, при котором  $A$  положительна и менее 10 м;  $L_{1m}$  — цена первой метки в м; 12 — смещение плоскости отметки глубины в осциллографе от плоскости измеряемого параметра в мм;  $N$  — масштаб глубины;  $L_n$  — цена забойной метки — расстояние от верхней метки на кабеле до точки записи основного параметра СП в м. Величина  $A$  рассчитывается с точностью до 0,1 м отдельно для каждой ленты и устанавливается на переключателях «задержка» пульта управления осциллографом.

При работе с осциллографом Н028А не требуется проводить расчета уставок  $A$ . На соответствующих переключателях пульта управления устанавливают глубину забоя скважины и проектную глубину, с которой планируется регистрация параметров в цифровой форме с помощью МРЦ. После занесения глубины забоя в реверсивный счетчик устанавливают на двух младших декадах переключателя величину  $L_{1m}$  с точностью до 0,1 м, учитывая, что  $L_{1m}$  не должна находиться в пределах 0—0,5 и 9,5—10,0 м (выполнение этого условия обеспечивается оператором АКС при разметке кабеля). Ввод этих уставок обеспечивает правильную разграфку и оцифровку лент по глубинам.

Применяемые в АКС светолучевые каротажные осциллографы обладают определенными ограничениями. Основные из них — необходимость обработки экспонированной ленты и сложность контроля процесса измерений по перемещению бликов гальванометров на шкалах визуального наблюдения. Для ликвидации этого ограничения проводятся работы по созданию светолучевого каротажного осциллографа с видимой (не требующей обработки) записью. Для этого используют источники ультрафиолетового освещения гальванометров и соответствующий фотоноситель, не чувствительный к видимой части оптического спектра.

Еще одним ограничением светолучевых каротажных осциллографов является низкая частотная характеристика измерительного канала и трудность использования таких осциллографов для регистрации высокочастотных процессов (например, волновой картины при акустическом каротаже). Регистрация таких процессов ранее проводилась каротажными осциллографами с электронно-лучевой трубкой вместо зеркальных гальванометров. В настоящее время ведутся работы по созданию светолучевых лазерных каротажных осциллографов с электронно-лучевой трубкой.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Основные параметры зеркальных гальванометров. Способы регулирования собственной частоты и критического сопротивления гальванометра.
2. Включение зеркального гальванометра в измерительный канал осциллографа.

3. Кинематические схемы каротажных осциллографов Н015 и Н028А.
4. Оптические схемы каротажных осциллографов Н015 и Н028А.
5. Управление автоматической коррекцией по глубинам, разграфкой и цифровкой лент в осциллографах Н015 и Н028А.
6. Включение и ввод предварительных уставок при работе с осциллографами Н015 и Н028А.

## ГЛАВА II

### ЭЛЕКТРОННЫЕ САМОПИШУЩИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРЫ

#### § 7. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

При регистрации величины какого-либо параметра электронным самопишущим потенциометром на его вход подается измеряемое напряжение  $U_1$ , а на реохорд  $R$  — напряжение  $U_2$  (рис. 9). С ползунка реохорда ПР снимается встречное компенсирующее напряжение  $U_k$ . Разность напряжений  $\Delta U = U_1 - U_k$ , обычно называемая н а п р я ж е н и е м н е б а л а н с а, подается на вход усилителя  $A$ . Усиленное напряжение небаланса приводит во вращение электродвигатель  $M$ , связанный с ползунком ПР реохорда. Двигатель  $M$  вращается в такую сторону, чтобы величина  $\Delta U$  уменьшилась, и останавливается при  $\Delta U = 0$ . В этом случае  $U_k = U_1$  и положение ползунка ПР фиксирует значение  $U_1$ .

Величина напряжения небаланса

$$\Delta U = R_2(U_1 - U_k)/(R_1 + R_2),$$

где  $R_1$  — сопротивление измерительного канала;  $R_2$  — сопротивление входа усилителя  $A$ .

Учитывая, что  $U_k = m\alpha$  (где  $m$  — постоянная по напряжению реохорда, приведенная к валу электродвигателя;  $\alpha$  — угол поворота вала электродвигателя от нулевого положения), получим

$$\Delta U = R_2(U_1 - m\alpha)/(R_1 + R_2). \quad (II.1)$$

В положении компенсации  $\Delta U = 0$ ,  $U_1 = m\alpha$  и

$$\alpha_k = U_1/m = U_1\alpha_0/R, \quad (II.2)$$

где  $\alpha_0$  — угол поворота оси электродвигателя от нулевого положения при перемещении ползунка ПР на длину реохорда  $R$ .

В потенциометрах с линейными реохордами перемещение ползунка ПР реохорда (в см) при положении компенсации

$$l_k = l_p(U_1/U_2), \quad (II.3)$$

где  $l_p$  — полная длина реохорда в см.

Из формулы (II.3) следует, что электронный самопишущий потенциометр может быть выполнен в трех модификациях:

а)  $U_2 = \text{const}$  и  $l_k = C_1/U_1$ , где  $C_1$  — коэффициент пропорциональности (в см/В); при такой схеме отклонение ползунка реохорда  $l_k$  пропорционально напряжению  $U_1$  на входе потенциометра;

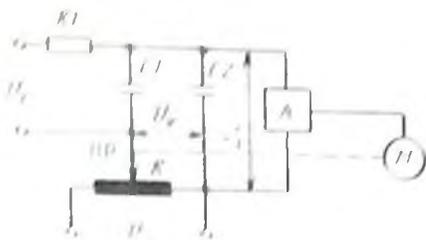


Рис. 10 Принципиальная схема электронного дифференциального потенциометра

отношению напряжений на входе потенциометра  $U_1$  и на реохорде потенциометра  $U_2$ .

Электронные самопишущие потенциометры общетехнического назначения, применяемые в автоматических газокаротажных станциях, автоматизированных системах исследования скважин в процессе бурения (потенциометры ЭПП-09МЗ, ЭППВ-60МЗ и КСП4), и каротажные электронные самопишущие потенциометры (ПАСК-8) являются потенциометрами первой модификации. Потенциометры второй модификации, служащие для занесения измеряемого параметра в гиперболическом масштабе, при геофизических исследованиях не используются. Потенциометры третьей модификации, позволяющие измерять отношение двух величин, выпускались ранее в виде логометрического каротажного потенциометра ЭПМ-2.

Электронный самопишущий потенциометр представляет собой механическую систему со сравнительно большим моментом инерции подвижной системы. Для успокоения системы вход потенциометра шунтируется емкостью  $C1$ . Поскольку емкость  $C1$  вместе с резистором  $R1$  выполняет роль входного  $RC$ -фильтра для защиты от помех переменного тока, ее величина выбирается несколько большей, чем это необходимо для нормального демпфирования. Для обеспечения нормального демпфирования в цепь компенсации последовательно включена емкость  $C2$ , которая одновременно улучшает работу  $RC$ -фильтра.

#### 5. ЭЛЕКТРОННЫЕ САМОПИШУЩИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ ГАЗОКАРОТАЖНЫХ СТАНЦИЙ

В промышленно-геофизической службе широкое распространение получили аналоговые регистраторы автоматических газокаротажных станций (АГКС) (см. гл. V), разработанные сначала на базе электронных самопишущих потенциометров ЭПП-09МЗ и ЭППВ-60МЗ, затем КСП4.

Применяемые в АГКС модификации потенциометра КСП4 (КСП4-283, КСП4-283-01, КСП4-283-02, КСП4-284 и КСП4-284-01) представляют собой электронные самопишущие мосты, производящие занесение в старт-стопном режиме (на неподвижной ленте фиксируются последовательно величины параметров группы, а затем

б)  $U_1 = \text{const}$  и  $I_k = C_2/U_2$ , где  $C_2$  — коэффициент пропорциональности (в см/В); при такой схеме отклонение  $I_k$  обратно пропорционально напряжению  $U_2$  на реохорде потенциометра;

в) напряжения  $U_1$  и  $U_2$  изменяются и  $I_k = C_3(U_1/U_2)$ , где  $C_3$  — коэффициент пропорциональности (в см); при такой схеме отклонение ползунка потенциометра  $I_k$  пропорционально

лента протягивается на шаг, пропорциональный заданному масштабу глубин  $N$  и шагу квантования по глубинам  $\Delta_r$ ) на ленте шириной 250 мм. Протяжка ленты осуществляется от шагового электродвигателя при подаче на него заданного числа  $m$  импульсов, при поступлении каждого из которых лента протягивается на длину 0,1 мм

$$m = 10^4 \Delta_r N, \quad (II.4)$$

где  $\Delta_r$  — 0,5 и 1,0 м (для КСП4-283-01, КСП4-283-02 и КСП4-284-01) или 0,4 и 0,8 м (для КСП-283 и КСП-284);  $N=1:500$  или  $1:200$ .

Лентопротяжный механизм и пишущее устройство смонтированы в выдвижном корпусе. Зарегистрированная диаграмма укладывается в виде гармошки. Потенциометры указанных модификаций являются многоточечными (трехточечными — КСП4-283, КСП4-283-01 и КСП4-283-02 или шеститочечными — КСП4-284 и КСП4-284-01)<sup>1</sup>. Указанные модификации потенциометров (кроме КСП4-284-01) имеют низкоомный вход, шкалу 0—10 мВ и подключение нуля органа потенциометра к соответствующему датчику с помощью коммутатора. Время пробега шкалы у всех этих модификаций потенциометра 1 с, привод печатающей каретки и коммутатора от синхронного электродвигателя. Управление работой потенциометров осуществляют специальные блоки управления. Потенциометр КСП4-284-01 имеет высокоомный вход и может выполнять запись измеряемого параметра на основной шкале  $(0 \div 5) \cdot 10^{-10}$  А и с помощью одного из калибровочных резисторов на входе, управляемых из АГКС (см. гл. V), загроублять эту шкалу в отношении 1:1, 1:10, 1:100 или 1:1000. В отличие от всех других модификаций указанных потенциометров, где регистрация серии из трех или шести параметров группы производится в непрерывном режиме, определяемом синхронным электродвигателем, в потенциометре КСП4-284-01 фиксация каждого параметра в одной серии производится только по внешним командам от специального пульта управления (см. гл. V). Для расширения динамического диапазона запись потенциометры КСП4-283 и КСП4-284 используются вместе с блоками преобразования и управления, в которых смонтирован кусочно-аппроксимирующий цифро-аналоговый преобразователь. С помощью этого преобразователя запись производится на кусочно-аппроксимированной шкале, на которой I дорожке 0—80 мм соответствуют числа 0—100, II дорожке 80—152 мм — числа 101—1000 и III дорожке 152—224 мм — числа 1001—10000. Возможна запись на линейной шкале 0—1 мВ с постоянной по напряжению 0,005 мВ/мм.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Принцип действия электронного самопишущего потенциометра и его возможные модификации.

2. Электронные самопишущие потенциометры КСП4-283 и КСП4-284 — основные характеристики и отличия.

<sup>1</sup> В потенциометрах КСП4-283 и КСП4-284 предусмотрена также непрерывная запись пером, устанавливаемым на пишущем устройстве, при непрерывной протяжке ленты со скоростью около 7200 мм/ч.

## ЦИФРОВЫЕ КАРОТАЖНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И РЕГИСТРАТОРЫ, БОРТОВЫЕ КАРОТАЖНЫЕ МИНИ-ЭВМ

### § 9. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРЕДСТАВЛЕНИИ И РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ В ЦИФРОВОЙ ФОРМЕ

Измеряемые при ГИС величины непрерывно изменяются с глубиной. Поэтому результаты ГИС при аналоговой регистрации изображаются в виде кривых зависимостей этих величин от глубины.

Для обеспечения интерпретации промыслово-геофизических и газокаротажных данных с помощью ЭВМ необходимо представить эти данные (измеряемые величины) в цифровой форме — перейти от непрерывных кривых к последовательности чисел  $a_{ji}$ , представляющих измеряемые величины на различных глубинах  $Z_i$ , где  $j$  — номер измеряемого параметра. Интервал между глубинами, на которых определяют значения геофизических и газокаротажных параметров, называют шагом квантования (дискретизации) по глубине. Он может быть постоянным (равномерная система квантования) или изменяться с глубиной (неравномерная система квантования). В общем случае цифровая запись результатов многоканальных измерений при равномерной системе квантования имеет вид

$$\begin{aligned} & Z_1 \{ a_{11}, a_{21}, \dots, a_{j1}, \dots \}; \\ & Z_2 \{ a_{12}, a_{22}, \dots, a_{j2}, \dots \}; \dots; \\ & Z_i \{ a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{ji}, \dots \}; \dots \end{aligned} \quad (\text{III.1})$$

Глубина  $Z$  определяется счетчиком глубины и при промыслово-геофизических измерениях корректируется по сигналам меток глубин, которые подаются через 10, 20 или 40 м перемещения кабеля в скважине. В равномерной системе квантования глубины можно не фиксировать, а определять по порядковому номеру записи  $i$ :

$$Z_i = Z_1 - \Delta i, \quad (\text{III.2})$$

где  $Z_1$  — глубина начальной точки записи;  $\Delta$  — шаг квантования по глубине.

При газовом каротаже, где измерения проводятся не при подъеме кабеля, а в процессе бурения при увеличении глубины, формула (III.1) принимает вид

$$Z_i = Z_1 + \Delta_f i, \quad (\text{III.3})$$

где  $\Delta_f$  — шаг квантования по глубине при газовом каротаже.

В случае равномерного квантования по глубинам без записи значений  $Z_i$  могут возникать ошибки в определении глубины вследствие неточности синхронизации преобразования. Во избежание этих ошибок последовательность чисел  $a_{ji}$  (III.1) разбивают на интер-

валы (зоны); к зоне относят числа, полученные в заданных интервалах глубин. При преобразовании промыслово-геофизических данных границы интервала определяют по кабельным меткам глубин.

При записи признака метки или ее глубины  $Z_n$  ( $n$  — номер метки) глубины, к которым относятся зафиксированные числа  $a_{ji}$ , определяют по формулам:

$$Z_i = Z_n - \Delta i'; \quad (III.4)$$

$$Z_i = Z_1 - (k-1)Z_m - \Delta i', \quad (III.5)$$

где  $i'$  — номер точки внутри зоны;  $Z_m$  — интервал глубин, соответствующий зоне (расстояние между метками на кабеле);  $k$  — номер точки.

Очевидно, что при определении глубин по (III.4) и (III.5) погрешность, возникающая из-за неточности синхронизации, уменьшается во столько раз, во сколько полный интервал каротажа больше интервала  $Z_m$ .

При равномерной системе квантования количество чисел в массиве в заданном интервале глубин определяется величиной  $\Delta$ . Оптимальной является  $\Delta$ , при которой отклонение кривой, построенной по цифровым данным, от непрерывной кривой не превышает допустимой погрешности геофизических измерений; при этом ошибки в определении глубины залегания и мощности пластов не должны быть больше заданной величины.

Для кривых электрического каротажа оптимальной при исследовании нефтяных и газовых скважин является  $\Delta = 0,1-0,2$  м. Для других видов каротажа (акустического, радиоактивного и т. п.) допустимые величины  $\Delta$  несколько больше. С учетом этого преобразование данных ГИС при исследовании нефтяных и газовых скважин обычно производится с  $\Delta = 0,2$  м. При газовом каротаже, который одной общей аномалией выделяет нефтегазоносные прослои с плотной перемычкой, измерения производят с большим шагом  $\Delta_r = 0,4$  или  $0,8$  м (величины, кратные  $0,2$  м; ранее в станции АГКС-4АЦ (см. гл. V)  $\Delta_r = 0,5$  или  $1$  м).

Неравномерная система квантования характеризуется тем, что цифровые данные регистрируются с неодинаковым (переменным) шагом квантования по глубине.

При проведении ГИС измеряемые величины преобразуются в цифровой код через заданный шаг  $\Delta$  и сравниваются с ожидаемыми числами  $a_{ji}$ , полученными двумя способами: а) в предположении постоянства измеряемой величины в  $k$ -м интервале глубин (способ ступенчатой аппроксимации),  $a_{ji} = a_{0j}$ ; б) в предположении линейного изменения этой величины в интервале (способ линейной аппроксимации)  $a_{ji} = a_{0j} + i\Delta a_j$ , где  $a_{0j}$  — показание в начальной точке  $k$ -го интервала;  $\Delta a_j$  — разность величин двух первых преобразований в интервале дискретизации. Отсюда следует, что при неравномерной системе квантования шаги квантования  $\Delta_{jk}$  и их глубины  $Z_{jk}$  неодинаковы для кривых различных



пендикулярных направлениях  $X$  и  $Y$ . Двухкоординатная система удобна для преобразования карт, коротких (до 1 м) диаграмм и графиков. Она применена в преобразователях, используемых в системах интерпретации данных каротажа «Комлог» (США) и др. Преимущество двухкоординатного следящего устройства — универсальность его применения, а недостаток — трудность преобразования длинных диаграмм.

При другом способе полуавтоматического слежения кривой диаграмма равномерно перемещается лентопротяжным механизмом и указатель следящего устройства перемещается оператором в направлении, перпендикулярном к перемещению диаграммы, до его совмещения с точкой на преобразуемой кривой. Этот способ имеет существенные преимущества перед двухкоординатным: а) простоту, надежность и небольшие габариты; б) возможность преобразования длинных диаграмм (до 10 м), что очень важно при его применении в промысловой геофизике; в) простоту временного согласования работы оператора и перфорирующих устройств, что особенно важно при работе с карточным перфоратором; г) более высокую производительность преобразования каротажных диаграмм.

Для преобразования перемещения следящего устройства в двоичный код применяются схемы «отклонение — код» с промежуточными преобразованиями «отклонение — напряжение» и «напряжение — код» или «отклонение — угол» и «угол — код».

В полуавтоматическом преобразователе Ф001 применяется второй способ, при котором перемещение следящего устройства (отклонение) преобразуется в угловое перемещение, а угловое перемещение — в код. В качестве датчика углового перемещения использован вращающийся трансформатор ВТ, включенный по схеме фазовращателя.

Преобразование производится через шаг  $\Delta = 0,5; 1$  или  $2$  мм, устанавливаемый оператором в зависимости от сложности преобразуемой кривой. Отклонение  $a_i$  кривой от ее нулевой линии преобразуется в восьмиразрядное число в двоично-восьмеричном коде. Это число, а также его масштаб (порядок  $p$ , выраженный двумя разрядами) записываются на перфоленте или перфокарте. Погрешность преобразования ординаты кривой при точном обводе ее копиром не превышает  $2\%$ , величина  $\Delta$  выдерживается с точностью  $0,5\%$ .

Запись показаний в одной точке составляет машинное слово, которое на перфоленте состоит из пяти строк (рис. 10, а): трех строк кода числа  $a_i$ , одной строки кода масштаба записи МЗ (два разряда) и признака характерной точки ХТ (один разряд) и одной строки признака конца слова КС. Номера (адреса) слов соответствуют номерам точек преобразования кривой. Величина геофизического параметра  $a_i$  и соответствующая ему глубина  $Z_i$  определяются по формулам:

$$a_i = na_0^p a_i, \quad (III.7)$$

$$Z_i = Z_1 - \Delta (i - 1)/N, \quad (III.8)$$

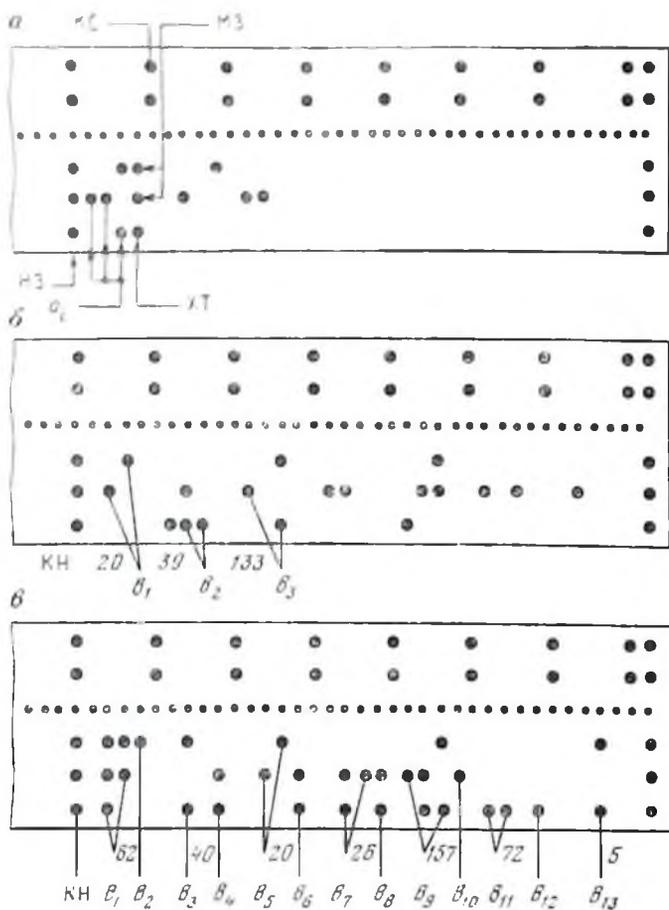


Рис. 10. Образцы (форматы) записи на перфоленде:

а — преобразователем Ф001, б — параметром II группы аппаратурой Ф005, в — параметром III группы аппаратурой Ф005. КН — код начала машинного слова

где  $n$  — масштаб параметра основной кривой;  $a_0$  — коэффициент кратности масштабов;  $p$  — показатель степени (порядок) коэффициента кратности;  $N$  — масштаб глубин, в котором зарегистрирована преобразуемая кривая. Цифровые данные на перфоленде могут быть разделены на зоны с помощью отметки ее начала (НЗ) и конца.

Протяжно-копировальный блок ПКБ преобразователя Ф001 (рис. 11) протягивает диаграмму равномерно со скоростями 1; 2; 4 или 8 м/ч, устанавливаемыми оператором в зависимости от сложности разреза. Во время перемещения диаграммы оператор перемещает копир К так, чтобы его острие все время совмещалось с преобразуемой кривой на диаграмме. Движение копира К передается ротору вращающегося трансформатора ВТ. Поворот ротора ВТ

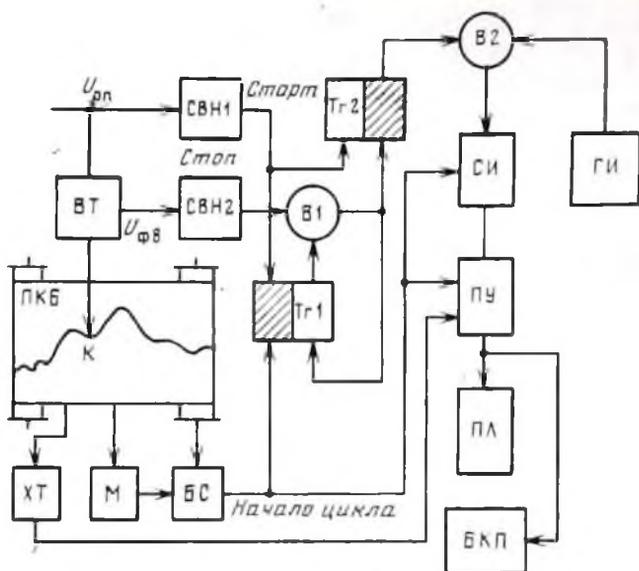


Рис. 11. Блок-схема полуавтоматического преобразователя «диаграмма—код» Ф001

вызывает сдвиг фазы напряжения (фазовращение)  $U_{фв}$  на выходе обмотки статора ВТ относительно опорного напряжения  $U_{оп}$  частотой 50 Гц, питающего обмотку ротора ВТ. Фазовый сдвиг между  $U_{фв}$  и  $U_{оп}$  пропорционален отклонению копира от нулевой линии диаграммы.

Напряжения  $U_{оп}$  и  $U_{фв}$  подаются на схемы выделения нуля СВН1 и СВН2, где формируют старт- и стоп-сигналы, соответствующие моментам прохождения напряжений  $U_{оп}$  и  $U_{фв}$  через нуль.

Цикл преобразования начинается с поступления синхронизирующего сигнала «начало цикла» с блока синхронизации БС. Этот сигнал очищает электронный двоничный счетчик импульсов СИ и опрокидывает триггер Tr1, открывая вентиль В1. При прохождении  $U_{оп}$  через нуль с СВН1 на триггеры Tr1 и Tr2 поступает «старт-сигнал». При этом триггер Tr1 переходит в положение, исключающее прохождение «старт-сигналов», а триггер Tr2 опрокидывается и открывает вентиль В2, который начинает пропускать от эталонного генератора импульсов ГИ сигналы частотой 10 кГц на счетчик СИ. При прохождении  $U_{фв}$  через нуль с СВН2 поступает «стоп-сигнал», возвращающий триггеры Tr1 и Tr2 в исходное положение. При этом триггер Tr2 закрывает вентиль В2 и прекращает поступление сигналов от ГИ на СИ, а триггер Tr1 подготавливается к приему следующего сигнала «начало цикла». Так как время между старт- и стоп-сигналами пропорционально времени сдвига напряжений  $U_{оп}$  и  $U_{фв}$ , число сигналов, сосчитанное счетчиком СИ, будет пропорционально величине отклонения копира ПКБ от нуле-

вой линии, т. е. величине  $a$ . Показания счетчика СИ через программное устройство ПУ преобразуются в двоично-восьмеричный код, который фиксируется ленточным перфоратором ПЛ двумя разрядами старшей триады ( $2^7$  и  $2^6$ ), тремя разрядами средней триады ( $2^5$ ,  $2^4$  и  $2^3$ ) и тремя разрядами младшей триады ( $2^2$ ,  $2^1$  и  $2^0$ ). Для фиксации результатов измерений на перфокартах в схему включен блок карточного перфоратора БКП. При прохождении отверстия характерной точки ХТ между лампочкой и фотодиодом схемы на соответствующей дорожке перфоленды пробивается отверстие, служащее признаком характерной точки (см. рис. 10, а). В случае прохождения между лампочкой и фотодиодом отверстия метки М на диаграмме включается протяжка каротажной диаграммы ПКБ. Отверстия характерной точки и метки глубины пробиваются на каротажной диаграмме против соответствующих отметок, нанесенных интерпретатором.

Преобразователь Ф014 — более совершенная модель преобразователя «диаграмма—код». Он удобнее в эксплуатации, поскольку оператору приходится перемещать копир не в вертикальной, а в горизонтальной плоскости, имеет индикационные устройства для контроля кода и величины преобразуемого параметра (ордината). Лентопротяжное устройство преобразователя дает возможность использовать для преобразования в цифровой код диаграммы шириной 120, 200 и 220 мм, длиной до 10 м. Служебная информация наносится на перфоленту в двоично-восьмеричном коде с помощью специальных клавиш.

В отличие от преобразователя Ф001 протяжно-копировальный блок преобразователя Ф014 протягивает обрабатываемую диаграмму в наклонной плоскости по направлению к оператору со скоростью, плавно изменяемой от 2 до 14 м/ч. Во время протяжки диаграммы оператор перемещает в горизонтальной плоскости копир, совмещая его с преобразуемой кривой диаграммы. Лентопротяжный механизм связан с электродвигателем через редуктор и электромагнитную муфту с распределительным устройством, позволяющим устанавливать шаг квантования 0,4; 0,5; 1; 2 или 4 мм (по длине протягиваемой диаграммы). Копир жестко связан с валом фотоэлектрического преобразователя «угол—код», представляющим собой стеклянную кодовую маску для непосредственного преобразования угла поворота вала в код, который через накопитель информации выдается на блок вывода, далее на кодовые реле ленточного перфоратора и на индикаторы кода.

Преобразователь Ф014 может работать в двух режимах: считывания при непрерывной протяжке ленты и считывания при дискретной протяжке диаграммы. В режиме считывания при непрерывной протяжке ленты запуск преобразователя производится с установленным шагом квантования по длине протянутой диаграммы. В режиме считывания при дискретной протяжке диаграммы преобразование и считывание производится только по команде оператора.

Преобразователь Ф001 предназначен для работы с ленточными перфораторами ПЛ-20 и ПЛ-У, рассчитанными на срабатывание

кодовых реле до 20 раз в 1 с, а преобразователь Ф014 — для работы с перфораторами ПЛ-80 и ПЛ-150, рассчитанными соответственно на срабатывание кодовых реле до 80 или 150 раз в 1 с.

#### § 11. ГАЗОКАРОТАЖНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

При проведении газового каротажа с помощью автоматической газокаротажной станции АГКС-4АЦ (см. гл. V) необходимо преобразовать в цифровую форму величины одновременно регистрируемых в аналоговой форме параметров II и III группы (в цифровой форме параметры I группы не регистрируются). Параметры II группы фиксируются в функции глубин с заданным шагом квантования  $\Delta_r = 0,5$  или 1 м. Параметры III группы, измеряемые с помощью хроматографа (см. гл. V), фиксируются в функции исправленных глубин с переменным, автоматически изменяющимся в зависимости от скорости бурения скважины шагом квантования по глубине

$$\Delta_{rx} = a\Delta_r, \quad (III.9)$$

где  $\Delta_{rx}$  и  $\Delta_r$  — в м;  $a$  — число сигналов глубин, поступивших с шагом  $\Delta_r$  за один цикл анализа хроматографа (см. гл. V).

Газокаротажный преобразователь Ф005 станции АГКС-4АЦ состоит из отдельных преобразователей для каждой группы параметров и общего блока питания. Поскольку аналоговая регистрация параметров II и III групп в станции АГКС-4АЦ производится электронными самопишущими потенциометрами с круговыми реохордами, для которых в момент фиксации величины параметра угол поворота ползунка реохорда пропорционален регистрируемой величине, схема преобразователя Ф005 аналогична схеме преобразователя Ф001 (см. рис. 11). Отличием является только то, что в Ф005 отсутствуют узлы ПКБ, ХТ, М, БС, БКП, вращающийся трансформатор ВТ установлен на валу ползунка реохорда аналогового регистратора, генератор импульсов ГИ нестабилизирован, а напряжение 50 Гц на ВТ получается от ГИ путем деления генерируемой им частоты (10 кГц) на 200.

При поступлении сигнала глубин  $Z$  с шагом  $\Delta_r$  на преобразователь параметров II группы или сигнала исправленных глубин  $Z_{II}$  с шагом  $\Delta_{rx}$  (точнее при последовательном поступлении сигнала  $Z_{II}$  с шагом  $\Delta_r$  и сигнала  $t_{II}$  об окончании очередного цикла анализа хроматографа) формируется команда «начало цикла» (см. рис. 11). По этой команде преобразователь подготавливается к регистрации серии значений параметров данной группы, на перфолену наносится код КН (рис. 10, б и в) — код начала машинного слова, относящегося к определенной точке разреза скважины, и преобразователь переходит в режим ожидания сигнала о фиксации аналоговым регистратором станции величины первого параметра  $b_1$  данной группы.

При поступлении с аналогового регистратора сигнала о печати на ленте величины соответствующего параметра на триггер Тг1

(см. рис. 11) подается команда, по которой счетчик импульсов СИ сбрасывает свои показания и устанавливается на нуль, а триггер Тг1 открывает клапан В1 для подачи стартового сигнала. По этому сигналу триггер Тг1 возвращается в исходное положение, исключающее поступление следующих стартовых сигналов во время цикла преобразования, а триггер Тг2 открывает клапан В2, обеспечивающий пропускание сигналов частотой 10 кГц от генератора импульсов ГИ на счетчик СИ. При поступлении стоп-сигнала триггер Тг2 запирает клапан В2 и счет импульсов прекращается.

Как и в аппаратуре Ф001, стартовые и стоп-сигналы получаются с помощью схем выделения нуля СВН1 и СВН2 в моменты прохождения через нуль соответственно напряжений  $U_{фв}$  с роторной и  $U_{оп}$  со статорной обмоток ВТ, примененного в преобразователе в качестве датчика «угол—временной интервал». Интервал времени, в течение которого открыт клапан В2 и СИ производит счет импульсов от ГИ, пропорционален углу поворота вала ползунка реохорда аналогового регистратора АГКС; поэтому показания СИ пропорциональны величине параметра, фиксируемого аналоговым регистратором АГКС. Показания СИ с помощью программного устройства ПУ преобразуются в двоично-восьмеричный код, который фиксируется перфоратором ПЛ.

Точность преобразования параметров в описанной схеме в значительной степени зависит от стабильности частот 50 Гц опорного напряжения, питающего ВТ, и 10 кГц, поступающей от генератора ГИ. Поскольку автоматическая газокоротажная станция может эксплуатироваться на буровых, где отсутствует промышленная сеть переменного тока и трудно добиться стабильности частоты источника питания, опорное напряжение 50 Гц для питания ВТ, как указывалось выше, получают от ГИ путем пересчета его сигналов в отношении 1 : 200. Это обеспечивает независимость погрешности преобразования параметров от нестабильности частоты ГИ и опорного напряжения, так как при уменьшении частоты ГИ пропорционально уменьшается частота опорного напряжения, т. е. пропорционально увеличивается интервал времени, в течение которого СИ считает сигналы от ГИ.

Форма записи газокоротажных параметров на перфоленде показана на рис. 10, б и в.

Глубина  $Z$ , к которой относятся зафиксированные величины параметров II группы, определяется по формуле (III.3), а для параметров III группы — по формуле

$$Z_i = Z_1 + \sum_1^r a_j \Delta r. \quad (\text{III.10})$$

С 1982 г. в связи с переходом станции АГКС-4АЦ на использование аналоговых регистраторов типа КСП4 с прямолинейным реохордом аппаратура Ф005 была несколько модернизирована. Вместо преобразователя «угол—временной интервал» с использованием ВТ, СВН1, СВН2 и ГИ (см. рис. 11) был применен преобразователь «напряжение—код» с использованием второго линей-

ного реохорда и преобразователя «напряжение—частота» ПНЧ. С выхода ПНЧ необходимое число сигналов подается на СИ. Зафиксированное СИ число через ПУ подается на ПЛ.

Общим ограничением аппаратуры Ф005 является фиксация информации в цифровой форме на двух перфолентах, зафиксированных соответственно в функции глубин с шагом  $\Delta_r$  и в функции исправленных глубин с шагом  $\Delta_{rx}$  (см. гл. V). Поэтому при обработке на ЭВМ требовались отдельный ввод этих перфолент и проведение с помощью ЭВМ операции редактирования, при которой параметры II и III групп совмещались по глубине. Еще одним ограничением цифровой регистрации аппаратурой Ф005 являлась фиксация при малых скоростях бурения случайных величин компонентного анализа и связанные с этим погрешности в обработке информации (так, при  $t_c$  хроматографа ХГ-1Г станции АГКС-4АЦ, равном 130 с, при скорости бурения около 1 м/ч и  $\Delta_r = 0,5$  между смежными сигналами  $Z_n$  окажется интервал времени 30 мин и на перфоленте параметров III группы фиксируются параметры только I и II-го анализов хроматографа, которые могут носить случайный характер).

Для устранения этих ограничений в новой геохимической компьютеризированной системе АГКС-5/АГИС-2 весь требуемый комплекс параметров фиксируется перфоратором ПЛ-150 на одной перфоленте. Для этого вся информация предварительно согласовывается по глубинам (см. гл. V) и регистрируется в функции времени с шагом квантования по времени, равном времени цикла анализа хроматографа.

## § 12. ЦИФРОВЫЕ КАРОТАЖНЫЕ РЕГИСТРАТОРЫ С ЗАПИСЬЮ НА МАГНИТНОЙ ЛЕНТЕ

Цифровая регистрация каротажных данных на буровой в процессе измерений обеспечивает более точное преобразование данных в цифровой код и их согласование по глубине, а также более оперативный ввод в ЭВМ или передачу на ВЦ геофизического предприятия.

Цифровые каротажные регистрирующие устройства должны удовлетворять следующим основным требованиям:

а) быть многоканальными, чтобы обеспечить проведение исследований с помощью комплексных скважинных приборов, измеряющих до восьми параметров одновременно;

б) не должны накладывать ограничений на скорости проведения каротажа;

в) обеспечивать возможность воспроизведения зарегистрированной информации в аналоговой форме для рассмотрения геофизических материалов непосредственно на буровой;

г) обеспечить ввод зарегистрированной информации в ЭВМ с помощью стандартных технических средств ЭВМ.

Этим требованиям лучше всего удовлетворяют цифровые каротажные регистраторы с магнитной записью. Они позволяют прово-

дить многоканальные исследования с большой скоростью, что очень важно при регистрации результатов исследований быстропротекающих процессов (например, при проведении волнового акустического каротажа, импульсного нейтрон-нейтронного каротажа ИННК). В СССР разработан ряд цифровых регистраторов с магнитной записью (табл. 1).

Таблица 1

Основные технические характеристики цифровых каротажных регистраторов и регистрирующих комплексов на магнитной ленте

| Характеристика  | АЦРК-2<br>«Тюмень»            | «Триас»            | ИВК-НО78          |
|---|-------------------------------|--------------------|-------------------|
| Число одновременно регистрируемых параметров                                  | 6                             | 16 (в том числе Z) | 9 (в том числе Z) |
| Шаг квантования по глубине $\Delta$ , м                                       | 0,1; 0,2                      | 0,01; 0,1;<br>0,2  | 0,05; 0,1;<br>0,2 |
| Дискретность преобразования сигналов, мкВ                                     | 25 или 250                    | 100 или 500        | 100               |
| Диапазон цифровой регистрации, дБ   | 80                            | 80                 | 84                |
| Частотный диапазон регистрируемых сигналов, Гц                                | 0—3                           | 0—3                | 0—2,5             |
| Носитель информации   | Магнитная лента шириной 25 мм |                    |                   |
| Максимальный интервал каротажа в м с записью на одной МЛ при $\Delta = 0,1$ м | 2500                          | 2000               | 2000              |
| Максимальная скорость каротажа при цифровой регистрации, м/ч                  | 3000                          | 5000               | 3600              |
| Питание:  |                               |                    |                   |
| напряжение, В   | $220 \pm 22$                  | $220 \pm 22$       | $220 \pm 22$      |
| частота, Гц   | $50 \pm 1$                    | $50 \pm 1$         | $50 \pm 1$        |

*Аппаратура АЦРК-2 «Тюмень».* Аппаратура цифровой регистрации данных каротажа АЦРК-2 «Тюмень» предназначена для преобразования измеряемого напряжения в цифровую форму и записи их на магнитной ленте МЛ для последующего ввода в ЭВМ ВЦ или передачи по каналам связи на ВЦ. Зарегистрированная информация может снова преобразовываться в аналоговую форму и регистрироваться с помощью каротажного осциллографа в виде каротажной диаграммы. Аппаратура позволяет также производить регистрацию при обработке данных РК, включая ИННК, и производить счет импульсов непосредственно от скважинного прибора.

При работе аппаратуры в режиме регистрации аналоговые сигналы ГИС с измерительной панели каротажной лаборатории поступают на входные усилители У (рис. 12), где усиливаются до уровня, достаточного для нормальной работы аналого-цифрового преобразователя АЦП. Усиленные сигналы подаются на коммутатор каналов КК и при поступлении сигнала глубины Z с шагом квантования  $\Delta$  устройство управления преобразованием УП начинает выдавать синхронимпульсы с частотой 100 кГц, которыми запускается

КК и шаговый двигатель лентопротяжного механизма накопителя на магнитной ленте НМЛ. Коммутатор каналов последовательно опрашивает выходы шести усилителей У и усиленные сигналы с них последовательно подаются на вход АЦП, где преобразуются в 11-разрядный двоичный код с одним масштабным разрядом.

Полученные в АЦП коды чисел  $a_{ji}$  поступают в буферное запоминающее устройство БЗУ. В регистре БЗУ числа  $a_{ji}$  формируются в восьмиразрядные байты и передаются в запоминающее устройство, где происходит накопление данных от всех регистрирующих каналов, включая код глубины, и формирование 16-байтового блока информации для каждой глубины  $Z$  с шагом  $\Delta$ .

При цифровой регистрации данных РК (ИННК и др.) импульсные сигналы из СП, минуя измерительную панель, подаются на вход шестиканального таймерного преобразователя ТП и оттуда непосредственно на регистр БЗУ. Дальнейшая обработка сигналов РК производится так же, как и для других видов каротажа. Цифро-аналоговый преобразователь ЦАП позволяет регистрировать закодированную информацию в аналоговой форме с помощью обычного светолучевого каротажного осциллографа ОК для визуального просмотра.

Панель набора информации ПНИ позволяет через БЗУ записать на магнитной ленте МЛ уставки (данные о скважине и условиях проведения каротажа — этикетку МЛ) в виде четырехразрядных десятичных чисел.

В режиме воспроизведения информация, считываемая с МЛ, поступает в БЗУ, а из него — на внешние устройства ВУ (ЭВМ, алфавитно-цифровое печатающее устройство (АЦПУ) и т. п.). Информация из БЗУ может быть выдана также через ЦАП на ОК и зафиксирована в виде каротажных кривых.

В аппаратуре АЦРК-2 применен специальный уплотненный формат записи на МЛ, не совпадающий с форматами ЭВМ серии ЕС: для представления величины параметра выделено 2 байта вместо 4; межблочный промежуток — 2—6 вместо 15—20 мм. Эти отличия исключают возможность непосредственного ввода зарегистрированной МЛ в ЭВМ. Для ввода информации используют аппаратуру АЦРК-2, которую стыкуют с ЭВМ, как периферийное старт-стопное устройство. Применение в АЦРК-2 уплотненного формата записи вызвано тем, что такой формат ускоряет передачу данных по каналам и увеличивает объем информации, которую можно записать на одной МЛ. Низкая плотность записи информации

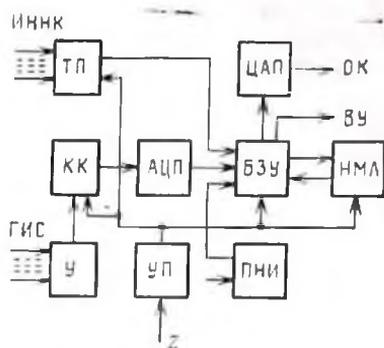


Рис. 12. Блок-схема аппаратуры цифровой регистрации данных каротажа АЦРК-2 «Тюмень»

(8 строк/мм) обеспечивает высокую надежность регистрации информации на МЛ и ее считывания с НМЛ в полевых условиях.

*Цифровой регистратор «Триас».* Данные, подлежащие регистрации, подаются на вход регистратора в аналоговой или цифровой форме и записываются на МЛ в цифровой форме в функции глубины скважины. Запись на МЛ выполняется в формате, обеспечивающем непосредственный ввод информации в ЭВМ серии ЕС. Зарегистрированные данные и результаты обработки на ЭВМ могут быть воспроизведены с помощью регистратора в аналоговой и цифровой формах.

Аналоговая информация АИ из каротажной лаборатории подается непосредственно на АЦП, где преобразуется в цифровую форму (рис. 13). Подключение измерительных каналов лаборатории к АЦП производится путем последовательного опроса аналоговых входов регистратора по командам, получаемым от контролера К. Регистратор имеет магистральную структуру на основе шин интерфейса по стандарту МЭК-625-1. Результаты преобразования сигналов  $a_{ji}$  передаются в интерфейс и затем в НМЛ для записи на МЛ в заданном формате. Управление передачей информации из АЦП в интерфейс и из интерфейса в НМЛ производится контролером К.

Цифровая информация ЦИ подается непосредственно на шины интерфейса, по которым поступает в НМЛ, где и фиксируется.

Определение глубины  $Z$  точки записи СП производится с помощью датчика глубин ДГ и счетчика глубин СГ. СГ определяет глубину  $Z$  и формирует и передает на шины интерфейса такты запуска регистратора в соответствии с выбранным шагом квантования по глубине  $\Delta$ , цифровые отсчеты величины  $Z$ , признаки меток глубины МГ и признаки направления перемещения СП в скважине. При работе регистратора в режиме воспроизведения СГ формирует и передает устройствам каротажной лаборатории сигналы МГ.

При воспроизведении информация поступает в ЦАП по шинам интерфейса и далее в цифровой форме передается в блок индикации БИ для визуального контроля каротажных данных и глубины при регистрации и воспроизведении. БИ производит индикацию фиксируемых данных в любом из шестнадцати каналов регистрации в зависимости от установленного номера канала.

Регистратор обеспечивает ряд режимов работы с учетом условий его применения в каротажных лабораториях и системах обработки данных: «контроль» — для контроля входной информации при подготовке к регистрации; «контроль с записью» — для оценки работоспособности регистратора и записи процедур подготовки к регистрации информации на МЛ; «запись метки начала файла» — для записи на НМЛ признака начала и номера файла; «запись провенок» — для регистрации положений нулей, калибровочных сигналов и других стандарт- и нуль-сигналов каротажной лаборатории; «запись данных» — для записи на МЛ величин  $Z$ , МГ и показаний измерительных систем в выбранных каналах регистрации; «запись метки конца файла» — для записи на МЛ признака конца файла и его номера; «поиск» — для поиска необходимой информации на

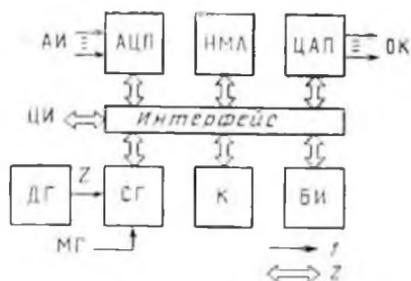


Рис. 13. Блок-схема цифрового каротажного регистратора «Триас». 1 — направление поступления сигнала; 2 — обмен информацией в обоих направлениях

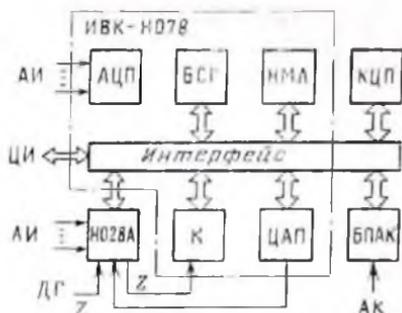


Рис. 14. Блок-схема расширенного регистрирующего комплекса ИВК-Н078

МЛ по меткам начала и конца файла; «воспроизведение» — для воспроизведения данных в аналоговой форме с помощью каротажного осциллографа ОК.

*Информационно-вычислительный регистрирующий комплекс ИВК-Н078.* Регистрирующий комплекс ИВК-Н078 предназначен для преобразования аналоговой информации АИ, поступающей из СП, ее обработки и регистрации в цифровой форме на МЛ в формате ЭВМ типа ЕС, а также приема цифровой информации ЦИ от СП и других цифровых внешних устройств.

Комплекс (рис. 14) включает многоканальные АЦП и ЦАП, НМЛ, блок согласования глубин БСГ, контролер К, а также интерфейс. С помощью интерфейса к ИВК могут быть подключены другие приборы, существенно расширяющие его функции. Так, подключение к комплексу ИВК-Н078 каротажного осциллографа Н028А позволяет непосредственно в процессе каротажа (или после проведения его) получить каротажные диаграммы. Подключение к комплексу панели быстродействующего преобразователя акустического каротажа БПАК с запоминающим устройством позволяет обеспечить цифровую магнитную запись волновых картин акустического каротажа. Совместное использование комплекса ИВК-Н078 с комплексными цифровыми скважинными приборами КЦП, выдающими информацию в двоичном коде, позволит обеспечить широкое внедрение многоканальной регистрации данных ГИС и возможность управления процессом каротажа с помощью бортовой ЭВМ.

Регистрирующий комплекс на базе комплекса ИВК-Н078 дает возможность осуществлять цифровую запись каротажных данных с помощью аналоговых или цифровых СП и воспроизводить информацию с МЛ.

В режиме цифровой записи АИ подается одновременно на входы восьми АЦП. Полученные двоичные коды через информационные шины интерфейса поступают на БСГ, где сдвигаются на заданные интервалы глубин, запоминаются и выдаются на НМЛ для записи

на МЛ. Одновременно из панели управления осциллографа Н028А через интерфейс на НМЛ поступает информация о глубине  $Z$  замера. Полученная цифровая информация может быть также подана на ЦАП, преобразована в аналоговую форму и зарегистрирована осциллографом Н028А в виде обычных каротажных кривых.

Цикл преобразования АИ и записи ЦИ на МЛ начинается по сигналу глубины  $Z$ , поступающему из осциллографа Н028А на контролер К. Контролер вырабатывает команды в соответствии с заданной программой регистрации, которые управляют обменом информацией и включением соответствующих устройств комплекса ИВК-Н078.

При работе с СП с цифровым выходом ЦИ поступает в интерфейс комплекса и по командам К подается на НМЛ для регистрации. Синхронизация приема ЦИ и ее регистрация производятся сигналами  $Z$ , поступающими из Н028А на К.

В случае, когда регистрируются данные волнового АК, поступающий из скважинного прибора акустический сигнал преобразуется и накапливается в запоминающем устройстве БПАК и по сигналу  $Z$  на К передается в интерфейс и затем в НМЛ для регистрации.

Запись ЦИ на МЛ производится в старт-стопном режиме блоками, содержащими информацию о параметрах, замеренных в  $i$ -м интервале квантования по глубине (при  $i$ -м сигнале  $Z$  с шагом  $\Delta$ ). При регистрации данных каротажа применяются 36-байтовые (малые) блоки записи (2048 байт), включающие информацию о двух волновых картинах (получаемых от ближнего и дальнего приемника СП). Форматы записи совместимы с ЭВМ серии ЕС и могут быть непосредственно введены в них с помощью НМЛ ЭВМ.

В режиме воспроизведения информация на МЛ считывается НМЛ и последовательно подается в интерфейс и на ЦАП. Аналоговый сигнал с выхода ЦАП поступает на гальванометры осциллографа Н028А и фиксируется на фотоленте в виде каротажных кривых. Считывание информации с МЛ осуществляется в старт-стопном режиме по сигналам  $Z$ , поступающим с Н028А, что облегчает синхронизацию и привязку к глубинам воспроизведенных данных. В результате воспроизведения получают каротажные диаграммы исходных данных ГИС в заданном масштабе глубин. В процессе воспроизведения данные различных параметров можно смещать и согласовывать по глубине с помощью БСГ.

Для обеспечения качественной цифровой регистрации данных каротажа методика регистрации должна включать следующие процедуры: проверку исправности цифрового регистратора; градуировку регистрирующей аппаратуры и регистрацию контрольной информации; запись признаков (кодов), предусмотренных форматом записи; регистрацию этикетки (информации о скважине и условиях проведения измерений); регистрацию каротажных данных и оценку качества полученной ЦИ.

Проверка исправности цифрового регистратора производится включением его в режим контроля с подачей на вход контрольного

сигнала  $U_k = 0$  и  $mC$ , где  $C$  — дискретность преобразования (цена разряда АЦП);  $m \geq 80$ . В режиме контроля по тактовым сигналам глубин  $Z$ , подаваемым разовым пуском или вращением сельсина (ИВК-Н078), производится преобразование сигнала  $U_k$ ; индикация результатов и запись на носитель цифровой информации. Запись сигнала  $U_k$  воспроизводится и сопоставляется с фактическими значениями.

Градуировка цифрового регистратора заключается в проверке показаний преобразователя при подаче на его вход нуль- и стандарт-сигнала или других градуированных сигналов. Показания АЦП цифрового регистратора (комплекса) не должны отличаться от номинального значения подаваемого на вход АЦП сигнала более чем на 10 %.

Формат записи предусматривает запись нуль- и стандарт-сигнала на МЛ в начале и конце каротажа. Запись каждого контрольного сигнала должна содержать не менее 10 отсчетов.

Запись этикетки производят в соответствии с инструкцией по эксплуатации конкретного цифрового регистратора.

Регистрация данных каротажа в цифровой форме включает запись контрольных показаний, результатов каротажа и перекрытий измерений в интервалах, в которых величина регистрируемого параметра превышает диапазон преобразования. В процессе регистрации проводят следующие операции: занесение на МЛ признаков начала записи; запись этикетки и признака ее конца, контрольных показаний при градуировке в процессе спуска в интервалы регистрации данных; запись результатов каротажа; фиксация контрольных показаний в конце интервала каротажа и результатов каротажа в интервале перекрытия; регистрация кривой КС в колонне при проведении электрического каротажа и нанесение признака конца записи.

### **§ 13. БОРТОВЫЕ УВК ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ КАРОТАЖНЫХ И ГАЗОКАРОТАЖНЫХ СТАНЦИЙ И СИСТЕМ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ**

В конце 70-х, начале 80-х годов началась разработка компьютеризированных лабораторий цифровых каротажных станций (ЛЦК), газокаротажных станций (АГКС) и систем исследований скважин в процессе бурения (АГИС) с бортовыми мини-ЭВМ. Применение бортовых мини-ЭВМ в ЛЦК связано с необходимостью повышения качества комплексированных измерений за счет программного управления станцией и оперативной обработки части полученной информации для выдачи заключений в процессе измерений. Если в ЛЦК основным является программное управление работой станции, то в АГКС и АГИС без бортовой мини-ЭВМ невозможно решить ряд задач, имеющих смысл только при оперативном решении (прогнозирование геологических объектов в разрезе скважины до их вскрытия с целью изменения режима бурения, прогнозирование аварийных ситуаций и т. п.). Поэтому до появления борто-

ние мини-ЭВМ АГКС оснащаются специализированными счетно-решающими устройствами.

Степенью требований предъявляемых к бортовым мини-ЭВМ для ЛЦК, АГКС и АГИС является трехкопичность, возможность эксплуатации в тяжелых условиях и дискомфортность, а также возможность объединения в трактуемого вычислительного комплекса (УВК) на базе мини-ЭВМ.

Как видно из табл. 2, в настоящее время делаются попытки решить вопроса об оснащении ЛЦК, АГКС и АГИС специализированными УВК необходимой конфигурации. УВК ПС-300 «Геохимия» ПС-315 «Геохимия» имеют весьма ограниченный комплекс периферийных устройств. УВК «Электроника-60» не выпускается и его приходится создавать разработчикам каротажных и газокаротажных станций и систем.

Таблица 2

Техническая характеристика УВК

| Показатель                  | УВК ПС-300 «Геохимия»<br>УВК ПС-315 «Геохимия»             | УВК на базе мини-ЭВМ<br>«Электроника-60»<br>или «Электроника-81»  |
|-----------------------------|--|---|
| Состав УВК, без мини-ЭВМ:   |  |   |
| устройство ввода            | Фотоввод с перфоленты                                      | С магнитного накопителя на ленте МНЛ                              |
| программ дисплей            | Нет  | Символьнографический  |
| АЦПУ                        | Узкоформатное  | Нет   |
| цифровой регистратор        | П.Л-150  | МНЛ   |
| дополнительные устройства   | Устройства связи с приборами АГИС в виде интерфейсных карт | Нет   |
| Параметры мини-ЭВМ          |  |   |
| Длина слов, бит             | 16   | 16  |
| Принцип действия            | Параллельный   | Параллельный  |
| Система команд              | Одноадресная, безадресная                                  | Одноадресная, безадресная, двухадресная                           |
| Виды адресации              | Непосредственный, прямой, косвенный                        | Регистровый, косвенно-регистровый, индексный и косвенно-индексный |
| Система прерываний          | Сменно-приоритетная, одноуровневая                         | Трехуровневая   |
| Число основных команд       | 40   | 61  |
| Емкость ОЗУ                 | 16 шестнадцатиразрядных килослов                           | 4 шестнадцатиразрядных килослова                                  |
| Возможность наращивания ОЗУ | Нет  | До 56 килослов  |

Первой отечественной компьютеризированной станцией была станция АГКС-5/АГИС-2. Для нее на базе мини-ЭВМ ПС-300 и ПС-315 был впервые разработан УВК в трехкопичном исполнении, рас-

считанный на монтаж в транспортных средствах, на которых монтируются ЛЦК, АКС и АГИС, и длительную эксплуатацию в полевых дискомфортных условиях. Несмотря на ряд ограничений этих ЭВМ [невысокое быстродействие, недостаточная емкость памяти, отсутствие постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) программ, неточный и непрограммируемый таймер], они имеют ряд преимуществ перед другими ЭВМ, благодаря которым они применяются в качестве бортовых ЭВМ. К этим преимуществам следует отнести применение процессоров с переменной длиной команд, экономящей память, большую разрядность машинного слова, большое число каналов ввода—вывода для подключения устройств АГКС и простые алгоритмы системного интерфейса.

В настоящее время конструкторскими организациями Мингео СССР и Миннефтепрома разрабатываются УВК на базе мини-ЭВМ «Электроника-60» или других моделей «Электроника». Как видно из табл. 2, состав УВК все время увеличивается и аппаратура компьютеризированных ЛЦК, АГКС и АГИС становится все более сложной. Поэтому кроме известных задач управления и оперативной обработки информации для бортовых мини-ЭВМ геофизических станций добавляется задача оперативной диагностики состояния узлов станции или системы с выдачей в случае отказа информации об отказавшем блоке до уровня сменной печатной платы для ее оперативной замены.

#### **§ 14. ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ КАРОТАЖНЫЕ МИНИ-ЦЕНТРЫ**

Основной объем обработки данных ложится на ВЦ, базирующиеся в экспедициях Мингео СССР и в геофизических трестах Миннефтепрома. Эти ВЦ в основном оснащаются мощными ЭВМ серии ЕС. Однако при небольших объемах ГИС и в сложных условиях Сибири и Севера (отсутствие квалифицированных кадров, дискомфортность) создание экспедиционных ВЦ (ЭВЦ) на ЭВМ серии ЕС становится нецелесообразным. В этих условиях производится оснащение геофизических предприятий малыми вычислительными центрами (КМВЦ), снабженных дискомфортными мини-ЭВМ, например типа «Электроника», аналогичных используемому в качестве бортовых ЭВМ АКС, АГКС или АГИС (см. табл. 2). НПО «Нефтегеофизика» совместно с ПГО «Оренбурггеология» разработан мини-центр КМВЦ-1, внедренный в ряде экспедиций Западной Сибири.

КМВЦ-1 состоит из мини-ЭВМ «Электроника-ДЗ-28» (по техническим характеристикам близкую к мини-ЭВМ «Электроника-60») с оперативной памятью 16 кБайт и памятью на cassette МК-60 200 кБайт, пишущий автомат «Оргтекст» с двумя считывающими с перфолент устройствами, двумя ленточными перфораторами, АЦПУ типа «Консул» и центральным пультом управления. Специальный интерфейс позволяет связывать мини-ЭВМ не только с периферийными устройствами «Оргтекста», но и с преобразовате-

лем Ф014 для ввода информации с каротажных диаграмм и с 4-канальным электронным самопишущим потенциометром НЗ7110-4К для регистрации обработанной информации. Диалог между оператором и мини-ЭВМ производится с помощью АЦПУ.

Разработан также КМВЦ на базе ЭВМ серии СМ с включением в КМВЦ рудонного магнитного накопителя МНЛ-Р и дисплея. Такие КМВЦ позволяют обрабатывать информацию, зарегистрированную на магнитной ленте, и вести более оперативный диалог между оператором и ЭВМ.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Регистрация параметров в цифровой форме.
2. Принцип действия и блок-схемы преобразователей «диаграмма—код» Ф001 и Ф014.
3. Принцип действия и блок-схемы цифровых каротажных регистраторов «Тюмень» и «Триас».

#### ГЛАВА IV

### АВТОМАТИЧЕСКИЕ КАРОТАЖНЫЕ СТАНЦИИ С ФОТОЗАПИСЬЮ

#### § 15. ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЯ НА МНОГОЖИЛЬНОМ КАБЕЛЕ

В 70-е годы наиболее распространенной автоматической каротажной станцией с фотозаписью являлась станция, состоящая из самоходного каротажного подъемника (СКП) с многожильным (трехжильным или семижильным) бронированным кабелем и лаборатории АКС/Л-7.

Измерительная схема АКС/Л-7 при электрическом каротаже на семижильном кабеле рассчитана на одновременную запись трех кривых КС и кривой ПС. Схемы измерительных каналов АКС/Л-7 для записи кривых КС (каналов КС) одинаковы, поэтому достаточно рассмотреть принципиальную электрическую схему АКС/Л-7 при одновременной записи кривых КС и ПС на трехжильном кабеле (рис. 15).

При записи кривых КС и ПС токовые электроды АВ (токовая цепь) АКС/Л-7 питаются от электромашинного усилителя  $U$  переменным синусоидальным током частотой 6—8 Гц. Сила тока в токовой цепи устанавливается с помощью нагрузочного переменного резистора  $R_n$  и в дальнейшем стабилизируется электронным генератором  $G$ . Измеряемый сигнал  $\Delta U_{КС}$  с измерительных электродов  $MN_1$  поступает на вход канала КС1, который включает разделительную емкость  $C$ , делитель напряжения  $R$  для установки соответствующей постоянной гальванометра в измерительном канале по напряжению  $K_{УК}$  и мостиковый фильтр  $Z1$ , защищающий канал КС от переменного тока промышленной частоты. Затем измеряемый сигнал выпрямляется и через фильтр низкой частоты  $Z2$  подается на гальванометры  $PS1—PS3$  канала. Выпрямление из-

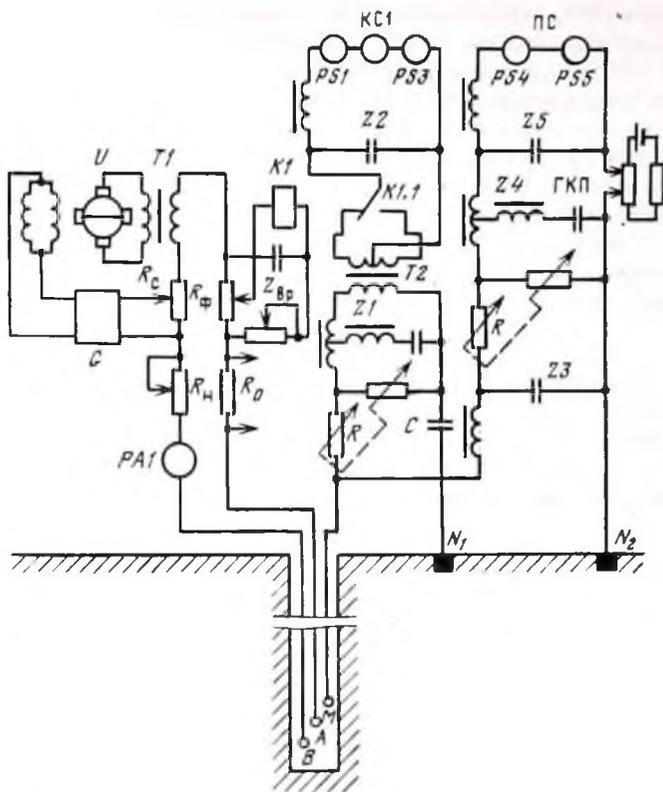


Рис. 15. Принципиальная измерительная схема лаборатории автоматической каротажной станции АКС/Л-7

меряемого сигнала осуществляется механическим фазочувствительным выпрямителем, собранным на трансформаторе  $T2$  и поляризованным реле  $K1$ , фаза переключения которого может регулироваться с помощью фазовращающей ячейки  $Z_{вр}$ .

В лабораториях АКС с фотозаписью применяется некомпенсационный способ измерений, при котором постоянная гальванометра в измерительном канале по напряжению  $K_{Uк}$ , обычно обозначаемая  $m$  (в мВ/см), зависит от сопротивления цепи измерительного канала:

$$m = 10^{-3} K_{Uк} R, \quad (IV.1)$$

где  $K_{Uк}$  — в мкА/см;  $R$  — сопротивление измерительного канала, включая сопротивление электродов  $M$  и  $N_1$ .

Если под действием измеряемого сигнала  $\Delta U_{Uк}$  блик гальванометра отклонится на  $l$  (в см), величина  $\Delta U_{Uк}$  (в мВ) будет

$$\Delta U_{Uк} = ml. \quad (IV.2)$$

Напряжение, соответствующее отклонению блика гальванометра на определенную шкалу (обычно 8 см), называют пределом измерений. Требуемый предел измерений устанавливается с помощью делителя  $R$ .

Для получения правильных результатов при некомпенсационном способе измерений необходимо обеспечить постоянство сопротивления измерительного канала и его равенство расчетному значению. Это достигается также с помощью делителя напряжения  $R$ . Для записи кривой КС в требуемом масштабе  $n$  (в Ом·м/см) необходимо через токовую цепь (электроды  $AB$  зондовой установки) пропустить ток  $I_T$  (в мА), определяемый из выражения

$$\rho = K \Delta U_{КС} / I_T, \quad (IV.3)$$

где  $\rho$  — кажущееся удельное сопротивление горной породы в Ом·м;  $K$  — коэффициент зонда в м;  $\Delta U_{КС}$  — в мВ.

Полагая,  $\Delta U_{КС} = m$  и  $\rho = n$ , из выражения (IV.3) получаем величину  $I_T$ , при которой измерительный канал АКС/Л-7 с постоянной по напряжению  $m$  регистрирует кривую КС в масштабе  $n$ :

$$I_T = K(m/n). \quad (IV.4)$$

Подсчитав величину  $I_T$ , с помощью переменного резистора  $R_{II}$  можно установить ее по миллиамперметру  $РАI$ . Однако такой метод установки тока предъявляет очень высокие требования к классу миллиамперметра, размерам его шкалы и точности регулирования постоянной измерительного канала по напряжению. Поэтому в практике промыслово-геофизических измерений принят более удобный и точный способ регулирования тока по отклонению  $l$  блика гальванометра. Как известно, при регистрации кривой КС

$$\Delta U_{КС} = I_T \rho / K = I_T R_э, \quad (IV.5)$$

где  $R_э$  — эквивалентное сопротивление, равное  $\rho/K$ , при включении которого в цепь электродов  $AB$  образуется тот же сигнал  $\Delta U_{КС}$ , что и на измерительных электродах зонда с коэффициентом  $K$  против пласта с кажущимся сопротивлением  $\rho$ . Учитывая, что  $\Delta U_{КС} = ml$ ,<sup>\*</sup> получим

$$l = (I_T R_э) / m = R_э S_э, \quad (IV.6)$$

где  $S_э$  — чувствительность измерительного канала по эквивалентному сопротивлению в см/Ом.

Из (IV.6) следует, что, если вместо эквивалентного сопротивления  $R_э$  взять общий для токовой и измерительной цепей резистор  $R_0$ , для записи кривой КС в масштабе  $n$  необходимо установить такую силу тока  $I_T$  в токовой цепи, чтобы отклонение блика гальванометра

$$l = (R_0 K) / n = R_0 S_э, \quad (IV.7)$$

где  $S_э = K/n$ . При таком способе установки тока  $I_T$  погрешность определения  $m$  не играет роли и требуемая точность записи кривой КС зависит только от точности подгонки величины сопротивления резистора  $R_0$  и удобства контроля отклонения блика галь-

ванометра  $l$ . Поэтому в токовую цепь лаборатории АКС/Л-7 включен эталонный резистор  $R_0$ , обычно называемый контрольным шунтом, который для установки требуемого тока  $I_T$  в токовой цепи может быть подключен к входу измерительного канала КС1. В этом положении добиваются требуемого масштаба записи  $n$  в Ом·м/см, устанавливая с помощью переменного резистора  $R_n$  в токовой цепи и делителя напряжения  $R$  отклонение блика гальванометра  $l$  в соответствии с (IV.7).

Разность потенциалов  $\Delta U_{ПС}$  с измерительных электродов  $M$  и  $N_2$  поступает на вход канала ПС, который включает входной фильтр  $Z3$ , делитель напряжения  $R$  и фильтры низкой частоты  $Z4$  и  $Z5$ , ослабляющие переменный ток, вызванный сигналом  $\Delta U_{КС}$ . На выходе измерительного канала ПС установлены гальванометры  $PS4$  и  $PS5$ . При записи кривой ПС должна учитываться фактическая величина постоянной по напряжению измерительного канала  $m$ , но требования к точности записи кривой ПС невелики и не накладывают особых ограничений на точность регулирования величины  $m$ . Для смещения кривой ПС на ленте в процессе измерения в измерительный канал ПС включается градуированный компенсатор поляризации (ГКП), позволяющий вводить в канал градуированную в мВ разность потенциалов требуемого знака.

При регистрации кривой температуры или диаметра скважины скважинный прибор питается постоянным током от стабилизированного источника питания. Запись кривой производится каналом КС. Для получения кривой температуры или диаметра скважины в масштабе  $n$  в °С/см или см/см по аналогии с (IV.7) требуется установить с помощью переменного резистора  $R_n$  ток по миллиамперметру  $PA1$ , при котором при подключении измерительного канала к контрольному шунту  $R_0$  отклонение блика гальванометра

$$l = (R_0 C) / n, \quad (IV.8)$$

где  $l$  — в см;  $R_0$  — в Ом;  $C$  — постоянная термометра или каверномера в °С/Ом или в см/Ом.

При проведении радиоактивного каротажа СП также питается стабилизированным постоянным током, устанавливаемым по миллиамперметру  $PA1$  с помощью резистора  $R_n$  в соответствии с паспортными данными СП. В каналах измерителей скорости счета (см. гл. X) пульта радиоактивного каротажа импульсы различной полярности от индикаторов каналов ГК и НГК (или ННК) СП преобразуются в постоянный ток, который пропорционален числу поступивших за определенный промежуток времени однополярных импульсов. Выходы каналов измерителей скорости счета ГК и НГК (или ННК) пульта подключены к гальванометрам каналов КС и ПС. Для компенсации фона НГК в канал ПС включается ГКП. Градуировка измерительного канала производится с помощью калибратора пульта РК, подающего на интегрирующую ячейку канала измерителя скорости счета фиксированное число импульсов в еди-

ницу времени. С помощью переключателей в пульте РК отклонение блоков гальванометров устанавливается

$$l = N/n, \quad (IV.9)$$

где  $l$  — в см;  $N$  — интенсивность измеряемого радиоактивного излучения — число имп/мин, получаемое от калибратора пульта РК;  $n$  — заданный масштаб записи кривой РК в (имп/мин)/см.

## § 16. ЛАБОРАТОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КАРОТАЖНОЙ СТАНЦИИ ЛКС-7-02

Основным типом выпускаемой в настоящее время АКС/Л является самоходная лаборатория каротажной станции ЛКС-7-02. Хотя лаборатория ЛКС-7-02 (рис. 16) рассчитана на измерения с одно-, трех- или семижильными бронированными каротажными кабелями, она в большинстве случаев ориентирована на работу с комплексными СП на одножильном кабеле.

Скважинный прибор через линию кабеля ЛК (см. рис. 16) связан с панелью коммутации ПК, к которой подключены функциональные измерительные пульта: ИПЧМ2-А — для комплексных скважинных приборов с частотно-модулированным телеизмерительным каналом (см. гл. VI) и ИПРКУ-А для СП радиоактивного каротажа (см. гл. X). Для проведения измерения с различными типами СП предусмотрено использование их наземных пультов в унифицированных каркасах (УТК или НГ) в качестве сменных. Сменные пульта в каркасах УТК устанавливаются вместо пультов ИПЧМ2-А или ИПРКУ-А и подключаются к ЛК через ПК, а сменные пульта в каркасах НГ устанавливаются в специальные отсеки и соответствующий СП подключается к ним непосредственно через ЛК.

ЛКС-7-02 питается переменным током частотой 50 Гц, напряжением 220 В от сети переменного тока буровой. Питание функциональных блоков и комплексных СП производится от унифицированного источника питания УИП-К, включающего блок трансформаторов БТ УИП-К и блок стабилизаторов БС УИП-К и выдающего нестабилизированное и стабилизированное напряжение переменного тока. Питание комплексных СП с частотно-модулированным телеизмерительным каналом производится переменным током частотой 300—400 Гц, получаемым от унифицированного генератора УГ-1 через пульт ИПЧМ2-А.

Блок управления скважинными приборами БУСП предназначен для питания СП и для контроля напряжения и частоты цепи переменного тока лаборатории ЛКС-7-02. БУСП обеспечивает питание СП переменным током частотой 50 Гц с регулируемым напряжением 150—400 В и постоянным стабилизированным током с напряжением 50—300 В.

Измеряемые сигналы из СП по ЛК подаются в панель коммутации ПК. С ее помощью ЛК подключается ко входу соответствующего функционального пульта, а выходы измерительных каналов

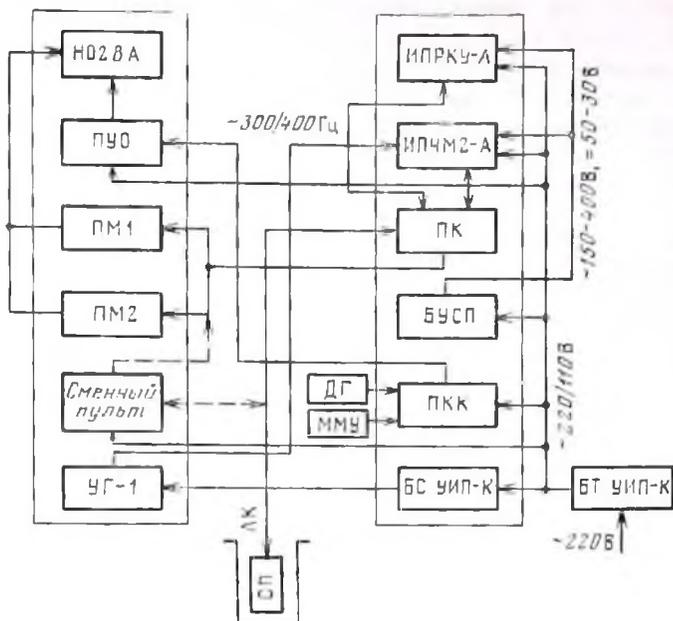


Рис. 16. Блок-схема картажной лаборатории ЛКС-7-02

этого пульта — к входу панелей переключения масштабов ПМ1 и ПМ2. Подключение соответствующего функционального пульта производится с помощью коммутационных колодок ПК.

Идентичные четырехканальные панели переключения масштабов ПМ1 и ПМ2 предназначены для грубой установки и плавной регулировки масштабов регистрации измеряемых параметров. Схема измерительного канала ПМ включает делитель напряжения для грубой установки масштаба регистрации, спаренный переменный резистор для плавной установки масштаба записи, ГКП и кнопки для контроля нуля осциллографа. Схема устройств для регулирования масштаба записи в основном аналогична одноименным устройствам *R* лаборатории АКС/Л-7 (см. рис. 15). Грубая установка масштаба регистрации (предела измерения) осуществляется с помощью двух магазинов резисторов, включенных последовательно и параллельно в измерительный канал и управляемых спаренным переключателем так, что при изменении предела измерения обеспечивается равенство входного и выходного сопротивления канала и их неизменность в пределах  $600 \pm 60$  Ом. Позиции переключателя указывают коэффициент закругления постоянной по напряжению измерительного канала. Спаренные переменные резисторы, также включенные последовательно и параллельно в измерительный канал, позволяют плавно изменять величину постоянной по напряжению канала в интервале между соседними позициями переключателя пределов измерения.

С выхода ПМ измеряемый сигнал подается на вход соответствующего канала каротажного осциллографа Н028А.

Управление работой осциллографа Н028А производится с помощью пульта управления осциллографом ПУО (см. § 5), который обеспечивает регистрацию результатов промыслово-геофизических измерений в масштабе глубин с коррекцией по кабельным меткам. Для этого ПУО связан с панелью контроля каротажа ПКК, к которой подключены датчик глубин ДГ и магнитный меткоуловитель ММУ.

ПКК включает датчик и указатель скорости перемещения СП в скважине, усилитель меткоуловителя ММУ, электропривод осциллографа Н028А, указатель натяжения кабеля в скважине и сигнальную схему противоаварийного устройства СКП. Датчик указателя скорости представляет собой установленный на валу сельсина-приемника диск с отверстиями, через который происходит засвечивание фотодиодов. В указателе скорости перемещения СП в скважине импульсы, поступающие с фотодиодов, усиливаются, формируются и частота следования импульсов подается на индикатор, позволяющий измерять скорость перемещения СП в скважине в диапазоне 150—1000 или 150—10000 м/ч. Указатель натяжения кабеля в скважине дает возможность контролировать его величину и принимать противоаварийные меры. Сигнальная схема противоаварийного устройства служит для сигнализации о приближении СП к устью скважины. Сигнальная лампочка ПКК включается контактами микровыключателя, установленного на валу лебедки СКП при подъеме СП до заданной глубины.

Лаборатория ЛКС-7-02 монтируется в утепленном кузове СГК-66 или в кузове типа КУНГ-66 на шасси автомобиля ГАЗ-66. Аппаратура лаборатории выполнена в виде стенда и силовой стойки. В стенде смонтированы генератор УГ-1, панели переключения масштабов ПМ1 и ПМ2, осциллограф Н028А и пульт управления осциллографом ПУО. В стенде имеются отсеки для двух сменных пультов в каркасах НГ. В силовой стойке смонтированы блок стабилизаторов унифицированного источника питания БС УИП-К, панель контроля каротажа ПКК, блок управления скважинными приборами БУСП, панель коммутации ПК и пульта ИПЧМ2-А и ИПРКУ-А. Рядом со стойкой расположен блок трансформаторов и источника питания БТ УИП-К.

При наличии соответствующих сменных пультов ЛКС-7-02 позволяет проводить электрический каротаж, измерение резистивныметром, микрокаротаж, боковой каротаж, боковой микрокаротаж, индукционный, радиоактивный, акустический каротаж, измерения скважины термометром, каверномером, профилемером, инклинометром, пластовым наклономером и контроль цементирования скважины.

#### **§ 17. ЛАБОРАТОРИИ ЦИФРОВОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КАРОТАЖНОЙ СТАНЦИИ**

В настоящее время серийно выпускается лаборатория цифровой автоматической каротажной станции ЛЦКС-10-01 с записью регистрируемой информации в цифровой форме на магнитную ленту (рис 17).

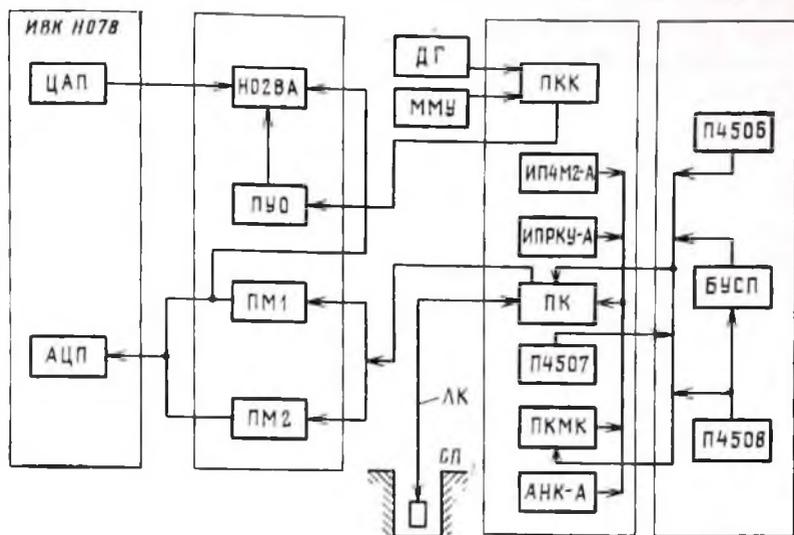


Рис. 17. Блок-схема цифровой автоматической каротажной станции с магнитной записью ЛЦКС-10-01

Скважинный прибор СП через линию кабеля ЛК связан с панелью коммутации ПК, к которой подключены функциональные измерительные пульта ИПЧМ2-А — измерительный пульт для комплексных скважинных [приборов на одножильном бронированном кабеле с частотно-модулированным телен измерительным каналом, ИПРКУ-А — измерительный пульт радиоактивного] каротажа, ПКМК — измерительный пульт электрического каротажа на многожильном кабеле, АНК-А — измерительный пульт акустического каротажа.

Питание комплексного скважинного прибора и функциональных блоков производится с помощью силового трансформатора П4508, переменным током частотой 50 Гц с постоянным и регулируемым напряжениями — блоком П4506, переменным током частотой 300—440 Гц — блоком П4507 и вспомогательных (например, прижимных) устройств СП — блоком управления скважинного прибора БУСП.

Сигналы, пропорциональные величинам измеряемых параметров, поступают с СП через ЛК на панель коммутации ПК и через нее на соответствующий функциональный пульт. Далее с этих пультов через ПК и панели переключения масштабов ПМ1 и ПМ2 измеренные сигналы идут на вход аналогового регистратора — каротажного осциллографа Н028А и через АЦП ИВК-Н078 на его цифровой регистратор (см. § 12). Обеспечение регистрации результатов промыслово-геофизических измерений в масштабе глубин и корректировка зарегистрированной информации по глубинам

с помощью кабельных меток производится пультом управления осциллографом ПУО, который через панель контроля каротажа ПКК связан с датчиком глубин ДГ и магнитным меткоуловителем ММУ.

Панель контроля каротажа ПКК, аналогичная ПКК лаборатории ЛКС-7-02, включает в себя датчик и указатель скорости перемещения СП в скважине, усилитель ММУ, электропривод осциллографа Н028А, сигнальные устройства индикации чрезмерного натяжения кабеля в скважине, остановки СП, отрыва его от забоя и указатель натяжения кабеля в скважине.

При необходимости цифровая информация может быть подана на вход осциллографа Н028А через ЦАП ИВК-Н078.

Аппаратура лаборатории ЛЦКС-10-01 смонтирована в четырех стойках: каротажной аппаратуры, аппаратуры записи, питания и цифровой записи. Стойка каротажной аппаратуры содержит функциональные пульта ИПЧМ2-А, ИПРКУ-А, АНК-А, панели ПК и ПКК, источник питания П4507 и вспомогательные приборы. Стойка аппаратуры аналоговой записи включает в себя каротажный осциллограф Н028А с пультом управления ПУО и панели ПМ1 и ПМ2. В стойку аппаратуры питания входят источники питания П4508, П4506 и блок БУСП. Стойкой аппаратуры цифровой записи является стойка ИВК-Н078.

Лаборатория ЛЦКС-10-01 обеспечивает проведение такого же комплекса исследований скважин, что и лаборатория ЛКС-7-02.

Лаборатория ЛК-1 отличается от лаборатории ЛЦКС-10-01 наличием дополнительного аналогового регистратора акустического сигнала Б15, цифрового регистратора «Триас» вместо ИВК-Н078, модернизированных функциональных блоков Б1А вместо ИПЧМ2-А, Б3 вместо ИПРКУ-А, блока параметрического каротажа Б14 и блока коррекции Б7 вместо АНК-А, блока логарифмических преобразователей Б4, блоков Б2М, Б13 и Б6 вместо панелей ПК, ПКК и ПМ, блоков питания Б8 и Б10 вместо блоков Б4507 и П4506 и отсутствием пульта электрического каротажа на многожильном кабеле ПКМК.

Эти отличия обеспечивают проведение лабораторией ЛК-01 исследований с более расширенным комплексом СП, чем комплекс при исследованиях лабораторией ЛЦКС-10-01: а) электрический каротаж с СП КСП-2, Э1, Э3М, Э4, Э6 и Э9; б) радиоактивный каротаж с СП Р3 и РК1-841; в) акустический каротаж с СП СПАК-2М, СПАК-4 и АКЦ; г) боковой каротаж с СП Э1, Э4, Э6 и Э9; д) микрокаротаж и боковой микрокаротаж с СП Э2; е) индукционный каротаж с СП Э3М и Э6; ж) кавернометрию — профиломером К1 и СП К2-741 и Э2; з) инклинометрию с СП КИТ и КИТА; и) термометрию с СП Т5, ТЭГ-36, Т4.

В 80-е годы наметился новый этап в автоматизации ГИС — появление программно-управляемых автоматических каротажных станций (ПУАКС). В этих ПУАКС с помощью бортовой ЭВМ обеспечивается программное управление работой станции, экспресс-

обработка в процессе измерений зарегистрированной информации для определения ее достаточности контроль и диагностика работы станции. Появились зарубежные модели ПУАКС: система DDL фирмы «Герхард Оузи» (США), комплекс CSV фирмы «Шлюмберже» (США) и комплекс CLS фирмы «Дрессер Атлас» (США).

В СССР подготавливается выпуск ПУАКС «Скважина-2», разработанной НПО «Союзпромгеофизика» Миннео СССР. Схема этой ПУАКС включает в себя три подсистемы: 1) сбора информации; 2) регистрации, визуализации и управления процессом измерения; 3) оперативной обработки информации. Подсистема сбора информации управляемая мини-ЭВМ «Электроника» содержит комплексные или модульные СП, телеметрическую систему связи СП с наземной аппаратурой, комплект технологических датчиков, а также блоки: имитаторов и калибраторов, управления СП, управления спуско-подъемным оборудованием, питания СП и регистрации быстротекущих процессов. Все наземные блоки подсистемы связаны магистральной шиной. Подсистема регистрации, визуализации и управления процессом измерения также управляется аналоговой мини-ЭВМ и включает дисплей, рулонный плотер и два рулонных накопителя на магнитной ленте. Все блоки связаны через общую интерфейсную шину с помощью интерфейсных карт. Обе мини-ЭВМ, управляющие этими подсистемами, через адаптер подключены к третьей мини-ЭВМ, составляющей вместе с вспомогательными устройствами подсистему оперативной обработки информации.

Томским СКТБ геофизической техники Миннефтепрома разрабатывается ПУАКС с мини-ЭВМ «Электроника», выполняющей функции всех мини-ЭВМ ПУАКС «Скважина-2». Отличие этой ПУАКС от описанной выше — использование специального аналогового регистратора, обеспечивающего открытую запись до восьми кривых и литологической колонки на электрохимической бумаге. Эта ПУАКС также включает в себя модульные СП, телеметрическую систему связи СП с наземной аппаратурой, комплект технологических датчиков, связанные через интерфейсную шину и адаптер связи с блоком подключения СП и блоком функционального преобразователя, к которому подключены технологические датчики, пульт оператора с блоком оперативного отображения информации и блоком клавишного ввода и управления, блок мини-ЭВМ, накопитель на магнитной ленте и аналоговый регистратор.

## § 18. ПЕРЕНОСНАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ КАРОТАЖНАЯ СТАНЦИЯ АКС/П-65

Переносная автоматическая каротажная станция АКС/П-65 (рис. 18) представляет собой комплект аппаратуры, рассчитанной на проведение комплекса измерений на трехжильном кабеле с каро-

тажным подъемником любого типа, что позволяет применять эту аппаратуру для исследований скважин, расположенных в трудно-доступных районах.

Питание цепи электродов  $AB$  зондовой установки станции АКС/П-65 производится знакопеременным током, который получают путем преобразования постоянного тока от батареи сухих элементов  $СВ1$  с помощью токового переключателя ТПП пульсатора. Разности потенциалов  $\Delta U_{КС}$  и  $\Delta U_{ПС}$ , снимаемые с измерительных электродов  $MN$  и  $MN_1$ , разделяются входным фильтром  $СЗ—Л1$ . Знакопеременная разность потенциалов  $\Delta U_{КС}$  поступает в I канал, выпрямляется измерительным переключателем ИПП1 пульсатора и регистрируется гальванометрами  $PS1—PS3$  канала в масштабах, относящихся друг к другу как 1 : 5 : 25. Разность потенциалов  $\Delta U_{ПС}$  поступает во II канал и регистрируется гальванометрами  $PS4—PS5$  в масштабах, относящихся друг к другу как 1 : 5.

Установка масштаба записи кривой КС производится так же, как и в лаборатории АКС/Л-7. Переключателем  $SA1$  цепь замыкается на резистор  $R2$  и через штекеры  $XS1$  и  $XS2$  сигнал с эталонного резистора  $R_0$  подается на вход I канала. Запись кривой КС в заданном масштабе  $n$  (Ом·м/см) обеспечивается регулированием тока в токовой цепи с помощью резистора  $R1$  и изменением постоянной по напряжению канала с помощью переменного резистора  $R6$  так, чтобы отклонение  $l$  блика гальванометра на ленте соответствовало расчетному значению, полученному по формуле (IV.7).

Запись кривой ПС в заданном масштабе обеспечивается изменением постоянной по напряжению II канала путем подачи в него калиброванного сигнала с градуированного компенсатора поляризации ГКП и установки соответствующего отклонения блика гальванометра  $PS4$  с помощью переменного резистора  $R7$ .

При записи температуры или диаметра скважины переключатели пульсатора выключаются из токовой и измерительной цепей. Масштабы записи  $n$  (в °С/см или см/см) устанавливаются путем регулирования тока питания СП и постоянной по напряжению измерительного канала при подаче в канал сигнала постоянного тока с резистора  $R_0$ . При этом добиваются равенства отклонения блика гальванометра расчетному значению по (IV.8).

Пульсатор станции АКС/П-65 представляет собой поляризованное реле  $K1—K4$ , обмотки которых питаются от специальной электронной схемы с генератором  $G$ , вырабатывающим синусоидальное напряжение частотой 5—25 Гц. Напряжение с выхода генератора через разделительные емкости  $C1$  и  $C2$  поступает на усилитель мощности  $A1$ , нагрузкой которого являются обмотки реле  $K1$  и  $K2$ , и на ограничитель, собранный на диодах  $VD1—VD2$  и резисторах  $R3—R4$ . К выходу ограничителя подключен усилитель мощности  $A2$ , нагрузкой которого являются обмотки реле  $K3$ ,  $K4$ . Диоды  $VD1$  и  $VD2$  запираются напряжением, величина которого регулируется с помощью переменного резистора  $R5$ .

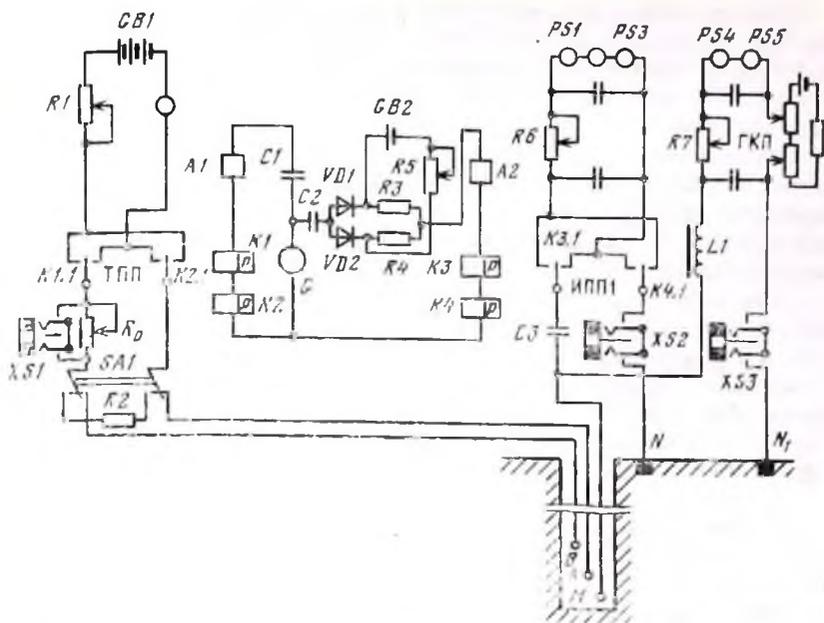


Рис. 18. Принципиальная электрическая схема переносной автоматической каротажной станции АКС/П-65 при электрическом каротаже

Комплект аппаратуры станции АКС/П-65 включает каротажный осциллограф типа Н017, токово-пульсаторный блок, в котором смонтированы релейный пульсатор и элементы управления измерительными каналами и токовой цепью, и блок питания.

### § 19. ПРОВЕДЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАРОТАЖА НА МНОГОЖИЛЬНОМ КАБЕЛЕ<sup>1</sup>

На буровой собирают схему внешних соединений лаборатории (станции) и проверяют действие основных узлов станции (сельсинопной передачи, системы магнитного меткоуловителя, сигнальных цепей и переговорного устройства). Перед началом спуска кабеля в скважину (при нахождении «первой метки» на кабеле против магнитного меткоуловителя) на счетчиках осциллографа, панели контроля каротажа и контрольного пульта лебедчика подъемника или станции устанавливают показания, равные цене «первой метки». При работе с лабораториями АКС/Л-7, ЛКС-7-02, ЛЦКС-7-02, ЛЦКС-10-01 и ЛК-01 также проводят операции, рассмотренные в § 6.

<sup>1</sup> Проведение электрического каротажа с помощью комплексных СП с телеизмерительным каналом и других видов СП рассматривается в соответствующих главах учебника.

*Запись кривых КС.* Для подготовки к записи кривой КС требуется установить сопротивление измерительного канала равным расчетному значению и определить необходимый масштаб записи кривой КС. Все эти операции проводятся при включенном источнике питания СП.

Регулирование сопротивления измерительного канала состоит в том, что его устанавливают равным расчетному значению на наименьшем пределе измерений. Указанное регулирование должно проводиться на каждой скважине. Если же запись кривой КС проводится на грубом пределе измерений, это делать не обязательно.

Для записи кривой КС в заданном масштабе  $n$  (Ом·м/см) необходимо установить соответствующие силу тока  $I_T$  в цепи электродов АВ и постоянную измерительного канала по напряжению  $m$  (в мВ/см). Для этого определяют величины  $S_s = K/n$  и  $l$  по (IV.7). Затем регулированием тока  $I_T$  и постоянной по напряжению  $m$  добиваются отклонения блика гальванометра на ленте, равного  $l$  при данной величине  $R_0$ .

Запись кривых КС выполняется в следующем порядке.

1. При спуске зонда наблюдают нулевые положения бликов гальванометров при: а) разомкнутой измерительной цепи (НПР); б) замкнутом входе измерительного канала (НПЗ); в) выключенном питании электродов АВ (НПТ).

2. При подъеме зонда с забоя скважины или с заданной глубины включают протяжку диаграммы и начинают регистрацию кривых КС.

3. В конце интервала регистрации кривых КС снова записывают нулевые линии НПР и НПЗ (для лабораторий АКС/Л-7 и ЛЦКС-10-01) и НПТ (для станции АКС/П-65); при регистрации кривых КС большими зондами в крупном масштабе ( $S_s > 400$  см/Ом) записывают нулевые линии в колонне.

*Запись кривых ПС.* Запись кривых ПС обычно проводится одновременно с регистрацией кривых КС по схеме двухполюсного зонда. При этом в канале ПС устанавливают необходимую постоянную по напряжению  $m$ , включают ГКП и компенсируют с его помощью постоянную слагающую ПС. Компенсацию постоянной слагающей ПС производят в глинах в нескольких десятках метров от забоя скважины. Сначала компенсируют ПС при больших пределах измерения, а затем переходят к необходимому, устанавливая блик гальванометра на середине ленты (дорожки для записи). Если во время регистрации кривая ПС начнет подходить к одному из краев ленты (дорожки для записи), с помощью ГКП осуществляется перенос точки записи кривой в ее среднюю часть.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Принцип измерений лабораториями автоматической каротажной станции с фотозаписью на многожильном кабеле.

2. Блок-схема и принцип действия лаборатории цифровой каротажной станции ЛКС-7-02.

3. Блок-схема и принцип действия лаборатории цифровой каротажной станции ЛЦКС-10-01.

4. Измерительная схема и принцип действия переносной автоматической каротажной станции АКС/П-65

## ГЛАВА V

# АВТОМАТИЧЕСКИЕ ГАЗОКАРОТАЖНЫЕ СТАНЦИИ И СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ

## § 20. КОМПЛЕКС ИЗМЕРЯЕМЫХ И ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ГАЗОВОМ КАРОТАЖЕ И ИССЛЕДОВАНИЯХ СКВАЖИН В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ

На современном уровне исследования скважин, проводящиеся в процессе бурения, могут включать:

а) газовый каротаж — изучение содержания и состава газов и битумов в промывочной жидкости;

б) механический каротаж или технологический контроль — измерение ряда параметров, характеризующих режим бурения скважины;

в) каротаж по шламу или геологический контроль — отбор шлама в процессе бурения скважины и его исследования;

г) каротаж в процессе бурения — геофизические исследования в скважине в процессе бурения с помощью скважинного прибора с каналом связи «забой—устье» и (или) автономного скважинного прибора (АСП), устанавливаемых в нижней части бурильного инструмента.

При газовом каротаже проводится суммарный газовый каротаж с регистрацией суммарных газопоказаний  $\Gamma_{\text{сум}}$  и компонентный газовый каротаж с измерением объемных концентраций углеводородных газов (УВ) в газозвушной смеси (ГВС), извлекаемой из промывочной жидкости при ее дегазации —  $C_{\text{ал}}^1$ , измеряемых в виде амплитуд  $A_n$  или площадей  $F_n$  пиков хроматограммы. По величине  $\Gamma_{\text{сум}}$  находится приближенное значение приведенных газопоказаний  $\Gamma_{\text{пр}}$ , а по величинам  $C_{\text{ал}}$ , определенным с помощью хроматографа, — суммарное содержание УВ в ПЖ  $\Gamma_{\text{х. сум}}$ , приведенные газопоказания  $\Gamma_{\text{х. пр}}$ , относительные содержания УВ в ПЖ  $C_{\text{оп}}$ , флюидные коэффициенты типа  $C_{\text{пл}}$ , индекс компонентной характеристики пласта  $I_{\text{кг}}$  и остаточное кажущееся газосодержание  $F_{\text{г}}$  или нефтегазосодержание  $F_{\text{нг}}$  пласта.

При механическом каротаже измеряются скорость бурения  $v_b$  или обратная ей величина — продолжительность бурения 1 м сква-

<sup>1</sup> Ранее называвшихся абсолютными концентрациями УВ в ГВС;  $n$  — число атомов углерода в молекуле УВ.

жины  $T_1$ , расход промывочной жидкости на «входе»  $Q_{вх}$  и «выходе»  $Q_{вых}$  скважины. При проведении технологического контроля могут дополнительно измеряться нагрузка на талевом блоке  $P_{тб}$ , нагрузка на долото  $P_{д}$ , давление на стояке  $p_c$ , частота вращения долота  $n_{д}$ , частота вращения ротора  $n_r$ , моменты на роторе  $M_r$  и долоте  $M_{д}$ , числа ходов буровых насосов  $n_{ц}$ , уровни ПЖ в мерниках  $H_m$ , азимут  $\varphi$  и зенитный угол  $\delta$  наклона скважины и угол положения отклонителя бурильного инструмента  $\delta_{ои}$ , а также параметры ПЖ на «входе» и «выходе» скважины — плотность  $\delta_{ж. вх}$  и  $\delta_{ж. вых.}$ , удельные электрические сопротивления  $\rho_{ж. вх}$  и  $\rho_{ж. вых.}$ , температура  $T_{ж. вх}$  и  $T_{ж. вых.}$  и вязкость ПЖ на «выходе» скважины  $\mu_{ж. вых.}$ . По результатам этих измерений определяются производные параметры — дифференциальный расход промывочной жидкости в скважине  $Q_{п}$ , коэффициент разбавления  $E$ , показатель «экспоненты»  $b$  (в литературе по бурению неправильно называющийся  $d$ -«экспонентой»), параметр  $C$ , характеризующий отработку долот в скважине, и дифференциальные параметры ПЖ —  $\delta_{ж. д.}$ ,  $\rho_{ж. д.}$  и  $T_{ж. д.}$ .

При каротаже по шламу производится отбор шлама с привязкой к глубинам залегания и затем его исследования: описание с построением литологического разреза скважины, определение плотности  $\delta_{ш}$  и пористости  $k_{пш}$ , определение карбонатности  $C_k$ , а также в ряде случаев люминесцентно-битуминологический анализ.

Из различных видов аппаратуры каротажа в процессе бурения в настоящее время разрабатываются приборы для электрического (измерение  $\rho_k$  и ПС) и радиоактивного (измерение  $I_{гк}$ ) каротажа.

Для регистрации такого большого комплекса параметров по стволу скважины в масштабе глубин с помощью ограниченного числа регистрирующих приборов (РП) необходимо провести классификацию измеряемых и определяемых параметров — разбить комплекс регистрируемых параметров на группы, параметры каждой из которых можно регистрировать с помощью одного общего РП. При классификации параметров необходимо учитывать, что при исследованиях в процессе бурения различают просто глубины  $Z$  (ранее называвшиеся действующими глубинами), исправленные глубины для геохимических параметров  $Z_{и}$  (ранее называвшиеся истинными глубинами) и исправленные глубины для габаритных фракций шлама  $Z_{и. шл}$ <sup>1</sup>.

Для некоторых параметров величины  $Z$  и  $Z_{и}$  совпадают, такие параметры можно регистрировать непосредственно в функции глубин  $F(Z)$ . Это относится к большинству параметров механического каротажа и технологического контроля, а также к параметрам каротажа в процессе бурения, измеряемым аппаратурой с каналом связи «забой—устье». Для геохимических (газокаротажных) параметров и параметров, измеряемых по порции ПЖ, выносимой

<sup>1</sup> Скорость седиментации частиц шлама в ПЖ зависит от их габаритов. Поэтому шлам отбирают по нескольким  $n$  (обычно трем) габаритным фракциям

с забоя на устье скважины,  $Z \neq Z_n$ , так как пока эта порция ПЖ перемещается от забоя к устью скважины, последняя углубляется, образуя неравенство  $Z > Z_n$ . Поэтому параметры, измеряемые по порции ПЖ на устье скважины, необходимо регистрировать в функции исправленных глубин  $f(Z_n)$ .

Кроме функции, в которой необходимо регистрировать группу параметров, следует учитывать характер измерения, определения и регистрации параметра. При таком подходе любой комплекс параметров можно разбить на три группы.

К I группе относятся параметры, которые можно измерять или определять непрерывно или дискретно с постоянным шагом квантования по глубине  $\Delta_r$ . Регистрировать эту группу параметров необходимо дискретно в  $f(Z_n)$  с тем же шагом  $\Delta_r$ . К этой группе параметров могут быть отнесены:  $\Gamma_{\text{сум}}$ ,  $\Gamma_{\text{пр}}$ ,  $\delta_{\text{ж. вых.}}$ ,  $\rho_{\text{ж. вых.}}$ ,  $T_{\text{ж. вых.}}$ ,  $\mu_{\text{ж. вых.}}$ ,  $\delta_{\text{ж. д.}}$ ,  $\rho_{\text{ж. д.}}$  и  $T_{\text{ж. д.}}$ .

Ко II группе относятся параметры, которые можно определять дискретно с шагом  $\Delta_r$  или за период времени, меньший времени  $t_{\Delta}$  бурения интервала скважины, равного  $\Delta_r$ . Регистрировать группу необходимо в  $F(Z)$  с тем же шагом  $\Delta_r$ . В эту группу параметров из перечисленных выше могут входить:  $v_b$ ,  $T_1$ ,  $Q_{\text{вых.}}$ ,  $Q_{\text{вых.}}$ ,  $P_{\text{тб.}}$ ,  $P_{\text{д.}}$ ,  $\rho_{\text{с.}}$ ,  $n_{\text{д.}}$ ,  $n_{\text{р.}}$ ,  $M_{\text{д.}}$ ,  $M_{\text{р.}}$ ,  $n_{\text{ц.}}$ ,  $N_{\text{м.}}$ ,  $\varphi$ ,  $\delta$ ,  $\delta_{\text{он.}}$ ,  $Q_{\text{п.}}$ ,  $E$ ,  $b$  и  $C$ .

К III группе относятся параметры компонентного анализа или производные от них, которые можно измерять или определять только дискретно с постоянным шагом квантования по времени  $t_{\text{ц.}}$ , равным времени цикла анализа хроматографа. Регистрировать эту группу необходимо дискретно в  $f(Z_n)$  с переменным, автоматически изменяющимся в зависимости от  $v_b$  шагом квантования по глубине  $\Delta_{\text{гх.}}$ . К этой группе параметров можно отнести:  $C_{\text{ал.}}$ ,  $A_{\text{л.}}$ ,  $F_{\text{л.}}$ ,  $\Gamma_{\text{х. сум.}}$ ,  $\Gamma_{\text{х. пр.}}$ ,  $C_{\text{ол.}}$ ,  $C_{\text{пт.}}$ ,  $I_{\text{кг.}}$ ,  $F_{\text{г.}}$  и  $F_{\text{нг.}}$ .

Выше была рассмотрена классификация параметров при проведении газового каротажа в процессе бурения. При проведении газового каротажа после бурения сохраняются те же группы параметров, только регистрация I группы производится в функции объема ПЖ, эвакуированной из скважины,  $\varphi(V_{\text{эж.}})$  с постоянным шагом квантования по объему ПЖ  $\Delta V_{\text{жр.}}$ , а регистрация параметров III группы — также в функции  $\varphi(V_{\text{эж.}})$  с переменным, автоматически изменяющимся в зависимости от величины  $Q_{\text{вых.}}$  шагом квантования по объему ПЖ  $\Delta V_{\text{жх.}}$ .

Такая классификация параметров была положена в основу построения автоматических газокаротажных станций. В компьютеризированных автоматизированных геохимических или геохимико-геолого-технологическо-геофизических информационно-измерительных системах классификация параметров производится по параметрам, которые достаточны для выдачи оперативных заключений в процессе бурения. Для этого в аналоговой форме в  $F(Z)$  с шагом  $\Delta_r$  фиксируются необходимые параметры II группы, а в аналоговой форме и в виде цифрпечати в  $f(Z_n)$  с шагом  $\Delta_{\text{гх.}}$  фиксируются все необходимые параметры, предварительно совмещенные в  $f(Z_n)$ .

В таком ДНД отсутствует разбавление ГВС воздухом, т. е. коэффициенты  $K_{гд}$  в (V.2) и (V.4) равны единице. Поскольку при движении ПЖ мимо мембраны азратора (крышки коробки или резиновых трубок азратора) возникает понижение давления в рабочей камере ДНД, зависящее от  $Q_d$ , меняются диаметры отверстий крышки коробки или трубок и, следовательно, величины  $C_{сум}$  и  $C_{дл}$ , что обеспечивает стабильность коэффициентов  $K_d$  и  $K_{х,дл}$  при изменении  $Q_d$ . Наконец, за счет наличия интегрирующего контура интегрируются  $q$  и  $q_n$ , что позволяет определять средние за шаг  $\Delta_r$  величины газокаротажных параметров.

При использовании ДНД с интегрирующим контуром объемное содержание  $n$ -го компонента УВ в ПЖ  $C_{ажn}$  (в %) может быть определено по методу Намиота:

$$C_{ажn} = 124 C_{ан} / (K_k K_{жn}), \quad (V.5)$$

где 124 — коэффициент пропорциональности, учитывающий переход от молярных долей к объемной концентрации;  $C_{ан}$  — в %;  $K_k$  — коэффициент конструкции ДНД, показывающий соотношение объемов газовой фазы и дегазируемой порции ПЖ в камере дегазатора (для данной конструкции ДНД  $K_k = 5$ );  $K_{жn}$  — покомпонентная константа фазового равновесия в ПЖ

$$K_{жn} = K_n K_n, \quad (V.6)$$

где  $K_n$  — поправочный коэффициент на минерализацию ПЖ;  $K_n$  — коэффициент Генри для  $n$ -го компонента УВ при данной температуре ПЖ. Обычно  $K_n \approx 1$  и принимают  $K_{жn} = K_n$ .

Из формул (V.3), (V.5) и (V.6) видно, что величины  $C_{ажn}$  и  $q_n$  связаны с  $C_{ан}$  коэффициентами извлечения  $n$ -го компонента УВ из ПЖ  $K_{ин}$ , зависящими в конкретном случае только от температуры ПЖ:

$$C_{ажn} = K_{ин} C_{ан}; \quad (V.7)$$

$$q_n = 10 K_{ин} C_{ан}. \quad (V.8)$$

С учетом того, что  $K_k = 5$  и  $K_{жn} = K_n$ , из формул (V.5) и (V.7) получим

$$K_{ин} = 24,8 / K_n. \quad (V.9)$$

Поэтому ДНД с интегрирующим контуром не требует частой калибровки. Коэффициенты  $K_{ин}$  (в долях) определяются как постоянные и принимаются для всех компонентов УВ равными 1,6. В этом случае величины  $\Gamma_{х,сум}$  (в %) и  $q$  (в  $см^3/л$ ) легко определяются по формулам:

$$\Gamma_{х,сум} = K_{ин} \sum_{n=1}^{n=m} C_{ан}; \quad (V.10)$$

$$q = 10 K_{ин} \sum_{n=1}^{n=m} C_{ан}, \quad (V.11)$$

где  $m$  — число анализируемых компонентов УВ (обычно  $m = 6$ ).

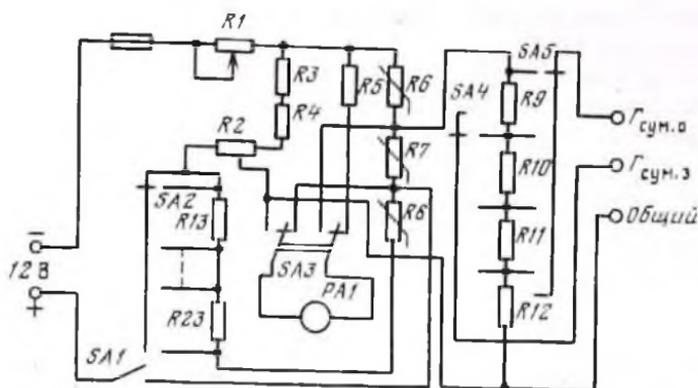


Рис. 20. Электрическая схема пульт суммарного газоанализатора станции АГКС-4АЦ.

Выключатели и переключатели: SA1 — «питание»; SA2 — «устан. нуля; грубо»; SA3 — «напряжение; ток разбаланса»; SA4 — «масштаб»; Г<sub>сум.з</sub>; 1 : 5; 1 : 25; 1 : 100»; SA5 — «масштаб Г<sub>сум.о</sub>; 1 : 1; 1 : 5; 1 : 25; 1 : 100». Переменные резисторы: R1 — «напряжение»; R2 — «устан. нуля; точно».

**Суммарный газоанализатор.** В станции АГКС-4ПА применен пульт суммарного газоанализатора (ПГА) с детектором по теплопроводности (катарометром). Принцип действия катарометра основан на изменении сопротивления чувствительного элемента, нагретого пропускаемым через него электрическим током, в зависимости от его теплоотдачи, пропорциональной теплопроводности газа, протекающего через камеру детектора ПГА.

Принципиальная электрическая схема ПГА с катарометром станции АГКС-4АЦ показана на рис. 20. ПГА рассчитан на измерение величины Г<sub>сум</sub> в основном Г<sub>сум.о</sub> и заглубленном Г<sub>сум.з</sub> масштабах. Измерение производится с помощью мостовой схемы постоянного тока, образованной чувствительными элементами R6 и R7 и резисторами R3, R4, R8, реохордом R2 для точной балансировки моста и резисторами R13—R23, вводимыми в схему переключателем SA2, для грубой балансировки моста. В измерительную диагональ моста включен делитель напряжения R9—R12. С него с помощью переключателей SA4 и SA5 снимаются напряжения, пропорциональные величинам Г<sub>сум.о</sub> и Г<sub>сум.з</sub>. Напряжение питания моста включается выключателем SA1 и регулируется с помощью переменного резистора R1 для нагрева нити элемента до требуемой температуры.

В ПГА один чувствительный элемент находится в рабочей камере детектора, а другой — в компенсационной камере, через которую протекает воздух. Мост газоанализатора балансируется при пропускании через рабочую камеру детектора воздуха. Газовая схема ПГА обеспечивает очистку ГВС, поступающей из ДНД, и регулирование расхода ГВС через рабочую камеру детектора, поддерживая его равным 50 см<sup>3</sup>/мин. Расход ГВС регулируется

с помощью специальных вентиляей, смонтированных в детекторе, по ротаметрам ПГА.

Чувствительность катарометра к отдельным УВ различна и нелинейно меняется в зависимости от их концентрации в ГВС. Поэтому величина  $\Gamma_{\text{сум}}$ , определенная с помощью катарометра, практически характеризует содержание в ГВС любых газов, теплопроводность которых при температуре анализа отличается от теплопроводности воздуха. Поэтому величина  $\Gamma_{\text{сум}}$ , определенная в станции АГКС-4АЦ с помощью ПГА, используется только в качестве индикационного параметра.

## § 22. АППАРАТУРА ДЛЯ КОМПОНЕНТНОГО ГАЗОВОГО АНАЛИЗА

В аппаратуру для компонентного газового анализа АГКС и АГИС входят ДНД, хроматографы (ХГ) для анализа ГВС на содержание УВ (ХГ-УВ) и неуглеводородных газов (ХГ-НУВ) и аппаратура для регистрации результатов компонентного анализа по стволу скважины. (В АГКС хроматограф для анализа на неуглеводородные газы отсутствует.)

В настоящее время наиболее эффективной модификацией газового каротажа является компонентный газовый каротаж, который сводится к непрерывной дегазации ПЖ с помощью ДНД и проведению высокочувствительного компонентного анализа ГВС методом газовой хроматографии по стволу скважины. Метод газовой хроматографии основан на различной скорости прохождения каждого компонента ГВС через слой сорбирующего вещества при промывании его потоком газа-носителя, инертного для детектора. Вследствие различия скоростей прохождения через сорбент каждый компонент удерживается в нем различное время и из сорбента последовательно выделяются отдельные компоненты, которые поступают на детектор, определяющий их объемное содержание в газе-носителе.

При регистрации показаний детектора в функции времени записывается непрерывная кривая с рядом пиков, площади которых характеризуют объемное содержание отдельных компонентов в анализируемой ГВС (рис. 21). Такая кривая называется хроматограммой.

Приборы, проводящие компонентный газовый анализ методами газовой хроматографии, называются газовыми хроматографами или просто хроматографами (ХГ).

Газовая хроматография подразделяется на: газоадсорбционную, при которой в качестве сорбента применяется слой измельченного твердого пористого вещества, а разделение смеси на компоненты обеспечивается различием скоростей сорбирования каждого компонента; газожидкостную, при которой в качестве сорбента используются жидкие растворители, нанесенные на твердые носители, и разделение смеси на компоненты обеспечивается различием в коэффициентах распределения между жидкой и газовой

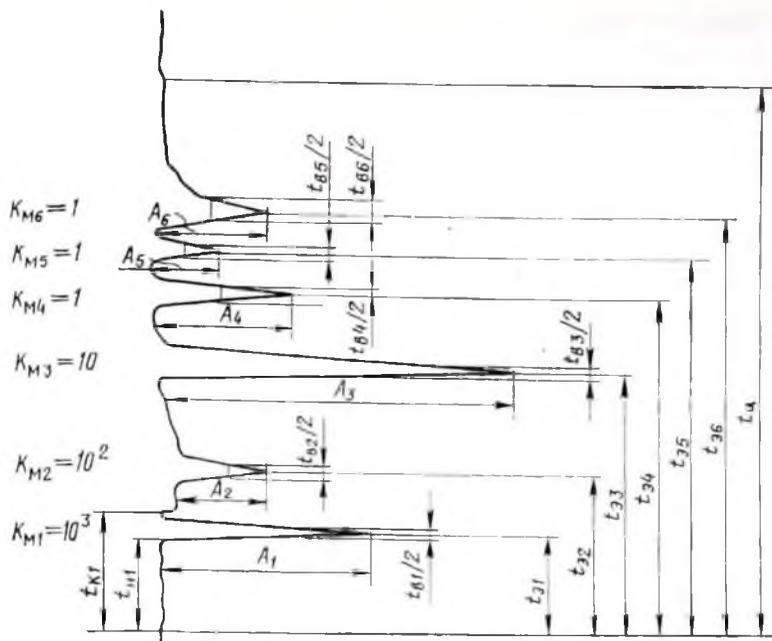


Рис. 21. Вид хроматограммы при компонентном анализе на предельные углеводородные газы от метана до гексана

фазами, и капиллярную, при которой жидкий растворитель наносят непосредственно на внутреннюю стенку сорбционной колонки, выполненной в виде капиллярной трубки.

В настоящее время все ХГ, используемые при газовом каротаже, строятся на методе газоадсорбционной хроматографии. Существует ряд модификаций метода газоадсорбционной хроматографии в зависимости от факторов, вызывающих движение разделяемых компонентов смеси по слою сорбента. Из них получили распространение проявительная хроматография и хроматермография. При проявительной хроматографии ГВС перемещается по слою сорбента сорбционной колонки под действием прокачиваемого через нее потока газа-носителя. Скорости движения компонента в сорбционной колонке невелики, и время выделения компонентов из колонки при проявительной хроматографии значительно. Поэтому ХГ, основанные на этой модификации метода, используются только для эпизодического компонентного анализа. Для обеспечения экспресс-анализа (уменьшения времени цикла анализа), необходимого для проведения компонентного газового каротажа по стволу скважины, в газокаротажных ХГ используется хроматермография, при которой движение ГВС в сорбционной колонке осуществляется под комбинированным воздействием потока газа-носителя и изменяющегося по заданной программе времени теплового поля, накладываемого

на колонку. Такие хроматографы называют хроматермографами.

По хроматограмме (см. рис. 21) можно определить ряд параметров хроматографа (хроматермографа):

время цикла анализа  $t_{ци}$  — интервал времени между выдачей в сорбционную колонку двух смежных проб анализируемой ГВС при работе ХГ в режиме непрерывной смены анализов;

время удерживания  $n$ -го компонента анализируемой ГВС  $t_{уд}$  — интервал времени между началом цикла анализа и появлением на хроматограмме пика, соответствующего  $n$ -му компоненту; время появления пика определяется по экстремальной точке;

время выделения (ширина полосы)  $n$ -го компонента анализируемой ГВС  $t_{вы}$ , которое определяется как удвоенное время выделения на хроматограмме пика, соответствующего  $n$ -му компоненту; время  $t_{вы}/2$  измеряется на половине высоты  $A_n$  пика.

Идентификация компонентов, определяемых ХГ в анализируемой ГВС, осуществляется предварительной калибровкой прибора ГВС известного состава. В результате калибровки находят время начала  $t_{ин}$  и конца  $t_{кон}$  пика для каждого анализируемого компонента — и коэффициенты чувствительности  $K_{чп}$  (в %/мм, мм шкалы аналогового регистратора ХГ). При последующих анализах ГВС неизвестного состава проверяют попадание сигналов  $t_{ин}$  во «временные окна»  $t_{кон} - t_{ин}$ .

Величина  $C_{ан}$  (в %) определяется из выражения

$$C_{ан} = 0,5 K_{мл} (Q_{гп}/V_d) K_{чп} A_n t_{ин}, \quad (V.12)$$

где  $K_{мл}$  — коэффициенты закругления масштабов записи величин  $A_n$  в долях;  $Q_{гп}$  — расход газа-носителя в см<sup>3</sup>/с;  $V_d$  — объем дозы анализируемой ГВС, наносимой на сорбционную (хроматографическую) колонку, в см<sup>3</sup>;  $A_n$  — в мм;  $t_{ин}$  — в с.

Как видно из (V.12), для регистрации кривых  $F_n = F(Z_n)$  необходимо, чтобы в ХГ было обеспечено постоянство коэффициентов  $K_{чп}$  и величины  $Q_{гп}$  (так как величины  $K_{мл}$  и  $V_d$ , устанавливаемые оператором, являются для данного измерения постоянными) и наличие специального счетно-решающего устройства, определяющего величины  $F_n$  (в мм·с) из выражения

$$F_n = 0,5 A_n t_{ин}. \quad (V.13)$$

Если же добиться постоянства значений  $t_{ин}$ , можно регистрировать результаты компонентного анализа в виде кривых  $A_n = F(Z_n)$ .

При проведении комплексного газового каротажа газокаротажный ХГ должен обеспечивать выполнение следующих требований;

а) регистрацию результатов анализов в виде кривых  $F_n = F(Z_n)$  [ $A_n = F(Z_n)$  при газовом каротаже в процессе бурения] или в виде кривых  $F_n = f(V_{эж})$  [ $A_n = f(V_{эж})$  при газовом каротаже после бурения];

б) надежную эксплуатацию в полевых условиях, что, в частности, исключает возможность использования баллонных газов в качестве газа-носителя;

в) достаточную чувствительность к УВ, исключающую пропуск нефтегазонасного пласта системой «ДНД—ХГ» даже при неблагоприятных геолого-технических условиях; как показали исследования, для большинства геолого-технических условий необходим порог чувствительности к УВ порядка  $10^{-4}$  % и время цикла анализа на шесть предельных УВ порядка 2 мин, а для особо неблагоприятных геолого-технических условий — соответственно  $10^{-5}$  % и 1 мин.

*Хроматермограф ХГ-1Г.* С его помощью проводится компонентный газовый анализ на шесть предельных УВ (от метана до гексана) с порогом чувствительности около  $10^{-4}$  % и с  $t_{\text{ц}} = 130$  с, что обеспечивает на порядок более высокую чувствительность и в 3—4 раза меньшую инерционность, чем у лучших зарубежных газокартажных ХГ. Такая высокая чувствительность ХГ гарантируется применением пламенно-ионизационного детектора (ПИД) одновременно с использованием в качестве газа-носителя воздуха, получаемого от компрессора АГКС<sup>1</sup>. Применение ПИД повысило также стабильность чувствительности ХГ к УВ<sup>2</sup>, что в сочетании со стабильным временем выделения компонентов  $t_{\text{вл}}$  позволило перейти от регистрации обычной хроматограммы к регистрации кривых  $A_n = F(Z_n)$  и  $A_n = f(V_{\text{эж}})$ .

Экспресс-анализ в этом ХГ обеспечивается как режимом нагрева разделительной колонки, так и системой «обратной отдувки» тяжелых УВ (тяжелее гексана), исключающей их попадание в разделительную колонку.

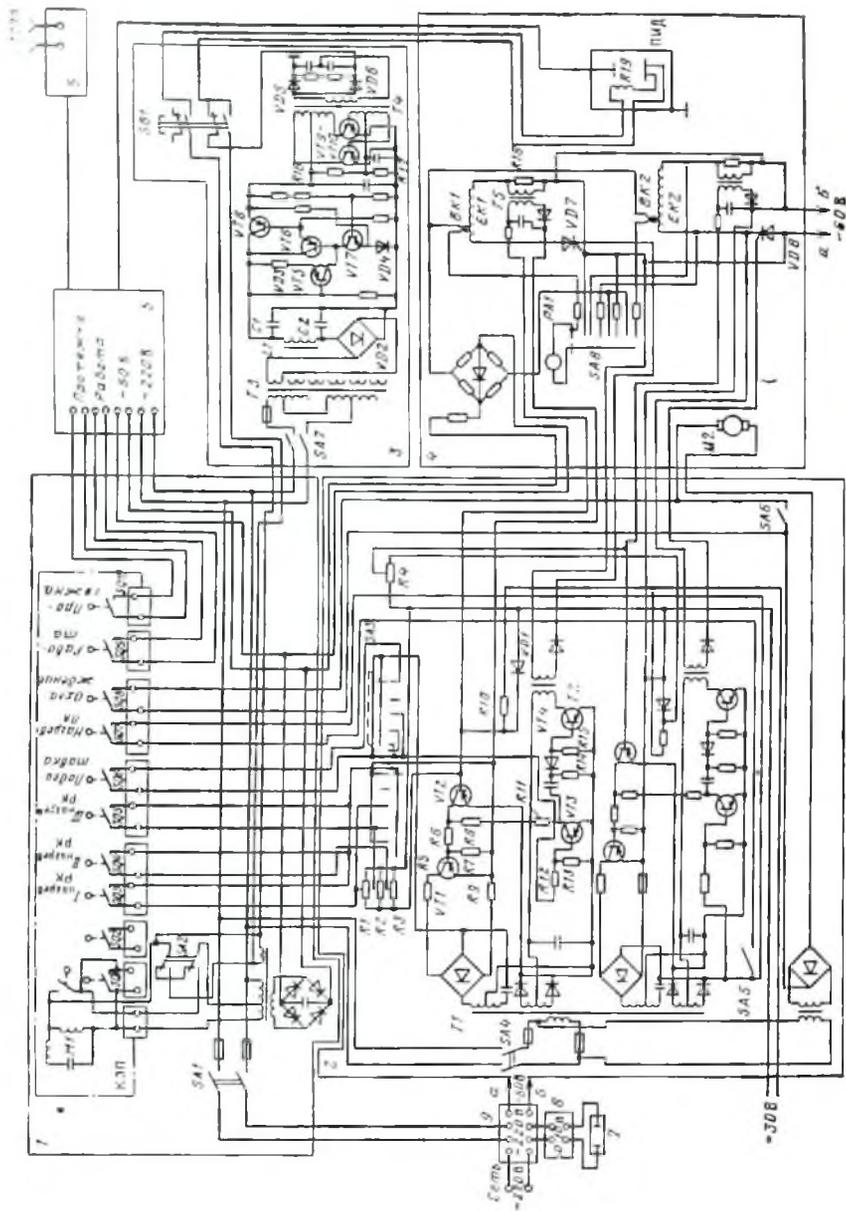
ХГ состоит из аппаратной стойки (рис. 22), в которой смонтированы блоки программирования анализа 1 и температуры 2, блок питания ПИД 3, пульт управления 5 регистратором 6 параметров III группы АГКС и блок газовый (на рис. 22 не показан), а также отдельно устанавливаемый блок колонок 4. Кроме того, в комплект ХГ входят электролитический генератор водорода 7, блок выпрямителя 8, силовой блок 9 и блок осушителей (на рис. 22 не показан).

Блок 1 собран на командном электропневматическом приборе (КЭП), представляющем собой синхронный электродвигатель  $M1$  с редуктором, обеспечивающим 1 об. вала с регулируемыми кулачками за интервал времени  $t_{\text{ц}} = 130$  с. При вращении вала кулачки по заданной программе времени замыкают контакты  $SQ1—SQ10$ , включающие отдельные элементы схемы ХГ.

Блок 2 предназначен для автоматического и ручного управления режимом нагрева и охлаждения хроматографических колонок

<sup>1</sup> До ХГ-1Г ПИД применялся только в лабораторных ХГ с использованием в качестве газа-носителя баллонных газов, например азота.

<sup>2</sup> Чувствительность ПИД к УВ пропорциональна количеству атомов углерода в молекуле УВ.



в блоке 4. Он включает схемы питания разделительной *EK1* и поглотительной *EK2* колонок и переключатели управления нагревом и охлаждением колонок.

Схема управления током через колонку *EK1* включает фазосдвигающий мост, собранный на трансформаторе *T1*, регулятор, изменяющий сопротивление активных плеч моста, собранный на триодах *VT1—VT2*, переменных резисторах *R1—R3*, резисторах *R5—R9*, и формирователь управляющих импульсов, поступающих на тиристор *VD7*, собранный на триодах *VT3—VT4*, резисторах *R11—R15* и трансформаторе *T2*.

Принцип действия схемы управления током через хроматографическую колонку основан на управлении состоянием тиристора, изменяющего напряжение, подаваемое на колонку, при изменении активного сопротивления колонки в процессе ее нагрева и при колебаниях напряжения питающей сети. Для управления током, протекающим через разделительную колонку *EK1*, последовательно с ней включен датчик тока в виде резистора *R18*, падение напряжения на котором выдает на трансформатор *T5*. Со вторичной обмотки этого трансформатора напряжение подается на вход триода *VT2*. На этот же вход в обратной полярности через резистор *R10* и стабилитрон *VD1* подается опорное напряжение, задающее степень нагрева колонки. Переключение ступеней нагрева в автоматическом режиме осуществляется КЭПом в блоке 1 или переключателем *SA3* в режиме ручного управления, например при настройке хроматермографа. Мощность нагрева на отдельных ступенях регулируется с помощью переменных резисторов *R1—R3*.

Схема управления током через поглотительную колонку *EK2* с тиристором *VD8* аналогична описанной и отличается от нее наличием только одной постоянной степени нагрева колонки, определяемой переменным резистором *R4*.

Охлаждение разделительной и поглотительной колонок осуществляется с помощью воздушной турбины с электродвигателем *M2*, включаемой автоматически КЭПом в блоке 1 или вручную переключателем *SA6*.

В блоке колонок 4 смонтированы разделительная *EK1* и поглотительная *EK2* колонки, воздушная турбина для их охлаждения и ПИД, а также индикационный прибор *PA1*, по которому можно

**Рис. 22.** Принципиальная электрическая схема хроматермографа ХГ-1Г: 1 — блок программирования анализа. Выключатели и переключатели: *SA1* — «сеть»; *SA2* — «непрерывно; выкл; циклично». 2 — блок программирования температуры. Выключатели и переключатели: *SA3* — «нагрев колонки: I; II; III; выкл; автомат»; *SA4* — «сеть»; *SA5* — «охлаждение; автомат»; *SA6* — «погл. колонка; автомат». Переменные резисторы: *R1* — «разделительная колонка; I ступень»; *R2* — «разделительная колонка; II ступень»; *R3* — «разделительная колонка; III ступень»; *R4* — поглотительная колонка». 3 — блок питания пламенно-ионизационного детектора. *SA7* — выключатель «сеть»; *SB1* — кнопка «поджиг». 4 — блок колонок. *SA8* — переключатель «напряжение на колонке; поглотительная; разделительная; температура колонок; поглотительная; разделительная». 5 — пульт управления регистрацией параметров III группы станции АГКС-4АЦ. 6 — аналоговый регистратор параметров III группы станции АГКС-4АЦ. 7 — электродвигатель с индукционным генератором водорода. 8 — блок выпрямителя. 9 — силовой блок.

контролировать либо падения напряжения на колонках *EK1* и *EK2*, либо температуру их нагрева с помощью термпар *BK1* и *BK2*. ПИД представляет собой металлический корпус с водородной керамической горелкой в верхней его части. Через отдельные штуцеры в полость корпуса детектора подаются анализируемая ГВС в потоке газа-носителя (воздуха) и водород, а также «воздух поддува» для поддержания водородного пламени. Сопло горелки помещается между двумя симметричными дисковыми электродами, к которым подводится напряжение 450 В. Пламя, возникающее при горении чистого водорода, почти не содержит ионов и отличается низкой электропроводностью. При прохождении через горелку газа-носителя с УВ ионизация и электропроводность пламени резко возрастает. Поэтому по величине тока в цепи электродов можно судить о концентрации соответствующего УВ в потоке газа-носителя. Поджиг пламени детектора при начале работы осуществляется с помощью накаливаемой спирали *R19*.

Блок 3 предназначен для питания ПИД. Он включает в себя силовой трансформатор *T3*, двухполупериодный выпрямитель *VD2*, фильтр *C1—L1—C2*, компенсационный стабилизатор напряжения, собранный на триодах *VT5—VT8* и стабилитронах *VD3* и *VD4*, двухтактный преобразователь напряжения, собранный на триодах *VT9* и *VT10* и трансформаторе *T4*, двухполупериодный выпрямитель *VD5* и *VD6* и цепочку обратной связи стабилизатора напряжения на резисторах *R16* и *R17*. Кнопка *SB1* позволяет отключать от ПИД напряжение 450 В и подавать на спираль *R19* напряжение 6,3 В для поджига водородного пламени ПИД.

Электролитический генератор водорода 7 производит разложение 40 % раствора щелочи КОН и дистиллированной воды на кислород и водород. Кислород через специальный клапан сбрасывается в атмосферу, а водород подается на ПИД. Питание генератора водорода 7 производится от блока выпрямителя 8 (постоянный ток напряжением 12 В, силой около 7 А). Общее питание узлов хроматермографа — от силового блока 9.

Схема газоздушных и пневматических линий ХГ-1Г показана на рис. 23. Анализируемая ГВС по двухканальной ГВЛ от дегазатора Дег просасывается через ПГА и дозатор Д крана-дозатора КД1 ХГ-1Г. Воздух, поступающий от компрессора КВ АГКС, очищается от паров масел воздушным фильтром ВФ и подается в ХГ-1Г, где разделяется на три потока: газа-носителя, воздуха управления и воздуха поддува. Поток газа-носителя проходит через трубку ОТ1 блока осушителя 4 и попадает в блок газовый 2, где проходит через регулятор давления Рд2, газовый регулятор РГ и дроссель Др4, а также через вторую трубку ОТ2 осушителя и попадает в блок колонок 1. Там газ-носитель проходит через дозатор Д крана-дозатора КД1, кран-дозатор КД2, поглотительную колонку ПК, снова через КД2, разделительную колонку РК и через Др1 поступает в детектор ПИД. Одновременно для подачи газа-носителя в РК при обратной отдувке от ОТ2 поток воздуха параллельно подается на КД2. Поток воздуха управления от КВ

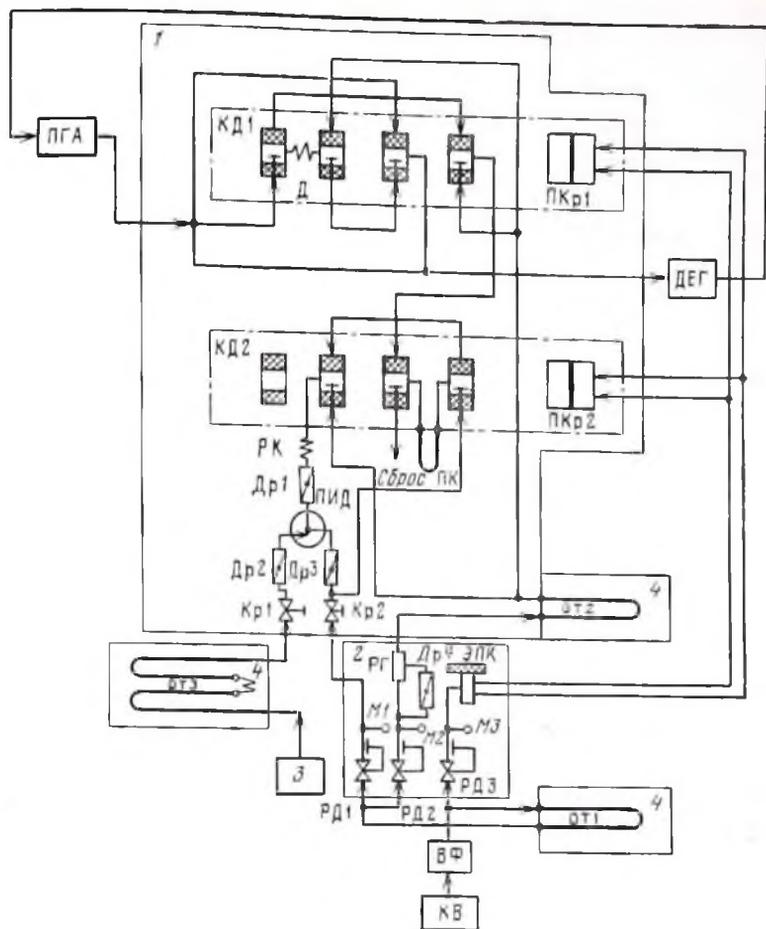


Рис. 23. Схема газовоздушных и пневматических линий [хроматографа ХГ-1Г

через ВФ поступает на Рд3 и электропневматический клапан ЭПК и через него на пневматические краны ПКр1 и ПКр2, управляющие КД1 и КД2. Поток воздуха поддува от КВ и ВФ подается на ОТ1 и далее через Рд1, Кр2 и Др3 в детектор ПИД. Наконец, поток водорода от электролитического генератора З через трубку ОТ3, Кр1 и Др2 подается в ПИД.

В начале цикла анализа кратковременно включается ЭПК и с помощью ПКр1 и ПКр2 срабатывают краны-дозаторы КД1 и КД2. При этом доза ГВС отсекается в дозаторе Д и затем прокачивается потоком газа-носителя через ПК и РК. Выделяемые из РК углеводороды в потоке газа-носителя подаются в ПИД, где определяется их концентрация. При выделении из колонки ПК последнего информативного компонента (гексана) снова срабатывает ЭПК и

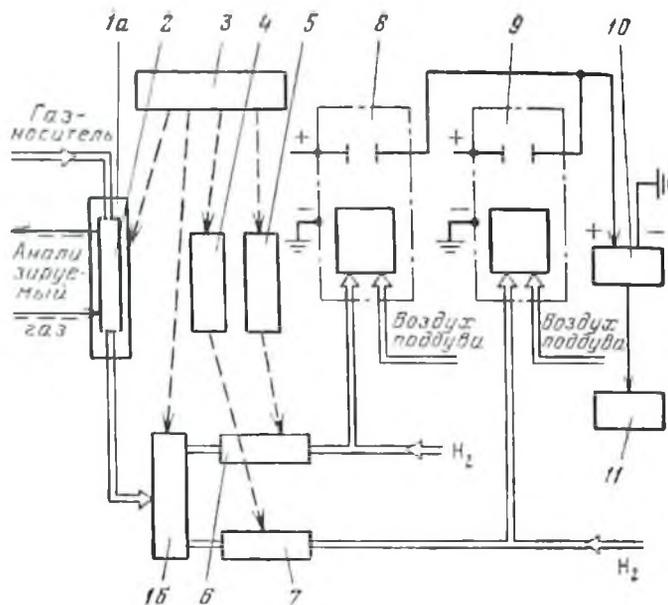


Рис. 24. Блок-схема хроматографа «Геохром-275»

краны КД1 и КД2. При этом дозатор Д включается в ГВЛ между ПГА и Дег, колонка РК подключается к ОТ2 и поток газа-носителя продолжает вымывать УВ из колонки и подавать их на ПИД. Одновременно часть потока через КД1 и КД2 подается к выходу колонки ПК и начинает отдувать адсорбированные в ней неинформативные газы («тяжелее» гексана) через штуцер «сброс» в атмосферу.

*Хроматограф «Геохром-275».* Для проведения высокочувствительного компонентного экспресс-анализа в районах с высокими скоростями бурения и решения ряда новых задач (например, прогнозирования нефтегазоносных пластов до их вскрытия скважиной) разработан универсальный ХГ для промышленных и полевых геохимических исследований «Геохром-275». Он рассчитан на проведение компонентного анализа в двух режимах: в режиме 1 — анализ на предельные УВ от метана до гексана с  $t_{\text{н}} = 45$  с и порогом чувствительности  $C_{\text{оп min}} = 10^{-5} \%$ , в режиме 2 — анализ на 12 УВ — шесть предельных УВ от метана до гексана, непредельные УВ (этилен, пропилен, бутилен) и их изо соединения (изобутан, изобутилен, изопентан) с  $t_{\text{н}} = 240$  с и  $C_{\text{оп min}} = 10^{-5} \%$ . Работа ХГ в режиме 1 используется при проведении газового каротажа в районах с высокими скоростями бурения и при анализе проб, отобранных опробователями и испытателями пластов, а в режиме 2 — при газовом каротаже в районах с низкими скоростями бурения и при полевой геохимической разведке.

«Геохром-275» представляет собой сдвоенный ХГ, имеющий две хроматографические системы, работающие попеременно в режимах

нагрева и охлаждения (рис. 24). «Геохром-275» включает в себя краны-дозаторы 1а и 1б, к которым подключены две хроматографические колонки 6 и 7 с индивидуальными ПИД 8 и 9 на их выходах. ПИД 8 и 9 подключены параллельно к усилителю постоянного тока 10 и далее к интегратору (на рис. 24 не показан) или к регистратору 11. ХГ снабжен устройствами 4 и 5 для нагрева хроматографических колонок 6 и 7. Краны-дозаторы 1а, отсекающий порцию ГВС в дозаторе 2, и 1б, переключающий газы, а также устройства 4 и 5 работают по программе времени, определяемой программатором 3.

### § 23. АППАРАТУРА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПОНЕНТНОГО АНАЛИЗА

При проведении комплексного газового каротажа регистрация результатов компонентного анализа по стволу скважины должна проводиться в виде кривых  $F_n = F(Z_n)$  или  $A_n = F(Z_n)$  с заданным шагом квантования по глубине  $\Delta_r$  (при газовом каротаже в процессе бурения) или в виде кривых  $F_n = f(V_{жк})$  или  $A_n = f(V_{жк})$  с заданным шагом квантования по объему ПЖ, эвакуированной из скважины,  $\Delta V_{жр}$  (при газовом каротаже после бурения). Для обеспечения же стабильности параметров ХГ он должен работать в режиме непрерывной смены анализов с заданным шагом квантования по времени, равным  $t_{ц}$ . Эти требования противоречивы. Для их согласования необходима дискретная регистрация величин  $F_n$  или  $A_n$  с переменным шагом квантования по глубине  $\Delta_{гх}$ , равным или кратным  $\Delta_r$  (при газовом каротаже в процессе бурения), или с переменным шагом квантования по объему ПЖ  $\Delta V_{жк}$ , равным или кратным  $\Delta V_{жр}$  (при газовом каротаже после бурения), и с переменным шагом квантования по времени  $t_x$ , равным или кратным  $t_{ц}$ . Шаги  $\Delta_{гх}$  и  $t_x$ , а также шаги  $\Delta V_{жк}$  и  $t_x$  при газовом каротаже в процессе или после бурения должны соответственно автоматически изменяться в зависимости от скорости бурения  $v_б$  или от расхода ПЖ  $Q_{вых}$ . В зависимости от этих величин изменяется время  $t_{\Delta}$  бурения интервала скважины, равного  $\Delta_r$  (время  $t_V$  эвакуации из скважины объема ПЖ, равного  $\Delta V_{жр}$ )<sup>1</sup>.

Возможны три случая соотношения режима работы ХГ и режима бурения скважины:  $t_{ц} < t_{\Delta}$  ( $t_{ц} < t_V$ );  $t_{ц} = t_{\Delta}$  ( $t_{ц} = t_V$ ) и  $t_{ц} > t_{\Delta}$  ( $t_{ц} > t_V$ ).

В первом случае, соответствующем низким величинам  $v_б$  ( $Q_{вых}$ ),

$$\Delta_{гх} = \Delta_r (\Delta V_{жк} = \Delta V_{жр}); \quad (V.14)$$

$$t_x = m t_{ц}, \quad (V.15)$$

где  $m$  — число сигналов  $t_{ц}$ , поступающих между двумя смежными сигналами  $Z_n$  с шагом  $\Delta_r$  (сигналами  $\Delta V_{жр}$ ). При этом регистрация

<sup>1</sup> Без скобок — при проведении газового каротажа в процессе бурения; в скобках — при проведении газового каротажа после бурения.

результатов компонентного анализа проводится через каждые  $m$  анализов с шагом  $\Delta_r$  ( $\Delta V_{жр}$ ).

Во втором случае, соответствующем средним величинам  $v_0$  ( $Q_{вых}$ ), величины  $\Delta_{rx}$  ( $\Delta V_{жx}$ ) определяются по (V.14), а

$$t_x = t_u. \quad (V.16)$$

При этом проводится регистрация результатов каждого анализа с шагом  $\Delta_r$  ( $\Delta V_{жр}$ ).

В третьем случае, соответствующем большему величинам  $v_0$   $Q_{вых}$ ,

$$\Delta_{rx} = a \Delta_r (\Delta V_{жx} = a \Delta V_{жр}), \quad (V.17)$$

а величина  $t_x$  — определяется по (V.16).

Здесь  $a$  — число сигналов  $Z_n$  с шагом  $\Delta_r$  (сигналов  $\Delta V_{жр}$ ), поступивших за время  $t_u$  и автоматически определяемых из неравенства

$$a t_\Delta < t_u < (a + 1) t_\Delta \quad (a t_V < t_u < (a + 1) t_V). \quad (V.18)$$

При этом проводится регистрация результатов каждого анализа с шагом  $\Delta_{rx}$  ( $\Delta V_{жx}$ ) по (V.17).

С учетом изложенного для регистрации по стволу скважины величин  $F_n$  или  $A_n$  требуется специальная аппаратура, обеспечивающая определение  $F_n$  или  $A_n$ , большой динамической диапазон записи или установление индивидуальных коэффициентов закругления масштаба записи  $K_{mn}$  величин  $F_n$  или  $A_n$ , а также определяющая числа  $a$  по (V.18) и старт-стопный режим регистрации с фиксацией на неподвижной ленте электронного самопишущего потенциометра величин  $F_n$  или  $A_n$  в виде точек с индексами  $n$  и затем протяжку ленты на  $a$  шагов

$$l_{пр} = 10^{-3} \Delta_r N, \quad (V.19)$$

где  $l_{пр}$  — в мм;  $\Delta_r$  — в м;  $N$  — заданный оператором масштаб глубин (1 : 500 или 1 : 200).

В станции АГКС-4АЦ эта аппаратура, регистрирующая величины  $A_n$  с индивидуальными коэффициентами  $K_{mn}$ , состояла ранее из электронного самопишущего потенциометра ЭППВ-60МЗ, дорабатываемого для АГКС, и пульта управления параметрами III группы (ПУIII). В одноканальном потенциометре устанавливалась шеститочечная каретка (для регистрации  $A_1$ — $A_6$ ) с электромагнитным приводом, управляемым определителем максимумов пиков хроматограммы в ПУIII. В начальной части шкалы потенциометра (в так называемой «зоне нечувствительности») устанавливались специальные контакты, замыкаемые кулачком на каретке. В передаче от синхронного электродвигателя к лентопротяжному механизму выбирались валики, делающие 1 об при протяжке ленты на 2 или 5 мм, что соответствует протяжке ленты на 1 м глубины скважины при  $N = 1 : 500$  или  $1 : 200$ . На этих валиках монтировались прерыватели при протяжке ленты на длину, пропорциональную  $\Delta_r = 0,5$  и 1 м. Управление переключателем закругления масштабов записи  $K_{mn}$  потенциометра было автомати-

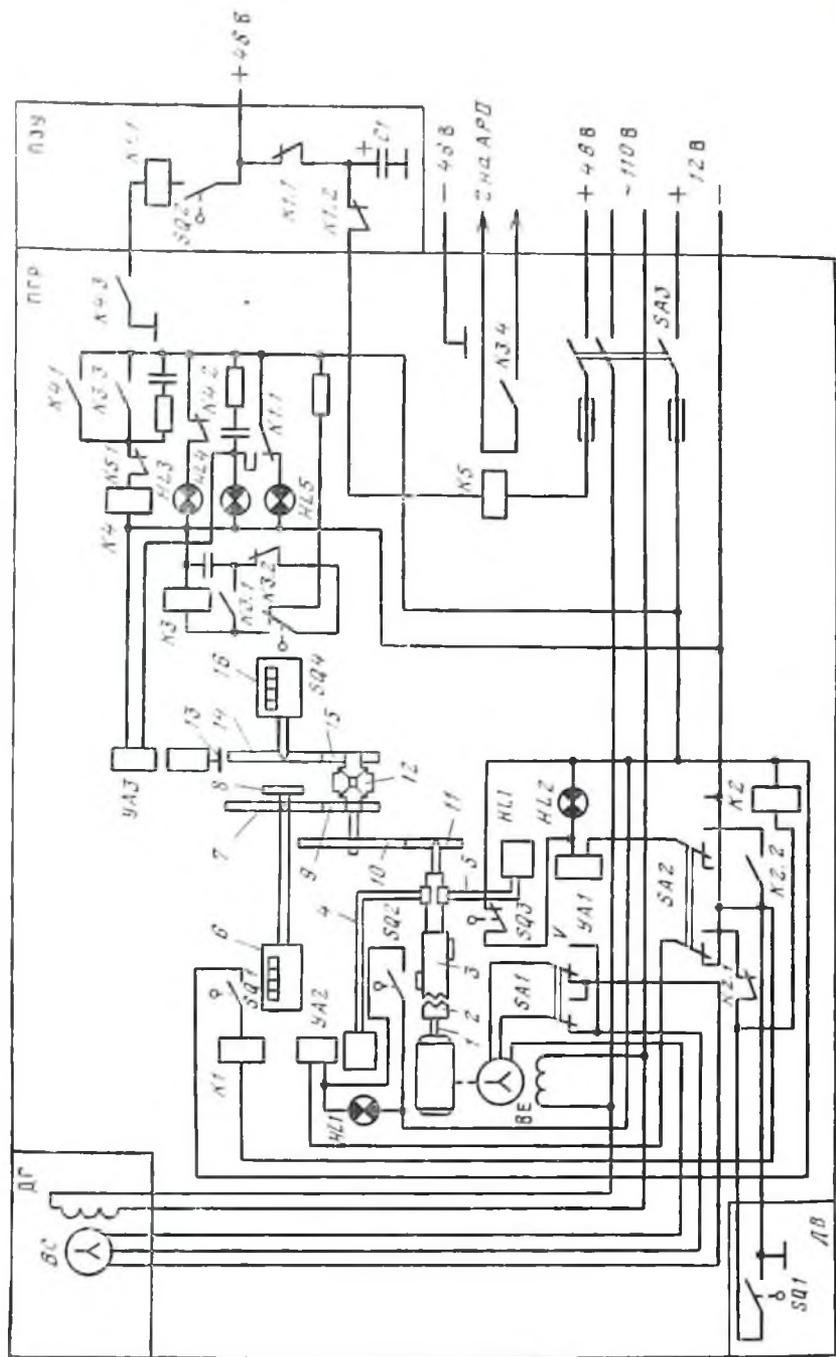
ческим из ПУИ. ПУИ содержал блоки запуска определителя максимумов, включения схемы на измерение отдельных компонентов, управления величинами  $K_{мн}$  и протяжкой ленты потенциометра.

Срабатывание устройства происходило при последовательном поступлении сигналов  $Z_n$  с шагами  $\Delta_r$  и  $t_{ц}$  ( $\Delta V_{жр}$  и  $t_{ц}$ ), по которым блок запуска ПУИ разрешал работу блоку определителя максимумов. Этот блок срабатывал при начале пика метана, когда в «зоне нечувствительности» каретка потенциометра замыкала соответствующие контакты («зона нечувствительности» ограничивает участок колебания нулевой линии хроматограммы и исключает возможность спутывания колебаний нулевой линии с пиком хроматограммы). После выхода каретки из «зоны нечувствительности» в момент достижения пиком метана максимума изменялся знак сигнала в управляющей обмотке реверсивного электродвигателя потенциометра и срабатывал определитель максимумов ПУИ, выдавая сигнал на фиксацию величины  $A_1$  в масштабе  $K_{м1}$  на неподвижной ленте потенциометра в виде точки с индексом «1». Аналогично фиксировались величины  $A_2—A_n$  в виде точек с индексами «2» — «n». После фиксации  $A_n$  включался лентопротяжный механизм и лента протягивалась на  $n$  шагов  $l_{пр}$  по (V.19). При поступлении следующих сигналов  $Z_n$  и  $t_{ц}$  ( $\Delta V_{жр}$  и  $t_{ц}$ ) цикл регистрации повторялся в описанном порядке. В результате огибающие одноименных точек представляли кривые  $A_n$ , зарегистрированные в заданном масштабе исправленных глубин  $N$  с переменным шагом квантования  $\Delta_{ix}$  (в заданном масштабе объема ПЖ  $N_v$  с переменным шагом  $\Delta V_{жх}$ ).

С 1982 г. регистрация величин  $A_n$  в станции АГКС-4АЦ производится потенциометром КСП4-284-02, который отличается от описанного приводом, печатающей каретки от синхронного электродвигателя по команде с ПУИ, временем пробега шкалы 1 с вместо 2,5 с и протяжкой ленты с помощью шагового двигателя (при каждом шаге лента протягивается на 0,1 мм); поэтому в ПУИ вырабатывается  $m = 10 l_{пр}$  сигналов, подаваемых на шаговый двигатель, где  $l_{пр}$  определяется по (V.19).

#### § 24. АППАРАТУРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИН СКВАЖИН И РАСХОДА ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ

*Аппаратура для определения глубин.* Аппаратура АГКС или АГИС для измерения глубины скважины состоит из датчика глубин ДГ, датчика веса ДВ и глубиномера. Датчик глубин представляет собой сельсин-датчик, связанный через мерный ролик и редуктор с ходовым концом талевого каната буровой так, чтобы вал сельсина делал 2 об при перемещении бурильного инструмента в скважине на 1 м. Датчик веса, называющийся ранее выключателем «мертвого конца», предназначен для выключения привода глубиномера при холостых пробегах талевого блока во время СПО. Основной частью ДВ является рессора, прижимаемая к «мертвому



концу» талевого каната. Когда бурильный инструмент висит на талевом блоке, рессора выпрямляется и микропереключатель ДВ выдает сигнал на включение привода глубиномера.

Определение глубины забоя скважины  $Z$ , высоты подъема бурильного инструмента над забоем  $Z_n$  и выдача сигналов  $Z$  с шагом  $\Delta_r$  производятся с помощью специального электромеханического устройства — глубиномера, монтируемого в пульте глубин и расхода (ПГР) станции АГКС-4АЦ или в блоке глубиномера\* (БГ) системы АГКС-5/АГИС-2.

Привод глубиномера осуществляется от сельсина-приемника ВЕ, связанного с сельсином-датчиком ВС в ДГ (рис. 25). От ВЕ в глубиномере осуществляется привод счетчиков 16 «глубина» и 6 «над забоем», показывающих соответственно  $Z$  и  $Z_n$  (в м). Вал 1 ротора ВЕ через кулачковые муфты 2—3 и шестерни 11—10 подключен к дифференциалу 12, с которым передачами 15—14 и 9—7 связаны счетчики 16 и 6. Счетчик 6 имеет устройство, исключающее переход его барабана через нулевые показания и замыкающее при ненулевых показаниях контакты SQ1. На счетчике 16 смонтирован электромагнитный стопор 13, запирающий при ненулевых показаниях счетчика 6 шестерню 14. По такой схеме в процессе бурения, когда вал счетчика 6 и шестерни\* 7—9 застопорены, вращение от ВЕ через дифференциал 12 передается счетчику 16. Одновременно включена лампочка HL5 «бурение». С началом СПО или при отрыве долота от забоя счетчик 6 начинает увеличивать показания и контактами SQ1 включает реле K1. В результате срабатывает электромагнит УАЗ, запирающий стопором 13 привод к счетчику 16, выключается лампа HL5 и включается лампа HL4 «подъем». После окончания СПО или при установке долота на забой счетчик 6 устанавливается на нуль, контакты SQ1 размыкаются, реле K1 выключается и привод снова подключается к счетчику 16. Начальная глубина  $Z_n$  устанавливается на счетчике 16 с помощью диска 8, выведенного на лицевую панель ПГР.

На валу счетчика 16, делающем 1 об на 1 м перемещения бурильного инструмента в скважине, устанавливается кулачок<sup>1</sup>, замыкающий контакты SQ4, с помощью которых включаются реле K3 и K4, выдающие сигналы глубин  $Z$  с шагом  $\Delta_r$  на аналоговый регистратор параметров II группы (АРИИ) и на пульт запоминающего

<sup>1</sup> С одним выступом при  $\Delta_r = 1$  м и двумя при  $\Delta_r = 0,5$  м. В системе АГКС-5/АГИС-2 устанавливается кулачок с пятью выступами, выдающим сигналы  $Z$  с шагом 0,1 м, которые затем пересчитываются в отношении 1 : 4 (при  $\Delta_r = 0,4$  м) или 1 : 8 (при  $\Delta_r = 0,8$  м).

Рис. 25. Электрокинематическая схема глубиномера пульта глубин и расхода станции АГКС-4АЦ.

ДГ — датчик глубин; ДВ — датчик веса; ПГР — пульт глубин и расхода. Выключатели и переключатели: SA1 — «реверс»; SA2 — «передача»; вкл; авт; выкл»; SA3 — «питание». Счетчики: 6 — «над забоем»; 16 — «глубина». Сигнальные лампочки: HL1 — «передача»; вкл»; HL2 — «передача»; выкл»; HL3 — «метка глубин»; HL4 — «подъем»; HL5 — «бурение». ПЗУ — пульт запоминающего устройства ПЗУ-1

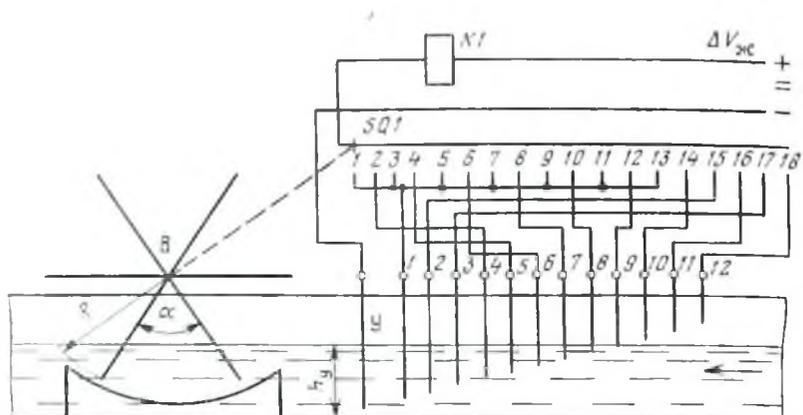


Рис. 26. Принципиальная схема измерителя объема промывочной жидкости, эвакуированной из скважины

устройства (ПЗУ) станции. На ПЗУ сигнал  $Z$  выдается до тех пор, пока с ПЗУ не поступит сигнал разблокировки (пока с помощью реле  $K5$  не выключится реле  $K4$ ).

Чтобы на показания счетчиков  $16$  и  $6$  не влияли холостые пробеги талевого блока при СПО, между валом  $1$   $BE$  и дифференциалом  $12$  установлена кулачковая муфта  $2-3$ , управляемая через тяги  $4$  и  $5$  электромагнитами  $YA2$  и  $YA1$  по командам с ДВ. Когда производится холостые пробеги талевого блока и к нему подвешена только одна свеча бурильных труб, ослабляется натяжение талевого каната, рессора ДВ сгибается, замыкаются его контакты  $SQ1$  и реле  $K2$  включает электромагнит  $YA2$ , отключая с помощью муфты  $2-3$  счетчики  $16$  и  $6$  от вала  $1$   $BE$ . При подвешивании бурильного инструмента контакты  $SQ1$  и ДВ размыкаются и реле  $K2$  включает электромагнит  $YA1$  и с помощью муфты  $2-3$  подключает счетчики к валу  $BE$ . С помощью контактов  $SQ2$  и  $SQ3$  после перемещения части  $3$  муфты электромагниты  $YA1$  или  $YA2$  соответственно выключаются. В начале бурения, когда масса бурильного инструмента, висящего на талевом блоке, мала, ДВ не срабатывает и управление муфтой  $2-3$  производят вручную с помощью переключателя  $SA2$ .

*Аппаратура для измерения расхода промывочной жидкости на «выходе» скважины.* Хотя, в принципе, желательно измерение расхода ПЖ на «входе»  $Q_{вх}$  и «выходе»  $Q_{вых}$  скважины, в отечественных АГКС и АГНС до настоящего времени измеряется только величина  $Q_{вых}$ , как наиболее информативная и характеризующая режим бурения скважины. Определение  $Q_{вых}$  является довольно сложной технической задачей из-за необходимости проведения работ в открытом желобе при изменяющемся уровне и физических свойствах ПЖ в желобе. Указанные ограничения позволяют применять для решения указанной задачи только расходомеры объемного типа — измерители объема ПЖ, эвакуированной из скважины.

В отечественных АГКС и АГИС измеритель объема ПЖ выполнен в виде шестилопастной вертушки  $B$ , установленной в желобе буровой (рис. 26). Вал вертушки связан с ползунком прерывателя  $SQI$ , который поочередно подключает реле  $KI$ , цепь которого замыкается через поток ПЖ в желобе, к электродам уровнемера  $У$  различной длины. При вращении вертушки  $B$  число срабатываний реле  $KI$  за 1 об будет равно числу электродов уровнемера, погруженных в ПЖ. Такой измеритель выдает сигналы при прохождении через него порций ПЖ с постоянным объемом  $\Delta V_{ж}$ .

Легко показать, что объем ПЖ (в л), проходящий через измеритель за 1 об вертушки  $B$

$$V_n = 10^{-3} n a [(\pi R^2 \alpha / 360) - \lg(\alpha/2)(R - h_y)^2], \quad (V.20)$$

где  $n$  — число лопастей вертушки;  $a$  — ширина лопасти в см;  $R$  — радиус вертушки в см;  $\alpha$  — угол между лопастями вертушки в градусах;  $h_y$  — уровень ПЖ в желобе в см. Применяемый в АГКС и АГИС измеритель объема (ИО) характеризуется следующими данными:  $n = 6$ ,  $a = 41$  см,  $R = 41,3$  см,  $\alpha = 60^\circ$ . Для этих данных формула (V.20) принимает вид

$$V_n = -0,12h_y^2 + 11,76h_y - 24. \quad (V.21)$$

Из (V.21) легко определяется цена импульса ИО  $\Delta V_{ж} = 12,5$  л.

За рубежом для определения  $Q_{вых}$  широко используется способ измерения объема ПЖ в мерных емкостях по изменению уровня ПЖ в них  $H_m$ . Однако такой способ определения величины  $Q_{вых}$  менее точен и требует высокого качества ПЖ.

## § 25. АППАРАТУРА ДЛЯ ПРИВЯЗКИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ШЛАМА К ИСПРАВЛЕННЫМ ГЛУБИНАМ

*Аппаратура для привязки геохимических параметров к исправленным глубинам.* Как показано выше, геохимические параметры, измеряемые по порции ПЖ на устье скважины, относятся к точке пласта с исправленной глубиной (в м)

$$Z_{и} = Z - \delta Z, \quad (V.22)$$

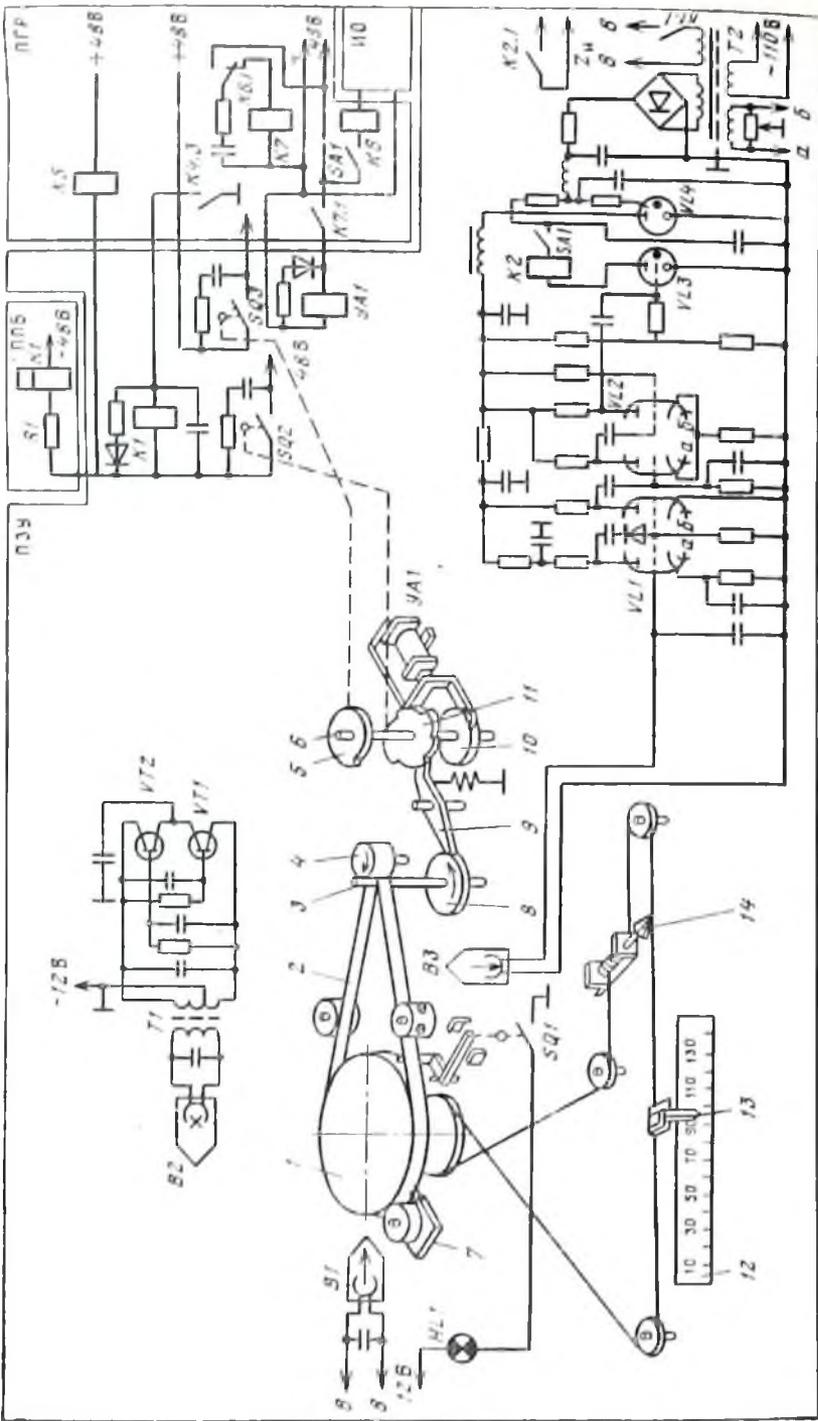
где  $Z$  — глубина скважины в момент измерения (далее просто глубина) в м;  $\delta Z$  — увеличение глубины забоя скважины за время  $t_{от}$  перемещения исследуемой порции ПЖ от забоя до устья скважины в м;  $t_{от}$  — величина отставания по времени в мин.

Увеличение глубины  $\delta Z$  называется величиной отставания по глубинам,

$$\delta Z = 1,66 \cdot 10^{-2} v_0 t_{от}, \quad (V.23)$$

где  $v_0$  — средняя скорость бурения за интервал времени  $t_{от}$  в м/ч. В соответствии с определением

$$t_{от} = 16,6 V_c / Q_{вых}, \quad (V.24)$$



где  $V_c$  — объем затрубного пространства скважины, иногда называемый величиной отстаивания по объему ПЖ в  $m^3$ ;  $Q_{\text{вых}}$  — в л/с.

Подставляя (V.24) в (V.23) и учитывая, что при газовом коротаже измеряется не величина  $v_c$ , а обратная ей величина  $T_1$  в мин/м, получим

$$\delta Z = 16,6V_c/(Q_{\text{вых}}T_1); \quad (V.25)$$

$$Z_{\text{н}} = Z - 16,6V_c/(Q_{\text{вых}}T_1). \quad (V.26)$$

Из (V.26) видно, что для определения  $Z_{\text{н}}$  требуется измерение или определение величин  $Z$ ,  $Q_{\text{вых}}$  и  $T_1$  и экспериментальное определение величины  $V_c$  по объему ПЖ, эвакуированной из скважины за время перемещения индикатора (например, бензина) от забоя до устья скважины.

Для работы АГКС необходимо нечисленное определение величины  $Z_{\text{н}}$  по (V.26), а, учитывая дискретный характер регистрации геохимических параметров, преобразование сигналов  $Z$  с шагом  $\Delta_r$  в сигналы  $Z_{\text{н}}$  путем задержки сигналов  $Z$  на переменное время  $t_{\text{от}}$  эвакуации из скважины объема ПЖ, равного  $V_{\text{ср}}$ .

Эта задача решается в АГКС пультом запоминающего устройства (ПЗУ) (рис. 27). В ПЗУ в качестве носителя меток  $Z$  используется кольцевая магнитная лента 2, перемещаемая вдоль диска 1 мимо записывающей В1, считывающей В3 и стирающей В2 головок. Головка В1 смонтирована на поводке 7 и может быть смещена по отношению к головке В3 против направления движения ленты 2 с помощью ручки 14 так, чтобы это смещение в масштабе протяжки ленты было равно величине  $V_c$  (в  $m^3$ ), устанавливаемой с помощью указателя 13 по шкале 12. Для учета величины  $V_c$  в необходимых пределах масштаб протяжки магнитной ленты  $N_{\text{пр}}$  выбран равным 4 мм/ $m^3$ , что обеспечивается протяжкой ленты на шаг  $l_{\text{пр}} = 0,4$  мм при эвакуации из скважины объема ПЖ  $\Delta V_{\text{ж}} = 0,1 m^3$ . Для обеспечения этого электромагнит УА1, срабатывающий при каждом сигнале  $\Delta V_{\text{ж}} = 12,5$  л, поступающем с помощью реле К6 и К7 ПГР, через храповое устройство 10 поворачивает вал 6 на 1 : 48 окружности. Поэтому вал 6 делает 1 об при эвакуации из скважины ПЖ объемом 0,6  $m^3$ . На валу 6 смонтированы кулачки 5 с одним выступом и 11 с шестью выступами. С помощью выступов кулачка 11 взводят рычаг 9, который при повороте вала 6 на угол 60° (эвакуации из скважины объема ПЖ, равного 0,1  $m^3$ ) срывается под действием пружины и с помощью храпового устройства 8 на ведущем валике 3, к которому лента 2 прижимается роликом 4, протягивает ленту на шаг  $l_{\text{пр}}$ . Одновременно замыкаются контакты SQ2 и выдается сигнал  $\Delta V_{\text{ж}1} = 0,1 m^3$ , по которому срабатывает счетчик объема ПЖ, эвакуированной из скважины, К1 в пульте пара-

Рис. 27. Электрокинематическая схема пульта запоминающего устройства станции АГКС-4АЦ.

Пульты: ПЗУ — запоминающего устройства ПЗУ-1; ППБ — параметров бурения; ПГР — глубин и расхода; СА1 — выключатель «питание»; НЛ1 — сигнальная лампа «обрыв ленты»; ИО — измеритель объема ПЖ, эвакуированной из скважины

метров бурения (ППБ). Этими же контактами обеспечивается срабатывание реле  $K1$ , которое подключено к источнику питания через контакты реле  $K4$  ПГР (см. рис. 25). Поэтому при поступлении сигнала  $Z$  реле  $K1$  ПЗУ срабатывает только в момент протяжки ленты, подключая головку  $B1$  к  $T2$  и нанося на движущуюся в этот момент ленту 2 метку  $Z$ . Одновременно включаются реле  $K5$  и  $K4$  ПГР (см. рис. 25) и прекращается подача сигнала  $Z$ . При полном обороте вала 6 кулачок 5 замыкает контакты  $SQ3$ , выдавая в ПГР сигнал объема ПЖ  $\Delta V_{жз} = 0,6 \text{ м}^3$ . При достижении меткой  $Z$  головки  $B3$  метка  $Z$  считывается этой головкой как сигнал исправленных глубин для геохимических параметров  $Z_{и}$ . Сигнал  $Z_{и}$  усиливается двухкаскадным усилителем, собранным на двойном триоде  $VL1$ . Усиленный сигнал поступает на триггер  $VL2$ , с помощью которого осуществляется управление тиратроном  $VL3$ , в анодную цепь которого включено реле  $K2$ . При каждом срабатывании реле  $K2$  в схему АГКС выдается сигнал  $Z_{и}$ .

Для стирания использованных меток  $Z$  с помощью головки  $B2$  применяется генератор тока частотой 30—40 кГц, собранный на транзисторах  $VT1$  и  $VT2$  и трансформаторе  $T1$  по обычной двухтактной схеме.

*Привязка шлама к исправленным глубинам.* При перемещении ПЖ от забоя до устья в затрубном пространстве скважины под действием гравитационных сил в ПЖ происходит седиментация частиц шлама. В силу этого скорость перемещения частиц шлама от забоя до устья и линейная скорость перемещения ПЖ становятся различными. Обычно в процессе седиментации частиц шлама обтекание их ПЖ происходит в турбулентном режиме и поэтому скорость седиментации частиц шлама  $v_c$  (в см/с) может описываться формулой Реттингера:

$$v_c = K_{\phi} \sqrt{d_p (\delta_{п} - \delta_{ж}) / \delta_{ж}}, \quad (V.27)$$

где  $K_{\phi}$  — коэффициент, зависящий от формы частиц шлама;  $d_p$  — диаметр шара в см, равного по массе частице неправильной формы с максимальными габаритами  $b_{чш}$  в см;  $\delta_{п}$  — плотность горной породы (шлама) в  $\text{г/см}^3$ ;  $\delta_{ж}$  — плотность ПЖ в  $\text{г/см}^3$ .

Как видно из (V.27), скорость седиментации частиц шлама в ПЖ  $v_c$  прямо пропорциональна их габаритам  $b_{чш}$ . Поэтому для обеспечения возможности привязки частиц шлама к соответствующим (исправленным) глубинам необходим отдельный отбор шлама по габаритным фракциям, частицы которых в заданном диапазоне величин  $\delta_{п}$  и  $\delta_{ж}$  характеризуются определенной средней скоростью седиментации с заданным разбросом (порядка 20 %). При таком подходе шлам необходимо разделять на три габаритных фракции:  $\Phi_1$  — с  $b_{чш} \leq 2,9 \text{ мм}$ ,  $\Phi_2$  — с  $3 \leq b_{чш} \leq 5 \text{ мм}$  и  $\Phi_3$  — с  $b_{чш} \geq 5,1 \text{ мм}$ .

По аналогии с (V.26) можно показать, что для  $n$ -й габаритной фракции шлама исправленная глубина

$$Z_{и, ш n} = Z_{и} - 16,6 V_{скл. ш n} / Q_{вых} T_1, \quad (V.28)$$

где  $Z_{н. шл}$  в м;  $V_{скд. шл}$  — дополнительный объем ПЖ, который должен быть эвакуирован из скважины после поступления сигнала  $Z_{н.}$ , чтобы на устье скважины появились первые частицы  $n$ -й габаритной фракции шлама, относящиеся к пласту на глубине  $Z_{н. шл}$ , в м<sup>3</sup>.

Практически получают сигналы  $Z_{н. шл}$  ( $Z_{н. ш1}$  —  $Z_{н. ш3}$ ) путем задержки сигналов  $Z_{н.}$  на переменные времена эвакуации из скважины объемов ПЖ, равных экспериментально определяемым объемам ПЖ  $V_{скд. шл}$  ( $V_{скд. ш1}$  —  $V_{скд. ш3}$ ). Эти задержки могут осуществляться многоканальными ПЗУ.

В АГИС преобразование сигналов  $Z$  в сигналы  $Z_{н.}$  и сигналов  $Z_{н.}$  в сигналы  $Z_{н. шл}$ , а также определение численной величины  $Z_{н.}$  (в м) производится с помощью бортовой мини-ЭВМ.

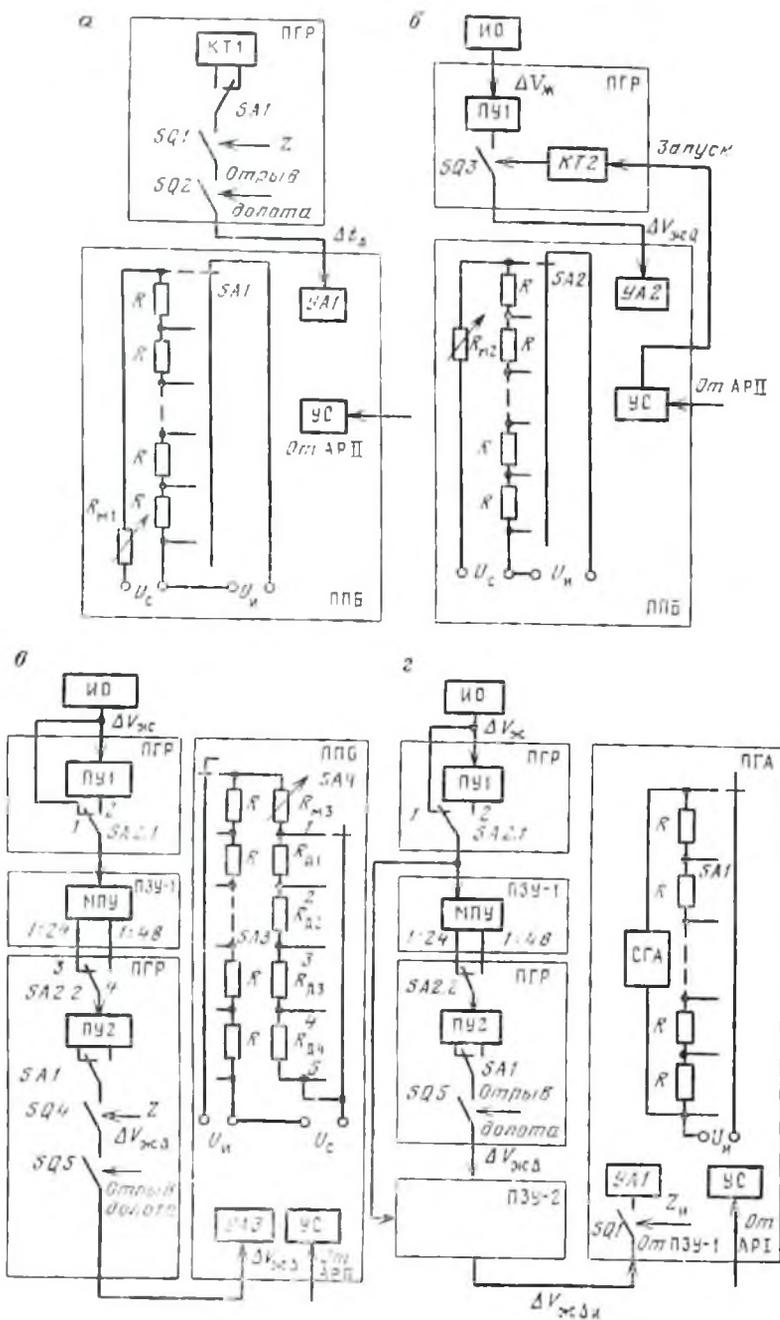
*Автоматический шламоотборник.* Из описанного следует, что для отбора в процессе бурения шлама, привязанного к исправленным глубинам, АГИС должна включать автоматизированный шламоотборник (ШО) — устройство для механизированного отбора шлама, разделения его по заданным габаритным фракциям и маркировки отобранных им порций габаритных фракций шлама по сигналам  $Z_{н. шл}$ , обычно поступающим с шагом квантования по глубинам  $\Delta_{гш} = 5\Delta_{г.}$

Шламоотборник, которым должна комплектоваться система, АГКС-5/АГИС-2, представляет собой шламосортирующую колонку, располагаемую непосредственно под желобом, в которую пульпа (механическая смесь шлама и ПЖ) поступает самотеком. Колонка выполнена в виде вертикального цилиндра с горизонтально расположенными решетками, имеющими проходные отверстия различных размеров. Эти решетки делят колонку на секции: верхнюю Ф3, среднюю Ф2 и нижнюю Ф1. Выделившиеся в этих секциях частицы габаритных фракций шлама поступают в шламоотборные стаканы, где по сигналам  $Z_{н. шл}$  с шагом  $\Delta_{гш}$ , идущим из АГИС, производится разделение порций габаритных фракций шлама специальными маркирующими шайбами. Каждая такая порция шлама характеризует интервал глубин высотой, равной  $\Delta_{гш}$ , со средней исправленной глубиной  $[Z_{н. шл}]$ . (На практике в полученной порции габаритной фракции шлама необходимо отделить забойный шлам от обвалыного, который относится к вышележащим горизонтам.)

## § 26. АППАРАТУРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ БУРЕНИЯ

Современные АГКС и АГИС определяют ряд параметров, характеризующих режим бурения скважины (величины  $T_1$  и  $Q_{вых}$  и коэффициент разбавления  $E$ ). В отечественных АГКС параметры бурения определяются путем суммирования сигналов времени или объема ПЖ с помощью специальных блоков сумматора, собранных на шаговых искателях. В АГИС параметры, характеризующие режим бурения скважины, определяются с помощью бортовой мини-ЭВМ.

Определение продолжительности бурения 1 м скважины  $T_1$ . В станции АГКС-4АЦ  $T_1$  определяется путем суммирования сигналов времени  $\Delta t_{\Delta}$  и нахождения числа  $m_T$  этих сигналов, поступив-



ших в процессе «чистого бурения» (когда долото находится на забое скважины), между смежными сигналами глубин  $Z$ . Величина  $T_1$  определяется с помощью потенциометрической схемы, собранной на шаговом искателе  $SA1$  (рис. 28, а). Электромагнит  $УА1$   $SA1$  срабатывает от сигналов  $\Delta t_\Delta$  и при каждом срабатывании вводит в цепь потенциометра постоянные резисторы  $R$ , подключенные к стабилизированному источнику постоянного тока  $U_c$ . Схема сумматора на шаговом искателе  $SA1$  смонтирована в пульте параметров бурения (ППБ) станции. Сигналы  $\Delta t_\Delta$  (в мин), поступающие с реле времени  $КТ1$  в пульте глубин и расхода (ПГР) станции, выбраны пропорциональными шагу квантования по глубине  $\Delta_r$  (в м), с которым производится определение и регистрация параметров  $\Pi$  группы регистратором АРП:

$$\Delta t_\Delta = \Delta_r \Delta T_1, \quad (V.29)$$

где  $\Delta T_1$  — заданная величина приращения  $T_1$  для измерения с  $\Delta_{r, \max} = 1$  м, при которой обеспечивается регистрация  $T_1$  в заданном масштабе  $n$  (в мин/(м·см)) шкалы регистратора, в мин/м.

Для такой схемы число  $m_T$  и напряжение  $U_n$ , снимаемое с потенциометрической схемы сумматора, собранного на  $SA1$ , пропорционально величине  $T_1$  при измерениях с любым заданным шагом квантования  $\Delta_r$ :

$$T_1 = m_T \Delta t_\Delta / \Delta_r = m_T \Delta_r \Delta T_1 / \Delta_r = m_T \Delta T_1 = K_1 m_T R = K_2 U_n, \quad (V.30)$$

где  $T_1$  — в мин/м;  $K_1$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от величины  $R$ , в мин/(м·Ом);  $R$  — в Ом;  $K_2$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от  $R$  и тока питания потенциометра  $I_n$ , в мин/(м·мВ);  $U_n$  — в мВ. Величина  $\Delta T_1$  выбрана равной 1 мин/м для получения масштаба,  $n = 5$  мин/(м·см).

Аппаратура для определения  $T_1$  работает следующим образом. Реле времени  $КТ1$  в ПГР с помощью переключателя  $SA1$  выдает сигналы времени  $\Delta t_\Delta$  на электромагнит  $УА1$  шагового искателя  $SA1$  в ППБ. Цепь сигналов  $\Delta t_\Delta$  может быть разорвана кратковременно контактами  $SQ1$  при поступлении сигнала  $Z$  и контактами  $SQ2$  на время отрыва долота от забоя. Это обеспечивает определенные величины  $T_1$  только в процессе «чистого бурения», когда долото находится на забое скважины. При каждом сигнале  $\Delta t_\Delta$  ползунок  $SA1$  переходит в следующее положение, вводя в схему по-

Рис. 28. Блок-схемы определения параметров бурения и производных газокоротажных параметров в станции АГКС-4АЦ.

а —  $T_1$ ; б —  $Q_{\text{вых}}$ ; в —  $E$ ; г —  $\Gamma_{\text{пр}}$ . ПГР — пульт глубин и расхода. Переключатели:  $SA1$  — шаг глубин; 0,5; 1;  $SA2$  — « $V_c \max / E_{\max}$ » (положения «1» — «3» — «140/1000»; «1-1» — «140/2000»; «2-3» — «280/2000»; «2-4» — «280/4000»). ППБ — пульт параметров бурения.  $SA1$ — $SA3$  — шаговые искатели для определения  $T_1$ ,  $Q_{\text{вых}}$  и  $E$ ;  $SA4$  — переключатель «долото»; 5 3/4; 7 3/4; 9 3/4; 11 3/4; 13 3/4. Ю — измеритель объема ПЖ, эвакуированной из скважины. ПЗУ-1 — пульт запоминающего устройства для преобразования сигналов  $Z$  в сигналы  $Z_{\text{п}}$ . МПУ — механическое пересчетное устройство. ПЗУ-2 — пульт запоминающего устройства для преобразования сигналов объема ПЖ  $\Delta V_{\text{ЖД}}$  в сигналы  $\Delta V_{\text{ЖД}}$ . ПГА — пульт суммарного газоанализатора. СГА — суммарный газоанализатор

тензиометра, ток в цепи которого предварительно отрегулирован с помощью переменного резистора  $R_{м1}$ , по одному резистору  $R$ . При поступлении сигнала  $Z$  сумматор останавливается и число  $m_T$  резисторов  $R$ , введенных в схему потенциометра, а следовательно, и напряжение  $U_{и1}$ , снимаемое с потенциометра, становятся пропорциональными  $T_1$ . Напряжение  $U_{и1}$ , пропорциональное  $T_1$ , фиксируется регистратором АРП. После этого с АРП на устройство сброса УС показаний сумматора поступает сигнал, по которому СА1 возвращается в исходное положение, контакты SQ1 в ПГР снова замыкают цепь сигналов  $\Delta t_{\Delta}$  и цикл определения величины  $T_1$  возобновляется в описанном порядке.

*Определение расхода промывочной жидкости на «выходе» скважины.* Определение  $Q_{вых}$  в станции АГКС-4АЦ производится путем суммирования сигналов объема ПЖ  $\Delta V_{жQ}$  и определения числа  $m_Q$  этих сигналов, поступивших за постоянный интервал времени  $t_Q$ . Определение  $Q_{вых}$  производится с помощью потенциометрической схемы сумматора, собранного на шаговом искателе SA2 (рис. 28, б), аналогичной схеме сумматора для определения величины  $T_1$ .

При использовании измерителя объема (ИО) промывочной жидкости, эвакуированной из скважины, выдающего дискретные сигналы объема  $\Delta V_{ж}$  (в л), объема ПЖ,  $V_I$  (в л), эвакуированный из скважины за время  $t_Q$  (в с), будет

$$V_I = Q_{вых} t_Q = m_Q \Delta V_{жQ}. \quad (V.31)$$

Из выражения (V.31) легко определить величину  $Q_{вых}$  с помощью потенциометрической схемы сумматора, собранного на шаговом искателе SA2:

$$Q_{вых} = m_Q \Delta V_{жQ} / t_Q = K_3 m_Q R / t_Q = K_4 U_{и1} / t_Q = K_5 U_{и1}, \quad (V.32)$$

где  $K_3$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от величины  $R$ , в л/Ом;  $K_4$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от величины  $R$  и  $I_{и1}$ , в л/мВ;  $K_5$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от величины  $R$ ,  $I_{и1}$  и  $t_Q$ , в л/(мВ·с).

Для обеспечения регистрации величины  $Q_{вых}$  в заданном масштабе  $n = 10 \text{ л/(с·см)}$  в АГКС выбраны  $t_Q = 12,5 \text{ с}$  и  $\Delta V_{жQ} = 25 \text{ л}$ .

Аппаратура для определения величины  $Q_{вых}$  работает следующим образом. Сигналы  $\Delta V_{ж}$  от ИО поступают в ПГР, где пересчитываются пересчетным устройством ПУ1 в сигналы  $\Delta V_{жQ}$ . Сигналы  $\Delta V_{жQ}$  поступают на электромагнит УА2 шагового искателя SA2 в ППБ для определения величины  $Q_{вых}$ . В цепь сигналов  $\Delta V_{жQ}$  включены контакты SQ3, которые замыкают цепь на время  $t_Q$ , определяемое реле времени КТ2 в ПГР. При каждом сигнале  $\Delta V_{жQ}$  ползунок SA2 переходит в следующее положение, вводя в схему потенциометра, ток в цепи которого предварительно отрегулирован с помощью переменного резистора  $R_{м2}$ , по одному калиброванному резистору  $R$ . По истечении времени  $t_Q$  контакты SQ3 разрывают цепь сигналов  $\Delta V_{жQ}$  и сумматор останавливается. Если перед включением реле времени КТ2 шаговый искатель SA2 установлен в исходное положение, в соответствии с (V.32) число  $m_Q$  резисто-

ров  $R$ , введенных в схему потенциометра, и напряжение  $U_n$  становятся пропорциональными  $Q_{\text{вых}}$ . При поступлении сигнала глубины  $Z$  регистрирующий прибор АРП фиксирует напряжение  $U_n$ . После этого на устройство сброса УС подается сигнал, по которому SA2 возвращается в исходное положение и подается команда на реле времени  $KT2$  на отсчет следующего интервала времени  $t_Q$ . При этом контакты SQ3 снова замыкают цепь сигналов  $\Delta V_{жQ}$  и цикл определения величины  $Q_{\text{вых}}$  возобновляется в описанной последовательности.

*Определение коэффициента разбавления.* Определение  $E$  в станции АГКС-4АЦ производится путем суммирования сигналов объема ПЖ, эвакуированной из скважины,  $\Delta V_{ж\Delta}$  в течение интервала времени между смежными сигналами глубин  $Z$ .

Коэффициент разбавления  $E$  (в  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ) может быть определен по формуле

$$E = 0,77 \cdot 10^3 Q_{\text{вых}} T_1 / d_n^2, \quad (\text{V.33})$$

где  $d_n$  — номинальный диаметр скважины в см;  $T_1$  — в мин/м. Произведение  $Q_{\text{вых}} T_1$  в выражении (V.33) представляет собой объем ПЖ, эвакуированный из скважины за время бурения 1 м скважины и может быть определено из выражения.

$$Q_{\text{вых}} T_1 = m_E \Delta V_{ж\Delta} / \Delta_r, \quad (\text{V.34})$$

где  $\Delta_r$  — в м;  $m_E$  — число сигналов объема ПЖ  $\Delta V_{ж\Delta}$ , поступивших в процессе «чистого бурения» за интервал времени  $t_\Delta$  между смежными сигналами глубин  $Z$ , поступивших с шагом  $\Delta_r$ ;  $\Delta V_{ж\Delta}$  — сигналы объема ПЖ (в л), эвакуированной из скважины, пропорциональные шагу  $\Delta_r$ ,

$$\Delta V_{ж\Delta} = \Delta_r \Delta V_{жз}, \quad (\text{V.35})$$

где  $\Delta V_{жз}$  — заданное приращение объема ПЖ для измерения с  $\Delta_r_{\text{max}} = 1$  м, при котором обеспечивается регистрация величины  $E$  в заданном масштабе  $n \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{см})$ , в л/м.

Коэффициент разбавления  $E$  может быть определен с помощью потенциометрической схемы сумматора на шаговом искателе SA3 (рис. 28, в), аналогичной схемам сумматоров для определения  $T_1$  и  $Q_{\text{вых}}$ .

Если в выражение (V.33) подставить (V.34) и (V.35), получим

$$\begin{aligned} E &= 0,77 \cdot 10^3 m_E \Delta V_{ж\Delta} / (d_n^2 \Delta_r) = 0,77 \cdot 10^3 m_E \Delta_r \Delta V_{жз} / (d_n^2 \Delta_r) = \\ &= 0,77 \cdot 10^3 m_E \Delta V_{жз} / d_n^2 = 0,77 \cdot 10^3 K_6 m_E R / d_n^2 = \\ &= 0,77 \cdot 10^3 K_7 U_n / d_n^2 = K_8 U_n, \end{aligned} \quad (\text{V.36})$$

где  $K_6$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от  $R$ , в  $\text{м}^3/(\text{м} \cdot \text{Ом})$ ;  $K_7$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от

$R$  и  $I_n$  в  $\text{м}^3/(\text{м} \cdot \text{МВ})$ ;  $U_n$  — в  $\text{МВ}$ ;  $K_8$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от  $R$ ,  $I_n$  и  $d_n$ , в  $\text{м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{МВ})$ .

Аппаратура для определения коэффициента разбавления  $E$  работает следующим образом. Сигналы объема ПЖ  $\Delta V_{ж}$ , поступающие от ИО, пересчитываются пересчетным устройством ПУ1 в ПГР в отношении 1:1 или 1:2, механическим пересчетным устройством МПУ в ПЗУ-1 в отношении 1:24 или 1:48 и пересчетным устройством ПУ2 в ПГР в отношении 1:2 или 1:4 в зависимости от шага  $\Delta r$ , устанавливаемого переключателем SA1. Пересчитанные сигналы объема ПЖ в виде сигналов  $\Delta V_{ж\Delta}$  подаются на электромагнит УАЗ шагового искателя SA3 в ППБ. При каждом сигнале  $\Delta V_{ж\Delta}$  ползунок SA3 переходит в следующее положение, вводя в схему потенциометра по одному калиброванному резистору  $R$ . Если при первом сигнале глубин  $Z$  шаговый искатель SA3 установлен в исходное положение и цепь сигналов  $\Delta V_{ж\Delta}$  разрывалась контактами SQ5<sup>1</sup> во время отрыва долота от забоя, при поступлении следующего сигнала  $Z$  число  $m_E$  резисторов  $R$ , введенных в схему потенциометра, и напряжение  $U_n$  на его выходе становятся в соответствии с (V.36) пропорциональными величине  $E$ .

Масштаб регистрации  $E$  устанавливается с помощью переменного резистора  $R_{мз}$  ППБ в положении «9 3/4» переключателя SA4 в ППБ (см. рис. 28, в положение «3»), когда в цепь питания потенциометра введены дополнительные резисторы  $R_{д1}$  и  $R_{д2}$ . Учет коэффициента  $1/d_n^2$  в выражении (V.36) производится с помощью переключателя SA4 изменением силы тока в цепи потенциометра в отношении  $d_{нф}^2/d_{ни}^2$ , где  $d_{нф}$  — фактический номинальный диаметр скважины в см;  $d_{ни}$  — исходный номинальный диаметр скважины, равный 24 см — 9 3/4". В положениях «5 3/4» и «7 3/4» («1» и «2» — на рис. 28, в) переключатель SA4 выводит из цепи питания соответствующие дополнительные резисторы  $R_{д1}$  и  $R_{д1} + R_{д2}$ , а в положениях «11 3/4» и «13 3/4» (рис. 28, в «4» и «5») — вводит в цепь питания потенциометра дополнительные резисторы  $R_{д3}$  и  $R_{д3} + R_{д4}$ . При поступлении сигнала глубин  $Z$  напряжение  $U_n$  фиксируется регистрирующим прибором АР11. После этого на устройство УС с АР11 поступает сигнал, по которому шаговый искатель SA3 возвращается в исходное положение, контакты SQ4 в ПГР снова замыкают цепь сигналов  $\Delta V_{ж\Delta}$  и начинается следующий цикл определения коэффициента разбавления  $E$  в описанной последовательности.

## § 27. АППАРАТУРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИВЕДЕННЫХ ГАЗОПОКАЗАНИЙ

В станции АГКС-4АЦ проводится определение одного из производных параметров суммарного газового анализа — приведенных газопоказаний  $\Gamma_{пр}$ . Для этого также используется потенциометрическая схема сумматора, который собран в пульте суммар-

ного газоанализатора ПГА на шаговом искателе *SAI* (рис. 28, з). Величина  $\Gamma_{\text{пр}}$  (в  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ) определяется по формуле

$$\Gamma_{\text{пр}} = 10^{-3} K_{\text{д}} \Gamma_{\text{сум}} E, \quad (\text{V.37})$$

где  $K_{\text{д}}$  — коэффициент дегазации в  $\text{см}^3/(\text{л} \cdot \%)$ ;  $\Gamma_{\text{сум}}$  — в  $\%$ .

Формула (V.37) приближенная, так как в ней не учтены фоновые суммарные газопоказания  $\Gamma_{\text{сум ф}}$  и относительные содержания УВ ( $C_{01}, \dots, C_{0n}$ ) в ГВС, поступающей на суммарный газовый анализ.

Для оперативного выделения перспективных на нефть и газ интервалов в разрезе скважины при детальном геофизическом исследовании и опробовании пласта величина  $\Gamma_{\text{пр}}$  должна вычисляться непосредственно в процессе бурения. Однако формулу (V.37) нельзя непосредственно использовать для расчета  $\Gamma_{\text{пр}}$ , так как одновременно измеряемые величины  $\Gamma_{\text{сум}}$  и  $E$  несопоставимы —  $E$  определяется в функции глубины скважины  $E = F(Z)$ , а  $\Gamma_{\text{сум}}$  измеряется в функции исправленной глубины  $\Gamma_{\text{сум}} = f(Z_{\text{и}})$ . Поскольку величину  $\Gamma_{\text{пр}}$  регистрируют в функции исправленной глубины, формулу (V.37) необходимо переписать в виде

$$\Gamma_{\text{пр}} = 10^{-3} K_{\text{д}} \Gamma_{\text{сум}} E_{\text{и}}, \quad (\text{V.37a})$$

где  $E_{\text{и}}$  — величина коэффициента разбавления  $E$  в функции исправленной глубины.

Из § 26 следует, что для определения величины  $E_{\text{и}}$  с помощью сумматора с потенциметрической схемой необходимо преобразовать сигналы объема ПЖ в функции глубины  $\Delta V_{\text{ж}\Delta}$  в сигналы объема ПЖ в функции исправленной глубины  $\Delta V_{\text{ж}\Delta_{\text{и}}}$  и подсчитать их число  $m_{E_{\text{и}}}$  в процессе «чистого бурения» между смежными сигналами исправленных глубин  $Z_{\text{и}}$ :

$$\begin{aligned} E_{\text{и}} &= 0,77 \cdot 10^3 m_{E_{\text{и}}} \Delta V_{\text{ж}\Delta_{\text{и}}} / (d_{\text{и}}^2 \Delta r) = 0,77 \cdot 10^3 m_{E_{\text{и}}} \Delta V_{\text{ж}\Delta_{\text{и}}} / d_{\text{и}}^2 = \\ &= 0,77 \cdot 10^3 K_{\text{в}} m_{E_{\text{и}}} R / d_{\text{и}}^2 = 0,77 \cdot 10^3 K_7 U_{\text{и}} / d_{\text{и}}^2. \end{aligned} \quad (\text{V.38})$$

Если рассчитывать  $E_{\text{и}}$  по (V.38), а ток питания потенциметра сделать пропорциональным  $\Gamma_{\text{сум}}$ , величину  $\Gamma_{\text{пр}}$  можно определить по схеме, показанной на рис. 28, з, путем суммирования сигналов объема ПЖ  $\Delta V_{\text{ж}\Delta_{\text{и}}}$  за время «чистого бурения» между смежными сигналами исправленной глубины  $Z_{\text{и}}$  с шагом  $\Delta r$ . Подставив  $E_{\text{и}}$  по (V.38) в (V.37 a), получим

$$\Gamma_{\text{пр}} = 0,77 K_{\text{д}} \Gamma_{\text{сум}} K_{\text{в}} m_{E_{\text{и}}} R / d_{\text{и}}^2 = 0,77 K_{\text{д}} \Gamma_{\text{сум}} K_7 U_{\text{и}} / d_{\text{и}}^2. \quad (\text{V.39})$$

Для учета величины  $\Gamma_{\text{сум}}$  в описанных схемах в станции АГКС-4АЦ цепь питания потенциметра, собранного в ПГА на шаговом искателе *SAI*, подключена к измерительной диагонали моста суммарного газоанализатора СГА. Поэтому ток питания потенциметра  $I_{\text{п}}$  (в мА) пропорционален  $\Gamma_{\text{сум}}$  (в  $\%$ ):

$$\Gamma_{\text{сум}} = K_{\text{в}} I_{\text{п}}, \quad (\text{V.40})$$

где  $K_{\text{в}}$  — коэффициент пропорциональности в  $\text{мА}/\%$ .

Подставив (V.40) в (V.39), получим

$$\Gamma_{\text{пр}} = 0,77K_3K_6K_9I_0m_{\text{ЕВ}}R/d_{\text{и}}^2 = 0,77K_dK_7K_9U_{\text{и}}/d_{\text{и}}^2 = K_{10}U_{\text{и}}, \quad (\text{V.41})$$

где  $d_{\text{и}}$  — в см;  $K_{10}$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от  $d_{\text{и}}$ ,  $R$ ,  $\Gamma_{\text{сум}}$  и  $K_9$  — в  $\text{м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{мВ})$ .

Аппаратура для определения  $\Gamma_{\text{пр}}$  (рис. 28, а) работает следующим образом. Сигналы объема ПЖ  $\Delta V_{\text{ж}}$ , поступающие от ИЮ, так же как и на рис. 28, а, пересчитываются в ПУ1 ПГР, МПУ ПЗУ-1 и ПУ2 в ПГР и в виде сигналов объема ПЖ  $\Delta V_{\text{ж}\Delta}$  поступают в ПЗУ-2, где преобразуются в сигналы объема ПЖ в функции исправленной глубины  $\Delta V_{\text{ж}\Delta\text{и}}$ . Сигналы  $\Delta V_{\text{ж}\Delta\text{и}}$  поступают в ПГА на электромагнит УЛ1 шагового искателя СА1. Потенциометр, собранный на шаговом искателе СА1, подключен к измерительной диагонали моста СГА. При каждом сигнале  $\Delta V_{\text{ж}\Delta\text{и}}$  ползунок СА1 переходит в следующее положение, вводя в схему потенциометра по одному калиброванному резистору  $R$ . Если первоначально СА1 устройством сброса УС был установлен в исходное положение, а затем по сигналу  $Z_{\text{и}}$  контактами SQ1 в ПГА цепь сигналов  $\Delta V_{\text{ж}\Delta\text{и}}$  была замкнута и размыкалась только контактами SQ5 при отрыве долота от забоя, то при поступлении следующего сигнала  $Z_{\text{и}}$  число  $m_{\text{ЕВ}}$  резисторов, введенных в схему потенциометра, будет пропорционально величине  $E_{\text{и}}$ , а напряжение  $U_{\text{и}}$  на выходе потенциометра — текущей величине  $\Gamma_{\text{пр}}$ . Это напряжение  $U_{\text{и}}$  фиксируется регистрирующим прибором параметров I группы АР1, который подает сигнал на УС для сброса показаний потенциометра. Затем снова замыкаются контакты SQ1 в ПГА и цикл определения  $\Gamma_{\text{пр}}$  повторяется в описанной последовательности.

Устройство для определения  $\Gamma_{\text{пр}}$  в станции АГКС-4АЦ имеет ряд ограничений. Кроме отсутствия учета фоновых газопоказаний и чувствительности детектора к отдельным компонентам сама величина  $\Gamma_{\text{сум}}$ , измеряемая с помощью катарометра, характеризует суммарное содержание в ГВС не только информативных УВ, но и любых газов, теплопроводность которых отличается от теплопроводности воздуха (см. § 21), поэтому величина  $\Gamma_{\text{пр}}$  используется только в качестве индикационного параметра. Для устранения этих ограничений в системе АГКС-5/АГНС-2 вместо  $\Gamma_{\text{пр}}$  определяется  $\Gamma_{\text{х пр}}$  по результатам высокочувствительного компонентного анализа с учетом фона и относительного содержания каждого компонента (см. § 29).

## § 28. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГАЗОКАРОТАЖНАЯ СТАНЦИЯ АГКС-4АЦ

В настоящее время исследования скважин в процессе бурения, входящие в комплекс газового каротажа, проводятся с помощью специальных установок, называемых автоматическими газокаротажными станциями (АГКС). АГКС имеет комплект наземных датчиков, монтируемых на буровой (дегазатор, датчик глубин, датчик веса и измеритель объема РЖ, эвакуируемой из скважины),



Таблица 3

Технические характеристики станции АГКС-4АЦ и системы АГКС-5/АГИС-2

| Показатель                                       | Станция АГКС-4АЦ   | Система АГКС-5/АГИС-2  |
|--|--|--|
| Комплексе измерений                              | Комплексный газовый каротаж  | Комплексный газовый каротаж и каротаж по шламу   |
| Дегазатор  | С интегрирующим контуром   |  |
| Датчик глубин                                    | Бестросниковый, устанавливаемый на буровой лебедке   |  |
| Измеритель объема ПЖ, эвакуированной из скважины | Лопастной, устанавливаемый в желобе буровой  |  |
| Суммарный газоанализатор                         | С детектором по теплопроводности (каларометром)  | Нет  |
| Хроматограф                                      | ХГ-1Г для анализа на УВ  | «Геохром-275» для анализа на УВ; «Газохром-3101» для анализа на неуглеводородные газы  |
| Определяемые УВ                                  | Метан $C_1$ , этан $C_2$ , пропан $C_3$ , бутан $C_4$ , пентан $C_5$ и гексан $C_6$ с порогом чувствительности $1 \cdot 10^{-4}$ %   | В «режиме 1»: $C_1-C_6$ — с порогом чувствительности к УВ порядка $1 \cdot 10^{-6}$ %; в «режиме 2»: $C_1-C_6$ , этилен $C_{2н}$ , пропилен $C_{3н}$ , бутен $C_{4н}$ , изобутан $C_{4и}$ , изобутилен $C_{4ин}$ и изопентан $C_{5и}$ с порогом чувствительности $1 \cdot 10^{-5}$ %   |
| Определяемые неуглеводородные газы               | Отсутствуют  | Водород $H_2$ , кислород $O_2$ , окись углерода $CO$ , двуокись углерода $CO_2$  |
| Время цикла анализа $t_{ц}$ , мин                | 2  | При анализе УВ: в «режиме 1» — 0,75, в «режиме 2» — 4; при анализе неуглеводородных газов — около 20   |
| Определяемые параметры I группы                  | $G_{сум}$ ( $G_{сум.в}$ и $G_{сум.э}$ ) в диапазоне 0,01—100 %; $G_{пр}$ — в диапазоне 0,5—27,5 м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>   | $T_{1н}$ в диапазоне 0,02—200 мин/м; $G_{х.пр.}$ в диапазоне 0,01—100 м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ; $C_{нпм}$ — $C_{нптз}$ — в диапазоне 1—10 000 усл. ед.; $I$ кг — в диапазоне 1—4 усл. ед.   |
| Определяемые параметры II группы                 | $Q_{вых}$ — в диапазоне 10—60 л/с; $T_1$ — в диапазоне 1—40 мин/м; $E$ — в диапазоне 25—1000, 50—2000 или 100—4000 м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>  | $T_1$ — в диапазоне 0,02—200 мин/м; $Q_{вых}$ — в диапазоне 10—60 л/с; $Q_{вх}$ — в диапазоне 10—60 л/с; $Q_{п}$ — в диапазоне —60—+60 л/с   |
| Определяемые параметры III группы                | $A_n$ ( $A_1-A_6$ ) — в диапазоне 20—275 мм с индивидуальными коэффициентами закругления масштаба записи $K_{мл}$ ( $K_{м1}-K_{м6}$ ) = 1 : 1; 1 : 10; 1 : 100 или 1 : 1000 (устанавливаются оператором); $a$ — в диапазоне 0—8 усл. ед. | $Z_n$ — в диапазоне 0—9999,9 м; $F_n$ ( $F_1-F_6$ или $F_1-F_{12}$ ) в диапазоне 100—10 000 мкВ·с; $G_{х.сум}$ — в диапазоне $10^{-4}$ —1 %; $С_{о1}$ ( $С_{о1}-С_{о6}$ или $С_{о1}-С_{о12}$ ) в диапазоне 0,01—100 %; $T_{1н}$ — в диапазоне 0,02—200 мин/м; $Q_{вых.н}$ — в диапазоне 10—60 л/с; $m_{Эн}$ — в диапазоне 1—1000 усл. ед.; $a$ — в диапазоне 0—16 усл. ед.; эпизодически определяется содержание в ГВС $H_2$ , $O_2$ , $CO$ и $CO_2$ |

| Показатель                        | Станция АГКС-4АЦ  | Система АГКС-5/АГИС-2   |
|-----------------------------------|---|---|
| Регистрация параметров I группы   | В аналоговой форме на линейной шкале 0—275 мм в масштабе объема ПЖ $N_V$ с заданным шагом $\Delta V_{жр}$ (при газовом каротаже после бурения) или в масштабе исправленных глубин $N = 1 : 500$ или $1 : 200$ с заданным шагом $\Delta r$ (при газовом каротаже в процессе бурения)   | В аналоговой форме на кусочно-аппроксимированной шкале с динамическим диапазоном 10 000 в масштабе объема ПЖ $N_V$ с переменным шагом $\Delta V_{жх}$ (при газовом каротаже после бурения) или в масштабе исправленных глубин $N = 1 : 500$ или $1 : 200$ с переменным шагом $\Delta r_x$ (при газовом каротаже в процессе бурения)   |
| Регистрация параметров II группы  | В аналоговой форме на линейных шкалах 0—80 мм в масштабе глубин $N = 1 : 500$ или $1 : 200$ с заданным шагом $\Delta r$ и в цифровой форме на перфоленте в двоично-восьмеричном коде в функции глубин $F(Z)$ с шагом $\Delta r$   | В аналоговой форме на кусочно-аппроксимированной шкале с диапазоном 10 000 величин $T_1$ , $Q_{вых}$ и $Q_{пх}$ в масштабе глубин $N = 1 : 500$ или $1 : 200$ с заданным шагом $\Delta r$ с выдчей величины $Q_p$ на электронное табло  |
| Регистрация параметров III группы | В аналоговой форме величин $A_l (A_1 - A_6)$ с индивидуальными коэффициентами $K_{мл}$ ( $K_{м1} - K_{м6}$ ) в масштабе объема ПЖ $N_V$ с переменным шагом $\Delta V_{жх}$ (при газовом каротаже после бурения) или в масштабе исправленных глубин $N = 1 : 500$ или $1 : 200$ с переменным шагом $\Delta r_x$ (при газовом каротаже в процессе бурения) и в цифровой форме величин $A_l (A_1 - A_6)$ , $K_{мл}$ ( $K_{м1} - K_{м6}$ ) и $a$ в двоично-восьмеричном коде на перфоленте в функции объема ПЖ $F(V_{эж})$ с шагом $\Delta V_{жх}$ (при газовом каротаже после бурения) или в функции исправленных глубин $F(Z_{и})$ с переменным шагом $\Delta_{жх}$ (при газовом каротаже в процессе бурения) | В виде цифрпечати величин $Z_{и}$ , $\Gamma_{х.сум}$ и $C_{ол}$ ( $C_{о1} - C_{о6}$ или $C_{о1} - C_{о12}$ ) в функции объема ПЖ $F(V_{эж})$ с переменным шагом $\Delta V_{жх}$ (при газовом каротаже после бурения) или в функции исправленных глубин $F(Z_{и})$ с переменным шагом $\Delta r_x$ (при газовом каротаже в процессе бурения), в виде хроматограммы в функции времени — величин $H_2$ , $O_2$ , $CO$ и $CO_2$ на линейной шкале 0—250 мм и в цифровой форме величин $F_l$ ( $F_1 - F_6$ или $F_1 - F_{12}$ ), $T_{1и}$ , $Q_{вых.и}$ , $m_{Eи}$ и $a$ — на перфоленте в двоично-шестнадцатиричном коде с кодированными метками газового каротажа после бурения и газового каротажа в процессе бурения в функции времени $F(t)$ с заданным шагом квантования по времени, равным $t_{ц}$ ХГ (0,75 или 4 мин), |

| Показатель                                  | Станция АГКС-1АЦ                    | Система АГКС-5/АГИС-2   |
|---|-------------------------------------|---|
| Величины, выводимые на табло<br>Отбор шлама | $Z, Z_n, Z_n$ и $V_{эж}$<br>Вручную | $Z, Z_n, Z_n, V_{эж}$ и $Q_n$<br>По габаритным фракциям автоматически с маркировкой через заданные интервалы исправленных глубин с помощью шламоотборника |

плект аппаратуры Ф005 (см. § 11). Устройство и работа узлов и блоков 4, 5, 7, 8 и 11—14 — рассмотрены выше.

В ПГА 6 кроме схемы суммарного газоанализатора с катарометром (см. рис. 20) смонтировано устройство для определения величины  $\Gamma_{пр}$  (см. рис. 28, а) и релейная схема управления комплексным газовым каротажем. Эта схема обеспечивает подачу сигналов объема ПЖ  $\Delta V_{жр}$  на АР1 13 и ПУП 11 для регистрации параметров I и III группы в масштабе  $N_1$  объема ПЖ при проведении газового каротажа после бурения и при поступлении первого сигнала исправленной глубины  $Z_n$  с ПЗУ-1 8 переключает схему на подачу сигнала  $Z_n$  вместо сигнала  $\Delta V_{жр}$  в указанные блоки для регистрации параметров I и III групп в масштабе исправленной глубины  $N$  при проведении газового каротажа в процессе бурения.

ПЗУ-1 8 (см. рис. 27) кроме преобразования сигналов  $Z$  в сигналы  $Z_n$  производит пересчет сигналов объема ПЖ  $\Delta V_{ж}$  или  $\Delta V_{ж1}$  в сигналы  $\Delta V_{жл} = 12,5$  или 25 л, в сигналы  $\Delta V_{жр} = 300$  или 600 л, в сигналы  $\Delta V_{ж2} = 300, 600$  или 1200 л и в сигналы  $\Delta V_c = 100$  или 200 л.

В ПГР 9 входят глубиномер со счетчиками «Z» («глубина») и  $Z_n$  («над забоем») и схемой выдачи сигналов  $Z$  (см. § 24), реле времени КТ1 для выдачи сигналов  $\Delta t_\Delta = 30$  или 60 с (см. рис. 28, а), реле времени КТ2 для выдачи сигналов времени  $t_Q = 12,5$  с (см. рис. 28, б), а также релейные пересчетные устройства ПУ1 для пересчета сигналов  $\Delta V_{ж}$  от ИО 4 в сигналы  $\Delta V_{жл} = 12,5$  или 25 л и  $\Delta V_{жQ} = 25$  л и ПУ2 для пересчета сигналов  $\Delta V_{ж2}$  от ПЗУ-1 8 в сигналы  $\Delta V_{жд} = 600, 1200, 2400$  или 4800 л (см. рис. 28, в).

В ППБ 10 смонтированы схемы для определения величин  $T_{11}$ ,  $Q_{вых}$  и  $E$  (см. рис. 28), а также счетчики исправленной глубины  $Z_n$  и объема ПЖ  $V_{эж}$ , эвакуированной из скважины, на который поступают сигналы  $\Delta V_c$ .

Работа АГКС при проведении комплексного газового каротажа проводится в трех режимах, автоматически сменяющих друг друга: газового каротажа после бурения, газового каротажа в процессе бурения и завершения исследований.

Работа АГКС в режиме газового каротажа после бурения начинается по окончании очередных СПО и при возобновлении циркуляции ПЖ и продолжается до поступления первого сигнала  $Z$

с ПЗУ-1 8 на ПГА 6. В этом режиме ИО 4 после возобновления циркуляции ПЖ выдает сигналы объема ПЖ  $\Delta V_{ж}$ . ГВС из дегазатора 1 поступает в ПГА 6, где непрерывно измеряется  $\Gamma_{\text{сум}}$ , и далее в ХГ 5, где проводятся последовательные циклы компонентного анализа и через интервалы времени  $t_{ц}$  выдаются сигналы, пропорциональные содержанию  $C_1—C_6$  в ГВС. Сигналы  $\Delta V_{ж}$  от ИО 4 пересчитываются в ПГР 9 в сигналы  $\Delta V_{жл}$  и начинается протяжка магнитных лент в ПЗУ-1 8 и ПЗУ-2 7, а также пересчет в ПЗУ-1 сигналов  $\Delta V_{жл}$  в сигналы  $\Delta V_{жр}$ .

При каждом поступлении сигнала  $\Delta V_{жр}$  через ПГА 6 на АР1 13 начинается фиксация параметров I группы и на неподвижную ленту АР1 13 последовательно наносятся величины  $\Gamma_{\text{сум.з}}$  в виде точки с номером «1»,  $\Gamma_{\text{сум.о}}$  — в виде точки с номером «2» и  $\Gamma_{пр}$  — в виде точки с номером «3» (при газовом каротаже после бурения отсутствуют сигналы  $Z_{и}$  и  $\Delta V_{ж\Delta и}$  и поэтому  $\Gamma_{пр} = 0$ ). В процессе этой регистрации командный аппарат АР1 подает на ПГА 6 команды: после регистрации  $\Gamma_{\text{сум.о}}$  — на включение схемы определения величины  $\Gamma_{пр}$ , а после регистрации  $\Gamma_{пр}$  — на сброс показаний шагового искателя в ПГА и включение схемы измерений  $\Gamma_{\text{сум.з}}$ . После этого лента АР1 протягивается на длину  $l_{пр}$  по (V.19). При поступлении следующего сигнала  $\Delta V_{жр}$  цикл регистрации параметров I группы повторяется в описанной последовательности. В результате каждая огибающая одноименных точек на диаграмме представляет собой кривую соответствующего параметра I группы, зарегистрированную в фиксированном масштабе объема ПЖ  $N_V$  с заданным шагом  $\Delta V_{жр}$ .

При каждом последовательном поступлении на ПУИИ 11 сигналов  $\Delta V_{жр}$  с ПГА 6 и  $t_{ц}$  с ХГ 5 начинается фиксация параметров III группы. При этом на неподвижную ленту АР11 12 по командам с ПУИП 11 последовательно наносятся амплитуды  $A_n$  ( $A_1—A_6$ ) с заданными оператором коэффициентами закругления масштаба записи  $K_{мл}$  ( $K_{м1}—K_{м6}$ ): величина  $A_1$  наносится в виде точки с номером «1»,  $A_2$  — в виде точки с номером «2» и т. д. до  $A_6$  — в виде точки с номером «6». Затем по команде с ПУИИ 11 лента протягивается на  $a$  шагов  $l_{пр}$  по (V.19). При последовательном поступлении следующей пары сигналов  $\Delta V_{жр}$  и  $t_{ц}$  цикл аналоговой регистрации параметров III группы возобновляется в описанной последовательности. В результате каждая огибающая одноименных точек на диаграмме представляет собой кривую  $A_n$ , зарегистрированную в фиксированном масштабе  $N_V$  с переменным, автоматически изменяющимся в зависимости от  $Q_{\text{вых}}$  шагом квантования по объему ПЖ  $\Delta V_{жх}$  по (V.17). Одновременно производится регистрация параметров III группы в цифровой форме в функции объема ПЖ, эвакуированной из скважины, с переменным шагом квантования по объему  $\Delta V_{жх}$ . С помощью аппаратуры Ф005 (см. § 11) и ПУИИ 11 параметры III группы преобразуются в двоично-восьмиричный код и на перфоленту ЦР11 19 последовательно наносятся величины  $A_1$  и  $K_{м1}$ ,  $A_2$  и  $K_{м2}$  и т. д. до  $A_6$  и  $K_{м6}$  и число  $a$  по (V.18).

После возобновления циркуляции ПЖ начинается процесс бурения и глубиномер ППР 9 начинает выдавать сигналы глубины  $Z$  с шагом  $\Delta_1$ . По сигналу  $Z$  заканчивается определение параметров II группы в ППБ 10:  $Q_{\text{max}}$  — по (V.32),  $T_1$  — по (V.30),  $E$  — по (V.36) — и начинается последовательная фиксация на неподвижной ленте АРН величин:  $Q_{\text{max}}$  — точкой с номером «1»,  $T_1$  — точкой с номером «2» и  $E$  — точкой с номером «3». После этого лента АРН  $M$  протягивается на шаг  $l_{\text{пр}}$  по (V.19). При поступлении на АРН следующего сигнала  $Z$  цикл аналоговой регистрации параметров II группы повторяется в описанной последовательности. В результате каждая обгибающая одноименных точек представляет собой соответствующую кривую параметра II группы, зарегистрированную в масштабе глубин  $N = 1 : 500$  или  $1 : 200$  с заданным шагом  $\Delta_1 = 0,5$  или  $1$  м. Одновременно производится регистрация параметров II группы в цифровой форме в функции глубины с заданным шагом  $\Delta_1$ . С помощью аппаратуры Ф005 параметры II группы преобразуются в двоично-посьмириничный код и на перфоленту ЦРН 20 последовательно наносятся величины  $Q_{\text{max}}$ ,  $T_1$  и  $E$ .

При поступлении на ПГА 6 первого сигнала  $Z_n$  (после начала интервала долбления) ПГА вместо сигналов  $\Delta V_{\text{жр}}$  начинает выдавать сигналы  $Z_n$  и переводит станцию из режима газового каротажа после бурения в режим газового каротажа в процессе бурения с выдачей соответствующего сигнала на отметчики АР1 13 и АРН1 12 (отметчики на рис. 29 не показаны) для разделения на лентах этих регистраторов диаграмм, зарегистрированных соответственно в режимах газового каротажа после бурения в масштабе объема ПЖ  $N_V$  и газового каротажа в процессе бурения в масштабе исправленной глубины.

При поступлении с ПГА 6 на АР1 13 сигнала  $Z_n$  производится измерение и регистрация величин  $\Gamma_{\text{сум } \gamma}$  и  $\Gamma_{\text{сум } \sigma}$  в описанном порядке. Затем схема  $\Gamma_{\text{пр}}$  в ПГА 6 (см. рис. 28, 2) определяет величину  $E_n$  по (V.38) и  $\Gamma_{\text{пр}}$  по (V.41). Последняя фиксируется после величины  $\Gamma_{\text{сум } \gamma}$  и  $\Gamma_{\text{сум } \sigma}$  на ленте АР1 в виде точки с номером «3». В результате обгибающие одноименных точек представляют собой соответствующие кривые параметров I группы  $\Gamma_{\text{сум } \gamma}$ ,  $\Gamma_{\text{сум } \sigma}$  и  $\Gamma_{\text{пр}}$ , зарегистрированные в масштабе исправленной глубины  $N$  с заданным шагом  $\Delta_1$ .

Аналоговая диаграмма параметров II группы и величины параметров II группы в двоично-посьмириничном коде фиксируются, АРН 14 и ЦРН 20 в масштабе или функции глубины с заданным шагом  $\Delta_1$  полностью аналогично регистрации в режиме газового каротажа после бурения.

При последовательном поступлении сигналов  $Z_n$  с ПГА 6 и  $l_n$  с ХГ 5 на ПУН1 11 начинается регистрация параметров III группы в аналоговой форме в масштабе или в цифровой форме в функции исправленной глубины с переменным, автоматически изменяющимся в зависимости от скорости бурения  $v_b$  шагом квантования по глубине  $\Delta_{1k}$  по (V.17). В результате обгибающие одноименных точек на ленте АРН1 12 будут представлять собой кривые парамет-

ров III группы  $A_n$  ( $A_1$ — $A_6$ ), зарегистрированные в масштабе исправленной глубины  $N$  с переменным шагом  $\Delta_{гх}$ . Цифровая регистрация параметров III группы в режиме газового каротажа в процессе бурения аналогична одноименной регистрации в режиме газового каротажа после бурения и отличается от нее только регистрацией в функции исправленной глубины с переменным шагом квантования по глубине  $\Delta_{гх}$  и наличием на перфоленке метки газового каротажа в процессе бурения.

После окончания бурения данного интервала долбления циркуляция ПЖ в скважине должна продолжаться до выхода забойной порции ПЖ на устье скважины. Этот режим называется режимом завершения исследований, отличающимся от режима газового каротажа в процессе бурения только отсутствием определения и регистрации параметров II группы. В этом режиме продолжается аналоговая регистрация параметров I группы в масштабе исправленной глубины  $N$  с заданным шагом  $\Delta_r$ , аналоговая регистрация параметров III группы в масштабе исправленной глубины  $N$  с переменным шагом  $\Delta_{гх}$  и цифровая регистрация параметров III группы в функции исправленной глубины с тем же шагом  $\Delta_{гх}$ . Эта регистрация проводится до совпадения с точностью до шага  $\Delta_{гх}$  показаний счетчика  $Z$  «глубина» на ПГР 9 и счетчика  $Z_n$  на ППБ 10.

Диаграммы параметров I и III групп, зарегистрированные в масштабе исправленной глубины, используются для оперативного выделения перспективных на нефть и газ интервалов для детальных промыслово-геофизических исследований и опробования; диаграммы параметров I и III групп, зарегистрированные в масштабе объема ПЖ и исправленной глубины, и диаграмма параметров II группы — для прогнозной оценки характера насыщения пласта — при «ручной» комплексной оперативной интерпретации и перфоленки параметров II и III групп — для комплексной интерпретации совместно с данными ГИС на ЭВМ геофизического ВЦ.

#### § 29. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АГКС-5/АГИС-2

Первой отечественной АГИС является автоматическая газокаротажная станция (автоматизированная геохимическая информационная система) АГКС-5/АГИС-2 (рис. 30). Краткая техническая характеристика системы приведена в табл. 3.

Система АГКС-5/АГИС-2 укомплектована теми же датчиками на буровой, что и станция АГКС-4АЦ (дегазатором 1, ДГ 2, ДВ 3 и ИО 4), а также шламоотборником (ШО) 5 и аппаратурой, смонтированной в кузове системы (аппаратура электропитания и вспомогательная аппаратура на рис. 30 не показаны). Последняя включает хроматограф для анализа на углеводородные газы (ХГ-НУВ) «Газохром-3101» 6, хроматограф для анализа на УВ (ХГ-УВ) «Геохром-275» 7 с блоком интегратора (БИ) «ИО-2» 8, блок глубиномера (БГ) 9, блок управления и индикации (БУИ) 10, вычислительный комплекс ВК ПС-300 или ПС-315 «Геохимия», включающий интер-

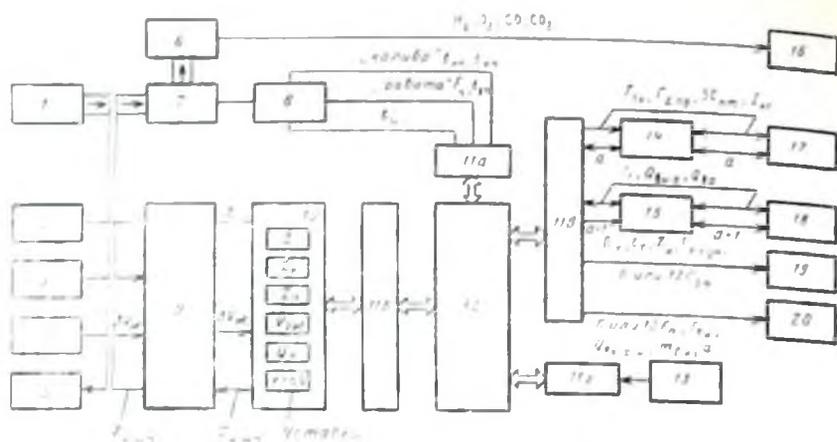


Рис. 30. Блок-схема автоматической газокаротажной станции (автоматизированной геохимической информационной системы) АГКС-5/АГИС-2

фейсные карты 11,а — 11,б, мини-ЭВМ. ПС-300 или ПС-315 12, устройство ввода информации с перфоленты (УВИ-П) 13 и цифropечатающее устройство (ЦПУ) 19, регистратор 16 хроматографа 6, аналоговые регистраторы параметров I (АРІ) 17 и II (АРІІ) 18 группы с соответствующими блоками преобразования и управления БЛУІ 14 и БЛУП 15 и цифровой регистратор на перфоленте (ЦР) 20 типа ПЛ-150.

Выше рассмотрены устройства большинства блоков и узлов АГИС, за исключением БГ 9 и БУИ 10. БГ 9 в основном выполнен по кинематической схеме глубиномера ПГР станции АГКС-4АЦ (см. § 24) и предназначен для сохранения информации о глубине при случайных обесточиваниях АГИС. В БУИ 10 смонтированы электронные табло «Z» («глубина»), «Z<sub>п</sub>» («над забоем»), «Z<sub>н</sub>» («испр. глубина»), «V<sub>зск</sub>» («объем скважины») и «Q<sub>н</sub>» («диф. расход»), а также клавиатура «клав» для ввода предварительных уставок и общения оператора с мини-ЭВМ.

АГИС работает в тех же режимах, что и АГКС, но алгоритм ее работы несколько отличен.

Перед началом работы через УВИ-П 13 в мини-ЭВМ 12 вводят программу работы и с помощью клавиатуры «клав» БУИ 10 вводят предварительные уставки. По команде БУИ 10 проводят калибровку ХГ-УВ 7, подавая в хроматограф калибровочную газовую смесь (КГС) со всеми информативными компонентами и по результатам нескольких анализов заносят в память мини-ЭВМ 12 шесть или двенадцать пар величин  $t_{ин}$  и  $t_{ка}$ . В начале измерений и затем периодически определяют фоновые значения  $F_n$  величины  $F_{лф}$  и заносят их в память мини-ЭВМ.

В режиме газового каротажа после бурения при последовательном поступлении в мини-ЭВМ 12 сигналов  $\Delta V_{жр}$  и  $t_c$  для каж-

дой пары величин  $F_n$  и  $t_{эп}$ , поступающих с БИ 8, проверяется выполнение условия

$$t_{ин} < t_{эп} < t_{кн}, \quad (V.42)$$

где  $t_{ин}$  и  $t_{кн}$  — времена начала и окончания  $n$ -го пика на хроматограмме, полученные в режиме «калибровка»;  $t_{эп}$  — время экстремальной точки  $p$ -го (в порядке следования в режиме «работа») пика. Если условие (V.42) выполняется, величина  $F_p$  запоминается в качестве величины  $F_n$ . Если условие (V.42) не выполняется, проверяется выполнение условия

$$t_{n(n+1)} < t_{эп} < t_{к(n+1)} \text{ и т. д.} \quad (V.43)$$

Если при выполнении условия (V.42)  $p \neq n$ , запоминаются величины  $F_p = F_{p+1} = \dots = F_{n-1} = 0$ .

Затем определяются следующие величины:

а) приращения площадей пиков (мкВ·с)

$$\Delta F_n = F_n - F_{n-1}; \quad (V.44)$$

б) средневзвешенные приращения  $\Delta F_{нсп}$  (в мкВ·с) за интервалы времени между смежными сигналами  $\Delta V_{жр}$ ;

в) относительные содержания УВ в ГВС в %

$$C_{оп} = 10^2 \left( K_{чл} \Delta F_{нсп} / \sum_{n=1}^{n=m} K_{чл} \Delta F_{нсп} \right), \quad (V.45)$$

где  $K_{чл}$  — коэффициент чувствительности к  $n$ -му компоненту ХГ-УВ в %/(мкВ·с)<sup>2</sup>;  $m$  — число анализируемых компонентов УВ (6 или 12);

г) суммарное содержание УВ в ПЖ в %

$$\Gamma_{х. сум} = \sum_{n=1}^{n=m} K_{ил} K_{чл} \Delta F_{нсп}, \quad (V.46)$$

где  $K_{ил}$  — покомпонентные коэффициенты извлечения УВ из ПЖ дегазатором в долях;

д) флюидные коэффициенты  $C_{нм1} - C_{нм3}$  (в усл. ед.);

$$C_{нм} = (C_{оп} + C_{ор} + C_{оq}) / (C_{ом} + C_{ос} + C_{от}), \quad (V.47)$$

где  $C_{оп}$ ,  $C_{ор}$ ,  $C_{оq}$ ,  $C_{ом}$ ,  $C_{ос}$  и  $C_{от}$  — величины  $C_{оп}$  — для  $n$ -го,  $p$ -го,  $q$ -го,  $m$ -го,  $s$ -го и  $t$ -го компонентов УВ;

е)  $T_1$  в усл. ед. (1 усл. ед. = 0,02 мин/м) по сигналу  $Z$

$$T_1 = 0,833 (t_{\Delta} - t_{од}) / \Delta_{г}, \quad (V.48)$$

где  $t_1$  — время бурения интервала скважины, равного  $\Delta_{г}$  в с;  $t_{од}$  — время отрыва долота от забоя в интервале времени  $t_{\Delta}$  в с;  $\Delta_{г}$  — шаг квантования по глубине, равный 0,4 или 0,8;

ж)  $Q_{вых}$  (в л/с) по сигналу  $Z$

$$Q_{вых} = 12,5 (n_1 / t_{\Delta}), \quad (V.49)$$

где  $n_1$  — число сигналов  $\Delta V_{ж} = 12,5$  л, поступивших за интервал времени  $t_{\Delta}$ ;

<sup>1</sup> Коэффициенты  $K_{чл}$  и  $K_{ил}$  и члены формулы (V.47), используемые при определении величин  $C_{нм1} - C_{нм3}$ , вводятся в мини-ЭВМ 12 в виде уставок.

3)  $m_E$ , пропорциональная коэффициенту разбавления  $E$ , по сигналу  $Z$

$$m_E = 12,5(n_1 - n_2)/\Delta T, \quad (V.50)$$

где  $n_2$  — число сигналов  $\Delta V_{ж}$ , поступивших за интервал времени  $t_{од}$ ;

и) текущая величина  $Q_{вых, \tau}$  (в л/с) по сигналу времени  $t_Q = 64$ ,

$$Q_{вых, \tau} = 12,5(n_3/t_Q), \quad (V.51)$$

где  $n_3$  — число сигналов  $\Delta V_{ж}$ , поступивших за интервал времени  $t_Q$ .

После этого сигналы  $Z$  и величины  $T_{ш}$ ,  $Q_{вых}$  и  $m_E$  преобразуются в сигналы исправленной глубины  $Z_{ш}$  и величины  $T_{ш}$ ,  $Q_{вых, ш}$  и  $m_{Eш}$  в функции исправленной глубины путем задержки этого сигнала и этих величин на время эвакуации из скважины объема ПЖ, равного  $V_c$  (вводится в мини-ЭВМ 12 в виде уставки).

Затем определяются по величинам  $\Gamma_{х, сум}$  и  $m_{Eш}$  приведенные газопоказания

$$\Gamma_{х, пр} = 1,66\Gamma_{х, сум}m_{Eш}/d_{ш}^2, \quad (V.52)$$

а по величинам  $C_{ол}$  и  $C_{ол, гр}$  (вводятся в мини-ЭВМ 12 в виде уставок) индекс компонентного состава газа в пласте  $I_{кг}$  (в усл. ед.).

Наконец, сигналы  $Z_{ш}$  пересчитываются в сигналы  $Z_{ш, шл}$  ( $Z_{ш, ш1} - Z_{ш, ш3}$ ) путем задержки на время эвакуации из скважины дополнительных объемов ПЖ, равных  $V_{скд, шл}$  ( $V_{скд, ш1} - V_{скд, ш3}$ ).

При каждом последовательном поступлении сигналов  $\Delta V_{жр}$  и  $t_{ш}$  АРІ 17 производится аналоговая регистрация параметров I группы ( $T_{ш}$ ,  $\Gamma_{х, пр}$ ,  $C_{плм1} - C_{плм3}$  и  $I_{кг}$ ) в заданном масштабе объема ПЖ  $N_V$  с переменным шагом квантования по объему ПЖ  $\Delta V_{жх}$ , а ЦПУ 19 — регистрация группы параметров [ $D_T$ ,  $t_t$  (текущие дата и время измерения)  $Z_{ш}$ ,  $\Gamma_{х, сум}$  и 6 или 12  $C_{ол}$ ] в виде шифролечаты в функции объема ПЖ с шагом  $\Delta V_{жх}^1$ .

При каждом сигнале  $Z$  АРІІ 18 производится аналоговая регистрация параметров II группы ( $T_{ш}$ ,  $Q_{вых}$  и  $Q_{вх}$ ) в масштабе глубин  $N = 1 : 500$  или  $1 : 200$  с шагом  $\Delta T = 0,4$  или  $0,8$  м.

Через интервалы времени  $t_Q = 64$  с определяется  $Q_{п}$  по формуле

$$Q_{п} = Q_{вых, \tau} - Q_{вх}, \quad (V.53)$$

где  $Q_{вых, \tau}$  — по (V.51) в л/с. Полученная  $Q_{п}$  выдается на БУИ 10 на табло « $Q_{п}$ ».

Через интервалы времени  $t_{ш}$  с помощью ЦР 20 в цифровой формуле фиксируются 6 или 12 величины  $F_{ш}$ , величины  $T_{ш}$ ,  $Q_{вых, ш}$ ,  $m_{Eш}$ , а и метка режима газового каротажа после бурения<sup>2</sup>.

При поступлении с мини-ЭВМ 12 первого сигнала  $Z_{ш}$  начинается

<sup>1</sup> В этом режиме вместо величины  $Z_{ш}$  фиксируется начальная глубина скважины  $Z_{ш}$ , вводимая в виде уставки, а величины  $T_{ш}$ ,  $\Gamma_{х, пр}$ ,  $Q_{вых, ш}$  и  $m_{Eш}$  равны нулю.

<sup>2</sup> В этом режиме величины  $T_{ш}$ ,  $Q_{вых, ш}$  и  $m_{Eш}$  равны нулю.

режим газового каротажа в процессе бурения. При этом АРІ 17 начинает регистрацию параметров I группы ( $T_{1н}$ ,  $\Gamma_{х. пр.}$ ,  $C_{плт1} - C_{плт2}$  и  $I_{кг}$ ) в масштабе исправленных глубин  $N = 1 : 500$  или  $1 : 200$  с переменным шагом квантования по глубине  $\Delta_{гх}$ , а ЦПУ 19 — регистрацию группы параметров ( $D_T$ ,  $t_T$ ,  $Z_{н}$ ,  $\Gamma_{х. сум}$  и  $C_{о1} - C_{о12}$ ) в функции исправленной глубины с переменным шагом  $\Delta_{гх}$ .

Так же как и в предыдущем режиме, продолжается определение и регистрация АРІІ 18 параметров II группы ( $T_1$ ,  $Q_{вых}$  и  $Q_{вх}$ ) и определение и вывод на табло величины  $Q_{п}$ .

При каждом сигнале  $t_{ц}$  продолжается регистрация ЦР 20 величин  $F_1 - F_6$  или  $F_1 - F_{12}$ ,  $T_{1н}$ ,  $Q_{вых, п}$ ,  $m_{Fн}$  и  $a$ , а также метки режима газового каротажа в процессе бурения в функции времени с шагом  $t_{ц}$ . В этом режиме начинается отбор шлама ШО 5 и маркировка шлама по исправленным глубинам по командам  $Z_{н, шл}$  ( $Z_{н, шл} - Z_{н, шл}$ ), поступающим с мини-ЭВМ 12. На перспективных интервалах, выделенных по диаграмме АРІ 17 и цифropечати ЦПУ 19, подается проба ГВС в ХГ-НУВ 6 с записью получаемой хроматограммы на регистраторе 16.

В режиме завершения исследований проводятся все описанные операции, за исключением определения и регистрации параметров II группы.

Диаграмма параметров I группы, зарегистрированная в масштабе исправленных глубин, используется для прогнозирования подхода к нефтегазоносному пласту до его вскрытия скважиной, а также для выделения перспективных на нефть и газ интервалов для детальных геофизических исследований и опробования; диаграмма параметров II группы и табло « $Q_{п}$ » на БУИ 10 — для оперативного выделения интервалов поглощения и притока; диаграмма параметров I группы и цифropечать, зарегистрированные в функции объема ПЖ и исправленных глубин, — для прогнозирования оценки характера насыщения пласта, перфолента — для комплексной оперативной интерпретации совместно с данными ГИС на ЭВМ геофизического ВЦ.

### § 30. КОМПЛЕКСНЫЕ СИСТЕМЫ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ИССЛЕДОВАНИЙ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ

Комплексные системы геолого-технологического контроля и геохимико-геофизических исследований типа «Прогноз» в максимальном составе рассчитаны на решение следующих геологических и технологических задач:

а) изучение литологического разреза скважины и определение индекса литологии  $I_6$  с оперативным автоматическим построением литологического разреза скважины в процессе бурения;

б) прогнозирование подхода к нефтегазоносному пласту (НГП) до его вскрытия скважиной с выдачей сигнала (индекса) прогнозирования пласта  $I_{нц}$ ;

в) оперативное выделение коллекторов в разрезе скважины с выдачей сигнала  $I_{код}$ ;

г) оперативное выделение интервала поглощения фильтра ПЖ в пласт или притока ПФ в скважину с выдачей сигнала поглощения или притока  $I_{пп}$  и величины его интенсивности  $Q_{п}$ ;

д) оперативное прогнозирование зон АВПД или АНПД в процессе бурения с выдачей сигнала  $I_{авпд}$  ( $I_{анпд}$ );

е) оперативное выделение перспективных на нефть и газ интервалов в разрезе скважины с выдачей сигнала  $I_{впи}$ ;

ж) оперативная прогнозная оценка характера насыщения пластов, вскрытых скважиной, с выдачей индекса характера насыщения по геохимическим данным  $I_{нг}$ ;

з) проведение каротажа в процессе бурения и геологического контроля в осложненных и наклонно-направленных скважинах, где исследование скважин приборами на кабеле затруднено или вообще невозможно;

и) оперативная выдача технологической информации, необходимой для оптимизации процесса бурения (выдача сигнала отработки долота на забое скважины  $I_{од}$ , информации о зенитном угле  $\delta$  и азимуте  $\varphi$  наклона скважины и угле установки отклонителя бурильного инструмента  $\delta_{он}$  и т. д.);

к) накопление информации, необходимой для решения с помощью ЭВМ стационарных геофизических и буровых ВЦ ряда неоперативных задач (оперативной и сводной интерпретации промыслово-геофизической информации в рамках системы АСОИГИС, построения усредненного литолого-стратиграфического разреза скважин, расчета технико-экономических показателей бурения и т. п.).

Блок-схема комплекса «Прогноз» максимального состава включает следующие подсистемы и модули (рис. 31):

— подсистему забойных геофизических и технологических параметров, в которую входят скважинный прибор «Забой», измеряющий в процессе бурения кажущееся удельное электрическое сопротивление  $\rho_{кб}$ , интенсивность естественного  $\gamma$ -излучения  $I_{гкб}$  (с определением по ним индекса литологии  $I_c$ ), нагрузку на долото  $P_d$ , частоту вращения долота  $n_d$ , а также  $\delta$ ,  $\varphi$  и  $\delta_{он}$  с передачей части этой информации, в наземную аппаратуру по беспроводному электрическому каналу связи и консервацией всей этой информации в функции времени  $F(t)$  в автономной части СП<sup>1</sup>, преобразователь законсервированной информации, обеспечивающий во время бурения скважины регистрацию ее углубления в функции времени  $Z = F(t)$  и преобразующий после подъема инструмента с СП на поверхность законсервированную информацию из функции  $F(t)$  в функцию глубин  $F(Z)$ , модуль преобразования и индикации забойной информации МПИЗИ;

<sup>1</sup> Беспроводный электрический канал связи обладает ограниченной пропускной способностью, зависящей от скорости бурения скважины, а также ограниченной дальностью передачи информации. Поэтому консервация информации в автономной части СП позволяет исключить потерю информации и производить ее обработку во время СПО.



— геохимическую подсистему, в которую входят модуль геохимических датчиков МГД, включающий комплект дегазатора КД, датчик измерителя объема ПЖ на «выходе» скважины ДНО, датчик глубин ДГ и шламоотборник ШО, модуль преобразования и индикации геохимической информации МПИГИ, модуль хроматографа МХ для экспресс-анализа ГВС, полученной из КД, на содержание 12 УВ  $C_n$ , ряда неуглеводородных газов (гелия He, кислорода  $O_2$ , азота  $N_2$  и двуокиси углерода  $CO_2$ ) и модуль газоснабжения хроматографа МГСХ;

— технологическую подсистему, в которую входят модуль наземных технологических датчиков МНТД, включающий датчики подачи ДП, веса ДВ, нагрузки на талевом блоке  $ДР_{тб}$ , момента на роторе  $ДМ_r$ , давления на стояке  $Др_c$ , чисел ходов буровых насосов  $Дn_{н1}$  и  $Дn_{н2}$ , частоты вращения ротора  $Дn_r$ , расхода ПЖ на «входе» скважины  $ДQ_{вх}$ , уровня ПЖ в мерниках  $ДН_{м1}$ ,  $ДН_{м2}$  и  $ДН_{мд}$ , температуры ПЖ на «входе»  $ДТ_{ж.вх}$  и «выходе»  $ДТ_{ж.вых}$  скважины, плотности ПЖ на «входе»  $Д\delta_{ж.вх}$  и «выходе»  $Д\delta_{ж.вых}$  скважины, удельного электрического сопротивления на «выходе» скважины  $Д\rho_{ж.вых}$ , и модуль преобразования и индикации технологической информации МПИТИ;

— петрофизическую подсистему, в которую входит модуль аппаратуры исследования шлама МАИШ, включающий лабораторию глинистых растворов ЛГР, дегазатор шлама ДегШ, сушильный шкаф для шлама СШ, плотномер шлама  $\delta_{ш}$ , карбонатомер  $C_k$  для определения содержания кальцита, доломита и магнезита по шламу, бишокулярный микроскоп БМ для исследования шлама, визуальный люминескоп ЛЮМ для индикации содержания битумов, мелкое лабораторное оборудование МЛО, и модуль аппаратуры дополнительных исследований шлама и керна СКО МАДИШК, включающий аппаратуру ядерно-магнитного резонанса ЯМР для определения пористости и плотности по шламу, вытяжной шкаф ВШ, станок для обработки керна ОК, аппаратуру люминесцентно-битуминологического анализа ЛБА и лабораторный резистивиметр ЛР;

— измерительно-вычислительный комплекс ИВК, включающий мини-ЭВМ типа «Электроника» с интерфейсами для связи с модулями МХ, МПИГИ, МПИТИ и МПИЗИ и периферийными устройствами (устройством ввода программы УВП в виде магнитного кассетного накопителя, алфавитно-цифровым печатающим устройством АЦПУ, цифровым регистратором ЦР в виде магнитного рулонного накопителя, алфавитно-цифровым дисплеем Дп, блоками преобразования БПУ I и БПУ II аналоговых регистраторов параметров I и II групп АР I и АР II и выносным табло бурильщика ВТ), указанные периферийные устройства и аналоговый регистратор АР для записи результатов компонентного анализа на УВ (12  $C_n$ ) и неуглеводородные газы (He,  $O_2$ ,  $N_2$  и  $CO_2$ ) в виде хроматограммы;

— модули питания МП для питания всех модулей и блоков подсистем необходимым напряжением переменного и постоянного тока.

Из указанных модулей кроме комплекса «Прогноз» может быть

собирает ряд станций ряда «Прогноз» для различных геолого-технических условий, рассчитанных на решение ограниченного круга задач;

— станция «Прогноз-ГТТ» — для геолого-технологического контроля и газового каротажа при бурении глубоких разведочных скважин, включающая в себя геохимическую, технологическую и частично петрофизическую (без модуля МАДИШК) подсистемы, ИВК и МП;

— станция «Прогноз-ГТ» — для газового каротажа и технологического контроля при бурении глубоких разведочных скважин, включающая геохимическую и технологическую подсистемы, ИВК и МП;

— станция «Прогноз-Г» — для проведения газового каротажа в глубоких разведочных скважинах, включающая геохимическую подсистему, ИВК и МП;

— станция «Прогноз-Т» — для технологического контроля при бурении глубоких эксплуатационных скважин, включающая технологическую подсистему, ИВК ограниченного состава и МП;

— станция «Прогноз-ЗП» — для геофизических исследований и геологического контроля осложненных и наклонно-направленных разведочных скважин, включающая подсистемы забойных параметров и петрофизическую, модуль МГД геохимической подсистемы (без КД), ИВК ограниченного состава и МП.

Как видно из рис. 31, комплекс «Прогноз» представляет собой совокупность станций «Прогноз-ГТТ» и «Прогноз-ЗП». Обработка всей информации обеспечивается ИВК станции «Прогноз-ГТТ», в которую автоматически подается информация из модулей МХ, МПИГИ, МПИТИ и МПИЗИ, а результаты исследования шлама и керна, отобранного скважинным керноотборником, вводятся оператором через клавиатуру дисплея Дп станции «Прогноз-ЗП» (ИВК станции «Прогноз-ЗП» используется только в случае самостоятельного проведения исследований станцией).

На выносное табло бурильщика ВТ при работе комплекса «Прогноз» выдаются глубина  $Z$ , высота подъема инструмента над забоем  $Z_n$ , исправленная глубина для геохимических параметров  $Z_{и}$  и индексы (сигналы) выделения интервалов поглощения и притока  $I_{пп}$  (с величиной  $Q_{п}$ ), отработки долота на забое скважины  $I_{од}$ , вскрытия зоны АВПД  $I_{авпд}$ , вскрытия коллектора  $I_{кол}$ , прогнозирования НГП  $I_{нгп}$ , вскрытия перспективного на нефть и газ интервала  $I_{впн}$ , а также величины  $\delta$ ,  $\varphi$  и  $\delta_{он}$ .

АЦПУ строит в функции исправленной глубины  $F(Z_{и})$  литологическую колонку и фиксирует для каждого цикла регистрации текущие дату  $D_t$  и время  $t_t$ , величину  $Z_{и}$  и индекс характера насыщения пласта  $I_{нт}$ .

Цифровой регистратор ЦР фиксирует в функции времени  $F(t)$  с шагом квантования  $t_k$  величины  $D_t$ ,  $t_t$ ,  $Z_{и}$  и весь комплекс первичных параметров, измеряемых отдельными подсистемами.

Дисплей Дп при появлении сигналов индексов  $I_{кол}$ ,  $I_{нгп}$ ,  $I_{авпд}$ ,  $I_{впн}$ ,  $I_{шт}$  или  $I_{од}$  фиксирует их и выдает на экран допол-

нительную информацию, необходимую оператору для оперативных заключений.

Аналоговый регистратор АР I фиксирует в функции исправленной глубины  $F(Z_{и})$  величины  $T_{и}$ , остаточного кажущегося газосодержания  $F_{г}$  или нефтегазосодержания  $F_{нг}$  пласта, удельного электрического сопротивления ПЖ на «выходе»  $\rho_{ж. вых.}$ , дифференциальных значений температуры  $T_{ж. д}$  и плотности  $\delta_{ж. д}$  в скважине и индексе  $I_{нг}$ .

Аналоговый регистратор АР II фиксирует в функции глубины  $F(Z)$  следующие величины: показатель экспоненты  $b$ ,  $Q_{п}$ , интервал, пробуренный долотом  $H_{д}$ , условную рейсовую скорость  $v_{ру}$ , параметр  $C$  (имеет размерность  $m^2/c$  и показывает, с какой поверхностью на забое скважины контактирует долото в единицу времени) и давление на стояке  $p_c$ .

Регистрация этих параметров позволяет более надежно контролировать режим бурения скважины.

ИВК преобразует сигналы  $Z_{и}$  в сигналы исправленных глубин для габаритных фракций шлама  $Z_{и ш1} - Z_{и ш2}$  и выдает их через МПИГИ на ШО для маркировки отобранного шлама через заданные интервалы исправленных глубин.

Для проведения геолого-технологического контроля Министерством нефтяной промышленности выпущены небольшие партии станций «Старт» и «Геотест». Станция «Старт» представляет собой технологическую и петрофизическую (с модулем МАИШ ограниченного состава) подсистему, смонтированные в отдельных кузовах и рассчитанные на совместную работу со станцией АГКС-4АЦ. Станция «Геотест» является геохимической подсистемой с хроматографом, рассчитанным только на анализ УВ, смонтированной вместе с технологической подсистемами в общем кузове. Обе станции рассчитаны только на аналоговую регистрацию в функции времени первичной информации и на «ручную» обработку информации с помощью номограмм и палеток. Естественно, что эффективность решения такими станциями оперативных задач невелика и их внедрение является только начальным этапом организации службы геолого-технологического контроля и создает предпосылки для внедрения более эффективных компьютеризированных систем типа «Прогноз».

#### § 31. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ С АВТОМАТИЧЕСКИМИ ГАЗОКАРОТАЖНЫМИ СТАНЦИЯМИ

Перед проведением газового каротажа с помощью АГКС выполняют следующие операции.

1. При очередных СПО с помощью мерной ленты измеряют длину бурильного инструмента, спускаемого в скважину (глубину скважины  $Z$ ), и устанавливают ее на счетчиках или табло «глубина» и «исправ. глубина» (« $Z_{и}$ »).

2. Рассчитывают объем затрубного пространства скважины  $V_c$  (в  $m^3$ ). Для этого при очередном наращивании бурильного инструмента в бурильные трубы заливают 1—2 л бензина и включают счетчик или табло «объем скважины» (« $V_{эж}$ »). При появлении аномальных величин  $\Gamma_{сум}$  (АГКС-4АЦ) или  $F_{п}$  (АГКС-5/АГИС-2) выключают счетчик (табло) и по его показаниям считают полный объем  $V_{п}$  (в  $m^3$ ) ПЖ, циркулирующей в скважине. По таблице в инструкции по эксплуатации АГКС находят внутренний объем

бурильных труб  $V_{\text{бт}}$  (в  $\text{м}^3$ ). Затем рассчитывают  $V_c$  по формуле

$$V_c = V_n - V_{\text{бт}}. \quad (\text{V.54})$$

Найденную по (V.54) величину  $V_c$  (в  $\text{м}^3$ ) устанавливают на пультах запоминающих устройств ПЗУ-1 и ПЗУ-2 (АГКС-4АЦ) или вводят в мини-ЭВМ в виде предварительных уставок (АГКС-5/АГИС-2). Описанную операцию повторяют в процессе дальнейших исследований через каждые 100—200 м углубления скважины. При работе с АГКС-5/АГИС-2 при начальном долблении после поступления первого сигнала  $Z_n$  через каждый 1  $\text{м}^3$  ПЖ, эвакуированной из скважины, по табло «объем скважины» начинают выдавать сигналы  $Z_{\text{и. шл}}$  на все отборные стаканы ШО. По окончании долбления по числу маркировочных шайб в каждом отборном стакане ШО, под которым еще нет частиц шлама, находят  $V_{\text{скд. шл}} - V_{\text{скд. шз}}$  (в  $\text{м}^3$ ), которые вводят в мини-ЭВМ в виде предварительных<sup>7</sup> уставок.

3. При работе с АГКС-4АЦ через суммарный газоанализатор пропускают 1 %-ную смесь метана с воздухом и калибруют шкалу  $\Gamma_{\text{сум}} \text{ API}$  (в %). Калибровка повторяется при каждом СПО.

4. При работе с АГКС-5/АГИС-2 в хроматограф подают калибровочную газовую смесь со всеми информативными компонентами; в процессе анализа мини-ЭВМ автоматически запоминает величины  $t_{\text{пл}}$  и  $t_{\text{кп}}$  (см. § 29).

5. При работе с АГКС-4АЦ устанавливаются масштабы записи величин  $\Gamma_{\text{пр}}$ ,  $Q_{\text{вых}}$ ,  $T_1$  и  $E$ , а также коэффициенты  $K_{\text{м1}} - K_{\text{м6}}$ . При работе с АГКС-5/АГИС-2 согласно инструкции по эксплуатации в мини-ЭВМ вводятся соответствующие начальные уставки и периодически по команде оператора автоматически определяются  $F_{\text{пф}}$ .

В процессе работы с АГКС-4АЦ контролируют наличие интервала поглощения или притока по кривой  $Q_{\text{вых}}$  и перспективного на нефть или газ интервала по кривым  $\Gamma_{\text{пр}}$  и  $A_1 - A_6$ . При работе с АГКС-5/АГИС-2 контролируют наличие интервала поглощения и притока по величине  $Q_{\text{п}}$  на табло «диф. расход», проводят прогнозирование нефтегазоносного пласта по кривым  $T_{1\text{и}}$ ,  $\Gamma_{\text{х пр}}$  и  $C_{\text{лм1}} - C_{\text{лм3}}$  и выделяют перспективные на нефть и газ интервалы по кривым  $I_{\text{кг}}$  и  $\Gamma_{\text{х пр}}$ . По окончании очередного долбления скважины контролируют продолжение циркуляции ПЖ до тех пор, пока не сравняются (с точностью до шага  $\Delta_r$ ) показания счетчика (табло) «глубина» и «исправ. глубина» (« $Z_n$ »).

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Состав и принцип действия аппаратуры для суммарного газового анализа.
2. Принцип действия и работа хроматографов ХГ-1Г и «Геохром-275».
3. Измерение глубин и исправленных глубин при газовом каротаже.
4. Определение параметров бурения и технологический контроль при газовом каротаже.
5. Блок-схема и принцип действия станции АГКС-4АЦ.
6. Блок-схема и принцип действия системы АГКС-5/АГИС-2.
7. Комплексные системы исследования скважин в процессе бурения и решаемые ими задачи.

## АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН И СКВАЖИННЫЕ ПРИБОРЫ.

### ГЛАВА VI

#### ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИЙ СКВАЖИННЫХ ПРИБОРОВ И АППАРАТУРА ОБЫЧНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАРОТАЖА

##### § 32. ОБЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И УЗЛЫ СКВАЖИННЫХ ПРИБОРОВ

Конструктивные особенности скважинных приборов определяются условиями их эксплуатации в скважинах малого диаметра, заполненных химически активными жидкостями при высоких давлениях и температурах. Номинальные диаметры нефтегазовых скважин изменяются от 100 до 420 мм; часть исследований проводится в скважинах, обсаженных технической или эксплуатационной обсадной колонной с внутренним диаметром от 100 до 300 мм, а также через насосно-компрессорные трубы диаметром 38—62 мм. Для безаварийного ведения работ зазор между стенкой скважины (колонны) и СП должен быть не менее 10—15 мм. Для его обеспечения установлен типовой ряд наружных диаметров СП: 25; 30; 36; 42; 48; 60; 73; 80; 90; 100 и 120 мм. Длина СП определяется размерами измерительных зондов, функциональных блоков и механизмов. С увеличением длины улучшается проходимость СП при спуске в скважину, но вместе с тем растет их масса, затрудняется перевозка в кузове лаборатории либо подъемника. Обычно длина СП равна 2—8 м, а с гибким зондом БКЗ достигает 32 м.

Максимальная температура вскрытых скважинами пород приблизилась к 250 °С, а гидростатическое давление — к 150 МПа. Для обеспечения измерений на различных глубинах для СП установлен следующий ряд рабочих давлений: 25; 40; 60; 100 и 150 МПа. Предельные давления превосходят рабочие на 20 %. Скважинные приборы рассчитаны на работу от 5 °С (в газовых скважинах от — 10 °С) до максимальных значений 50; 80; 120; 150; 200 и 250 °С. Предельные значения температур превышают рабочие на 15 °С.

В процессе спуско-подъемных операций СП испытывают значительные механические воздействия: удары о стенки скважины и забой, рывки кабеля при затяжках и прихватах. Транспортировка по дорогам любого класса и в вертолетах также требует обеспечения ударной прочности и виброустойчивости СП. Большинство СП проверяются на виброустойчивость в пределах 30 Гц при амплитуде колебаний 1,2 мм.

Многообразие геофизических работ, конструкций скважин и термобарических условий определяют большое число типоразме-

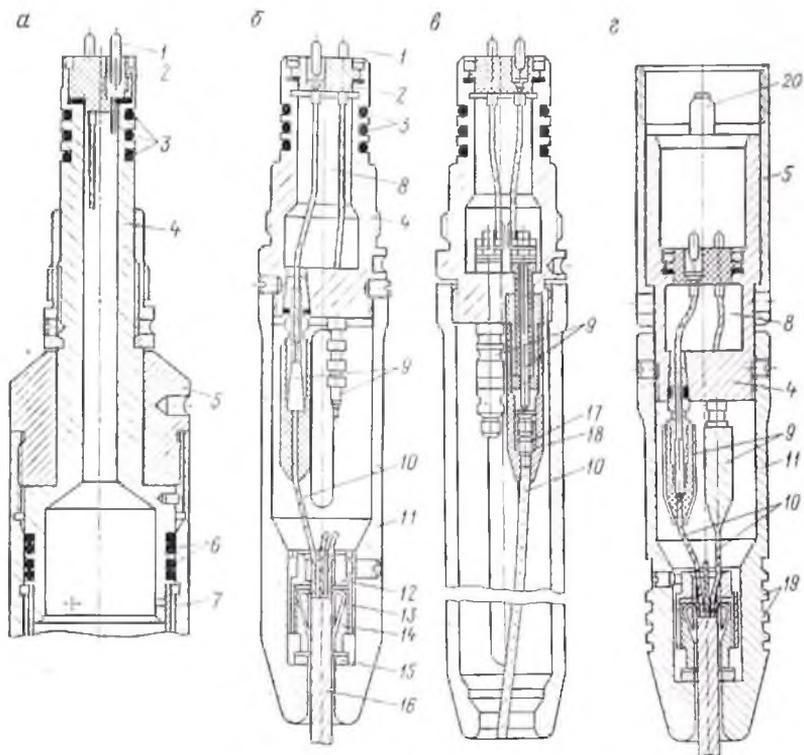


Рис. 32. Стандартные приборная (а) и зондовые (б и в) головки, кабельный наконечник (г)

ров СП. Общими элементами приборов являются: 1) головка СП; 2) охранный кожух; 3) блоки электронной, электрической, механической или гидравлической схемы; 4) информационные датчики (электроды, электроакустические преобразователи и др.). Датчики размещаются на охранным кожухе, внутри него либо на измерительном зонде, вынесенном за пределы СП. В последнем случае зонд подключается к СП через свечной мост, а головкой зонда — к наконечнику, закрепленному на геофизическом кабеле.

**Головки СП.** Предназначены для механического и электрического соединения приборов с кабельным наконечником, а через него — с геофизическим кабелем и каротажной лабораторией. Стандартная головка (рис. 32, а) состоит из штепсельной розетки 2 со съемными контактными штырями 1, число которых соответствует числу токопроводящих жил кабеля, и корпуса 4, устанавливаемого в кожухе 7. Головка крепится к кожуху накидной гайкой 5 с наружной резьбой; герметизация соединений обеспечивается резиновыми уплотнительными кольцами 6. Применяются также другие способы крепления головки к кожуху: накидной гайкой с внутренней резьбой, ввинчиванием головки в кожух по резьбе, сваркой.

*Головки зондов (ГЗ).* Головки различаются по типу кабеля (Б — бронированный, О — шланговый или в оплетке), числу жил кабеля (1, 3, 7) и присоединительными размерами, такими же, как в головках СП: диаметром 36 и 60 мм. Обозначения головок расшифровываются следующим образом: ГЗ 03—36 — головка зонда под шланговый трехжильный кабель, диаметр 36 мм; ГЗ Б7—60 — головка зонда под бронированный семижильный кабель, диаметр 60 мм и т. п.

В головке зонда, выполненного на основе бронированного кабеля (рис. 32, б), жилы 10 кабеля соединены со штепсельной розеткой 2 через свечи 9, обеспечивающие герметизацию соединительной полости 8 в корпусе 4 головки. Механическое крепление кабеля 16 с защитным колпаком 11 головки осуществляется кабельным зажимом. В последнем проволоки внешнего повива брони огибают надетую на кабель конусную вставку 13, которую зажимают в корпусе 14 зажима гайкой 12. Через шайбу 15 усилие натяжения кабеля передается на защитный колпак 11.

Головка зонда на основе шлангового кабеля (рис. 32, в) отличается от описанной конструкцией свечей 9 и отсутствием кабельного зажима: свечи головки грузонесущие и соединены с жилами 10 кабеля посредством ниппелей 18, укрепленных на концах жил, и муфт 17. Места соединения изолированы резиновой лентой.

*Кабельные наконечники (НК).* Предназначены для механического и электрического подсоединения кабеля к головке СП или зонда. Они подразделяются по типу геофизического кабеля (наконечники для бронированных кабелей НКБ и для оплеточного или шлангового НКО), по числу жил кабеля (1, 3, 7), наружному диаметру (36 и 60 мм) и группе условий эксплуатации (I — до 20 МПа, + 70 °С; II — до 60 МПа, 120 °С; III — до 120 МПа, 200 °С). Например, кабельный наконечник диаметром 60 мм, предназначенный для эксплуатации с трехжильным бронированным кабелем в условиях третьей группы эксплуатации, обозначается НКБ 3-60-III.

Конструкция наконечника (рис. 32, г) аналогична описанным для зондовых головок, за исключением места соединения его с приборной или зондовой головками. Жилы 10 кабеля соединены со штепсельной розеткой, аналогичной розеткам головок, с помощью свечей 9, герметизирующих полость 8 в корпусе 4 наконечника. Бронированный кабель крепится к защитному колпаку 11 с помощью кабельного зажима, шланговый и оплеточный — с помощью грузонесущих свечей. На колпаке 11 имеются выступы 19 с коническими спинками для захвата наконечника ловильным инструментом при аварийном оставлении СП в скважине.

Присоединение СП или зонда к кабелю сводится к свинчиванию приборной или зондовой головки с соответствующим наконечником посредством расположенной на нем пакидной гайки 5. При этом полость со штепсельными розетками герметизируется от внешней среды резиновыми кольцами 3. Необходимое взаимное положение штепсельных розеток и фиксации сочленения обеспечиваются зубом 20 на корпусе наконечника, входящим в паз головки.

*Охранный кожух.* Предназначен для размещения в нем функциональных блоков и механизмов СП. Он может быть герметичным либо компенсированным. Герметичные кожухи более распространены, их внутренние полости защищены от действия гидростатического давления и механических нагрузок. Толщина стенки герметичного кожуха и прочностные характеристики материала, из которого он изготовлен, должны обеспечить его недеформируемость при воздействии предельных давлений. Расчет стенки кожуха проводят по зависимости

$$\sigma_y = 1,73k^2 p_{\max} (k^2 - 1), \quad (VI.1)$$

где  $\sigma_y$  — предел упругости материала в МПа;  $p_{\max}$  — предельное гидростатическое давление в МПа;  $k = d_{\text{нар}}/d_{\text{ин}}$  — отношение наружного и внутреннего диаметров кожуха.

Компенсированные кожухи применяются тогда, когда допустимая толщина стенки и прочностные характеристики материала со специальными свойствами (например, диэлектрика для приборов ИК) не обеспечивают недеформируемость кожухов при заданных давлениях. Они применяются также в случаях, когда вследствие больших энергетических потерь в герметичных уплотнениях невозможно вывести подвижные элементы механических приводов (например, штоков прижимных устройств) из полости СП с атмосферным давлением в ПЖ. Компенсированные кожухи защищают размещенные в них блоки и механизмы только от механических нагрузок. Их внутренние полости заполнены жидким диэлектриком (минеральным маслом, кремнийорганическими полимерами и др.), а выравнивание давления внутри кожуха и гидростатическим производится компенсаторами. Используются три типа компенсаторов: 1) металлические сильфоны, припаянные одним концом к горловине в кожухе СП, а другим — к подвижному дну с пробками для заливки диэлектрика; 2) резиновые оболочки, закрепленные на горловине; 3) подвижные поршни с разделительным герметизирующим элементом.

*Герметизирующие элементы охранных кожухов.* Эти элементы чрезвычайно многообразны, что определяется различием их функций в разных приборах и широким диапазоном эксплуатационных условий.

Уплотнительные резиновые кольца применяются для герметизации неподвижных и подвижных соединений с цилиндрическими и коническими поверхностями. Они имеют сечение в виде круга и редко, например в конусной свече, трапециевидальное и устанавливаются с натягом в кольцевых канавках. Для давлений более 80 МПа канавки делают шире и за кольцом устанавливают разрезанные фторопластовые шайбы, предохраняющие кольцо от повреждения.

Манжетные уплотнители представляют собой устанавливаемую в цилиндрическом гнезде кожуха манжету, в которой отверстия для проводов выполнены в виде отдельных сосков. Они используются в качестве разделительных элементов между полостями

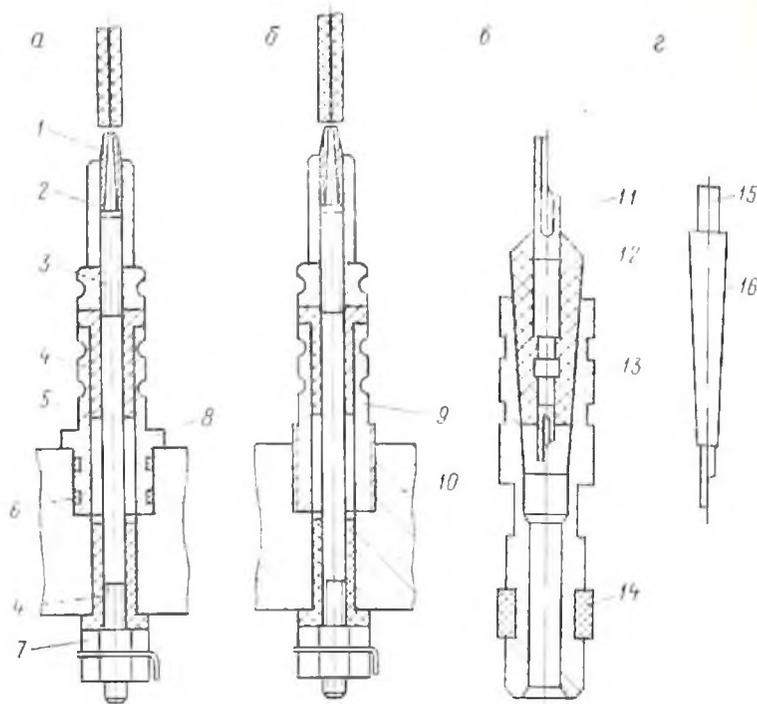


Рис. 33. Свечные и электрические вводы:

*a, б* — грузонесущие съемная и несъемная свечи соответственно; *а* — конусная съемная свеча; *г* — конический электрический ввод

с одинаковым давлением и реже, при давлении до 60 МПа и температуре до 120 °С, для ввода проводов в полости с атмосферным давлением.

Эластичные уплотнители подвижных элементов выполняются в виде гофрированных цилиндров с окончаниями разного диаметра. Они служат для герметизации выдвижных силовых штоков управляемых устройств, а также в качестве компенсаторов сложной формы.

*Свечные и электрические вводы.* Предназначены для электрического соединения жил кабеля со штепсельными розетками кабельных наконечников, головок зондов и приборов и для вывода проводов внутриприборных линий связи в полости с высоким давлением.

Грузонесущие свечи обеспечивают механическое и электрическое соединение шланговых и оплеточных кабелей. Они бывают съемными в наконечниках диаметром 36 мм и несъемными при диаметре 60 мм. Грузонесущий и тоководущий стержень 3 съемной свечи (рис. 33, *a*) закреплен в корпусе 5 наконечника гайкой 7 и изолирован от него втулками 4. К стержню с помощью ниппеля 1 и муфты 2 присоединена жила кабеля; место ее подсоединения к корпусу 5 свечи герметизировано резиновой лентой, намотанной

сверху слоя фторопластовой пленки. При установке в корпус наконечника или зонда уплотнение свечи обеспечивается резиновыми кольцами 6, а крепление осуществляется поджатием бурта 8 защитным колпаком. Корпуса 9 несъемных грузонесущих свечей (рис. 33, б) ввернуты на резьбе в корпус 10 наконечника или головки и герметично запаены.

Конусная съемная свеча (рис. 33, в) используется в наконечниках с бронированными кабелями, а также во внутриприборных линиях связи. Свеча состоит из корпуса 13, во внутреннюю коническую расточку которого установлен стержень 11 электропровода, запрессованный в оболочку 12 из прочного прессматериала. Снаружи к стержню 11 подсоединена жила кабеля, герметизированная резиновой лентой или резиновой втулкой, надвинутой с натягом на жилу кабеля и корпус свечи. Последний входит в гнезда корпуса кабельного наконечника или головки и герметизируется резиновым кольцом 14.

Для внутриприборных линий связи используются также электропроводы (рис. 33, г) в виде конического стального стержня 15 с покрытием 16 из термостойкого лака. Герметизация подпаянных к нему проводов осуществляется резиновыми компенсаторами, открытые концы которых обжаты металлическими кольцами, а провода выведены с натягом через отверстия в сосках.

### § 33. АППАРАТУРА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАРОТАЖА

Электрический каротаж (ЭК) — основа комплекса геофизических исследований нефтегазовых скважин; на его долю приходится более 50 % общего объема ГИС. По всему стволу скважины выполняется стандартный каротаж (СК) одним-двумя зондами ЭК с одновременной записью кажущихся сопротивлений (КС) и потенциалов самопроизвольной поляризации ПС; в продуктивных интервалах проводятся измерения БКЗ, МК, ИК, БК, БМК, ПС. При исследовании применяются различные типы аппаратуры ЭК, отличающиеся устройством и числом измерительных зондов, конструкцией СП, эксплуатационными характеристиками. Предельная погрешность  $\delta/\rho$  измерения КС всеми СП (в %) определяется выражением

$$\delta_{\rho} = 5 + 0,1\rho_{\text{пред}}/\rho_{\text{изм}}, \quad (\text{VI } 2)$$

где  $\rho_{\text{пред}}$  и  $\rho_{\text{изм}}$  — предел измерения КС выбранным зондом и фактически измеренное сопротивление.

Различные типы аппаратуры ЭК объединяет использование одной телеизмерительной системы (ТИС) с частотной модуляцией и разделением каналов. Это позволило выполнить наземную часть аппаратуры в виде унифицированного измерительного пульта ИПЧМ (табл. 4). Пульт обеспечивает коммутацию измерительных и силовых цепей СП, демодуляцию и дальнейшее преобразование четырех информационных сигналов с поднесущей частотой 300—400 Гц, передаваемых из СП на несущих частотах: 7,8; 14,0; 25,7

и 44,5 кГц. Кроме того, пультом выделяется сигнал ПС, переданный из СП по гальваническому каналу связи.

Таблица 4

Технические характеристики измерительных пультов ЭК

| Показатель   | ИПЧМ                     | ИПЧМ-2А                  | С1                       |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Число частотных каналов                                      | 4                        | 4                        | 4                        |
| Число частотно-временных каналов                             | —                        | 8                        | —                        |
| Несущие частоты, кГц   | 7,8; 14,0;<br>25,7; 44,5 | 7,8; 14,0;<br>25,7; 44,5 | 7,8; 14,0;<br>25,7; 44,5 |
| Поднесущая частота, Гц                                       | 300—400                  | 300—400                  | 300                      |
| Динамический диапазон входных сигналов, дБ                   | 25                       | 33                       | 33                       |
| Число каналов для измерения отношений амплитуд двух сигналов | —                        | 2                        | 2                        |
| Нелинейность передаточной характеристики, %                  | 3                        | 3                        | 3                        |
| Напряжение сигнала на выходе, В                              | 0,25                     | 1,0                      | 5,0                      |
| Сопротивление нагрузки, Ом·м                                 | 100                      | 1200                     | 2000                     |

Последующей модификацией стал пульт ИПЧМ-2А предоставляющий возможность работы с приборами (например, КСП-3), в которых по каждому из четырех каналов с частотной модуляцией передаются два независимых информационных сигнала, разнесенных во времени. Пульт ИПЧМ-2А работает с большей частью приборов ЭК. Для СП, содержащих управляемые механические приводы прижимных и центрирующих устройств, применяются сменные блоки управления. Для регистрации в логарифмическом масштабе кривых БК и БМК пульт ИПЧМ-2А соединяют с пультом логарифмических преобразователей ПЛП.

Для проведения измерения с СП серии Э (табл. 5) используется аппаратурная стойка С1, состоящая из блоков частотной демодуляции Б1, управления Б2 и логарифмических преобразователей Б4. Стойка С1 выполняет функции пультов ИПЧМ-2А и ПЛП без временного разделения каналов. Электрические схемы и технические характеристики пультов ИПЧМ и стойки С1 близки между собой (см. табл. 4).

Применение ТИС с уплотнением каналов позволило перейти к созданию комплексных СП, совмещающих функции нескольких измерительных зондов: ПС, КС, БК, ИК и др. (см. табл. 5). Наиболее простые из них (КСП-1, КСП-2) обеспечивают без подъема СП на дневную поверхность регистрацию кривых КС, ПС и резистивиметрии по стволу скважины в масштабе глубин 1 : 500 при одной спуско-подъемной операции (СПО) и детальные исследования продуктивного интервала в масштабе глубин 1 : 200 зондами БКЗ и ПС за три СПО. Другие приборы (АБКТ, Э1, Э4, Э7) позволяют

Таблица 5

## Технические характеристики скважинных приборов электрического каротажа

| Аппаратура | Масса, кг | Диаметр, мм | Длина, м<br>(длина с зондом, м) | Рабочая температура, °С | Рабочее давление, МПа | Число жил кабеля | Комплексы исследований      | Число каналов | Число зондов КС | Число СПО для выполнения комплекса |
|------------|-----------|-------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------|-----------------------------|---------------|-----------------|------------------------------------|
| КСП-1      | 35        | 70          | 2,7 (16,3)                      | 150                     | 100                   | 1; 3             | СК, ПС, резистивметрия      | 4             | 7               | 3                                  |
| КСП-2      | 35        | 70          | 2,63 (16,3)                     | 200                     | 100                   | 1; 3             | СК, ПС, БКЗ, резистивметрия | 4             | 7               | 3                                  |
| КСП-3      | 35        | 70          | 2,63 (16,3)                     | 200                     | 100                   | 1; 3             | СК, ПС, БКЗ, резистивметрия | 9             | 7               | 1-2                                |
| АБКТ       | 60        | 70          | 3,2 (16,9)                      | 200                     | 100                   | 1; 3             | СК, ПС, БКЗ, БК             | 3-4           | 8               | 4                                  |
| БКС-2      | 80        | 82          | 3,2 (16,9)                      | 200                     | 100                   | 1; 3             | СК, ПС, ЗБК                 | 2-3           | 2-3             | 3                                  |
| ЛИК-4      | 125       | 105         | 6,5                             | 150                     | 100                   | 1; 3             | ИК (8И1,4)                  | 1             | 1               | 1                                  |
| ПИК-1М     | 45        | 70          | 3,0                             | 80                      | 60                    | 1; 3             | ИК (4И1,0)                  | 1-2           | 1-2             | 1                                  |
| МБК*       | 70        | 73; 130     | 2,3                             | 150                     | 100                   | 1; 3             | БМК, ДС                     | 3-4           | 1-2             | 1                                  |
| МБУ*       | 60        | 73; 130     | 2,9                             | 150                     | 100                   | 1; 3             | БМК, ДС                     | 3-4           | 1-2             | 1                                  |
| МДО-3*     | 50        | 73; 130     | 3,5 (14,5)                      | 150                     | 100                   | 1                | МК                          | 3-4           | 2               | 1                                  |
| ИК-36      | 15        | 36          | 2,7                             | 100                     | 25                    | 1                | Резистивметрия (ИК)         | 1             | 1               | 1                                  |
| РИС-42     | 10        | 42          | 1,0                             | 100                     | 30                    | 1                | Резистивметрия (ИК)         | 1             | 1               | 1                                  |

| Аппаратура | Масса, кг | Диаметр, мм | Длина, м<br>(длина с зап.-<br>дом, м) | Рабочая тем-<br>пература, С | Рабочее давле-<br>ние, МПа | Число жидк.<br>контуров | Комплекс исследовател.<br>каналов | Число зондов<br>КС | Число СИО<br>для выполнения<br>контракта |
|------------|-----------|-------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------|--|
| Э1         | 80        | 73          | 3,2 (21,0)                            | 200                         | 120                        | 1; 3                    | СК, ПС, БКЗ, БК                   | 3—4                | 1  |
| Э2*        | 80        | 100         | 3,6                                   | 200                         | 120                        | 1; 3                    | МК, БМК, ДС                       | 3                  | 2  |
| Э3         | 100       | 73          | 3,8                                   | 200                         | 100                        | 1; 3                    | СК, ПС, ИК (6Э1,0)                | 3—1                | 2  |
| Э4         | 80        | 73          | 3,2 (20,1)                            | 250                         | 150                        | 1; 3                    | СК, ПС, БКЗ, БК                   | 3                  | 4  |
| Э6         | 130       | 73          | 8,0                                   | 150                         | 100                        | 1; 3                    | ПС, 2ИК (6Э1), 0; 8Э0,9)<br>БК    | 3—4                | 2  |
| Э7         | 55        | 54          | 3,2 (21,0)                            | 200                         | 150                        | 1                       | ЗКС, ПС, БК                       | 3                  | 2  |
| Э9         | 105       | 73          | 3,2 (27,2)                            | 200                         | 120                        | 1; 3                    | ПС, ЗБК                           | 4                  | 4  |
| Э12        | 100       | 73          | 6,8                                   | 250                         | 150                        | 1                       | СК, ПС, ИК                        | 3                  | 2  |
| КЗ (БИК-2) | 210       | 110         | 7,5 (32,0)                            | 150                         | 100                        | 1; 3                    | ПС, 2БК, 2ИК (6И1, 0;<br>7И0,6)   | 4                  | 2  |
| К1А-723*   | 150       | 73; 100     | 5,2 (23,2)                            | 120                         | 100                        | 1; 3; 7                 | СК, ПС, БКЗ, БК, ДС,<br>ГК        | 1—7                | 2—4                                      |
| К2-741*    | 95        | 73          | 3,8 (22,0)                            | 200                         | 150                        | 1                       | ЗКС, ПС, 2ДС                      | 2—3                | 2  |
| КАС1       | 70—140    | 73          | 3,7 (25,0)                            | 120                         | 60                         | 7                       | СК, ПС, БКЗ, ИК, Инкл.            | 6                  | 2  |

\* С прижимным устройством.

записать за две—четыре спуско-подъемные операции кривые ПС, БКЗ и БК. Значительная часть СП предназначена для регистрации КС короткими зондами БКЗ и кривых ИК, БК (БКС-2, ЭЗМ, Э12 и др.) либо кривых микрокаротажа (МБК, МБКУ, Э2). Одновременное измерение нескольких электрических параметров повышает производительность работ и достоверность полученных материалов, что обусловлено исключением влияния на результаты измерений изменяющихся во времени скважинных условий и устранением погрешностей, связанных с согласованием глубин при разновременных измерениях.

#### § 34. КОМПЛЕКСНЫЙ ПРИБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАРОТАЖА НА ОДНОЖИЛЬНОМ КАБЕЛЕ КСП-2

Наибольшее распространение получили приборы электрического каротажа КСП, рассчитанные на работу с одножильным бронированным кабелем. Три их модификации (КСП-1, КСП-1М, КСП-2) имеют три частотных модулятора (три частотных и один гальванический канал связи) и обеспечивают за три СПО измерение семью зондами комплекса БКЗ и резистивметром; при каждом цикле измерений может быть записана также кривая ПС. Прибор КСП-3 имеет четыре частотных модулятора и временное разделение каналов, что обеспечивает ему восемь высокочастотных и один гальванический канал связи. При работе с трехжильным кабелем полный комплекс зондов БКЗ, резистивметрии и ПС выполняются за одну СПО. При работе с одножильным кабелем регистрация ПС проводится отдельной операцией.

Рассмотрим детально наиболее распространенную модификацию прибора — КСП-2.

*Измерительный многоэлектродный зонд прибора (рис. 34, а). Этот зонд содержит два токовых (А1 и А2) и 12 измерительных (И1—И12) электродов, взаимное расположение которых позволяет составить стандартные зонды БКЗ: вторым токовым электродом зондов служит броня кабеля либо обсадная колонна.*

Конструктивную основу зонда (рис. 34, б) составляет специальный зондовый кабель КГ17-60-180 ШМ, на котором размещены электроды. Шестнадцать жил кабеля используют в качестве проводов, соединяющих электроды со схемой СП. При работе с многожильным кабелем два или шесть проводов используют для соединения каротажного кабеля со схемой СП. При работе с одножильным кабелем линией связи между СП и кабелем служит одножильный бронированный кабель 16 (семнадцатая жила), являющийся несущей основой зонда. Его броня изолирована фторопластовой пленкой 13, наложенной на герметичную резиновую оболочку и предохранительный резиновый подслои. Поверх резиновой оболочки уложены жилы 9 зонда. Снаружи зондовый кабель защищен от механических воздействий шлангом 12 из нефтестойкой резины и ткани.

Каждый электрод, установленный в зонде, представляет собой металлический патрубок 14, впрессованный в резиновый труб-

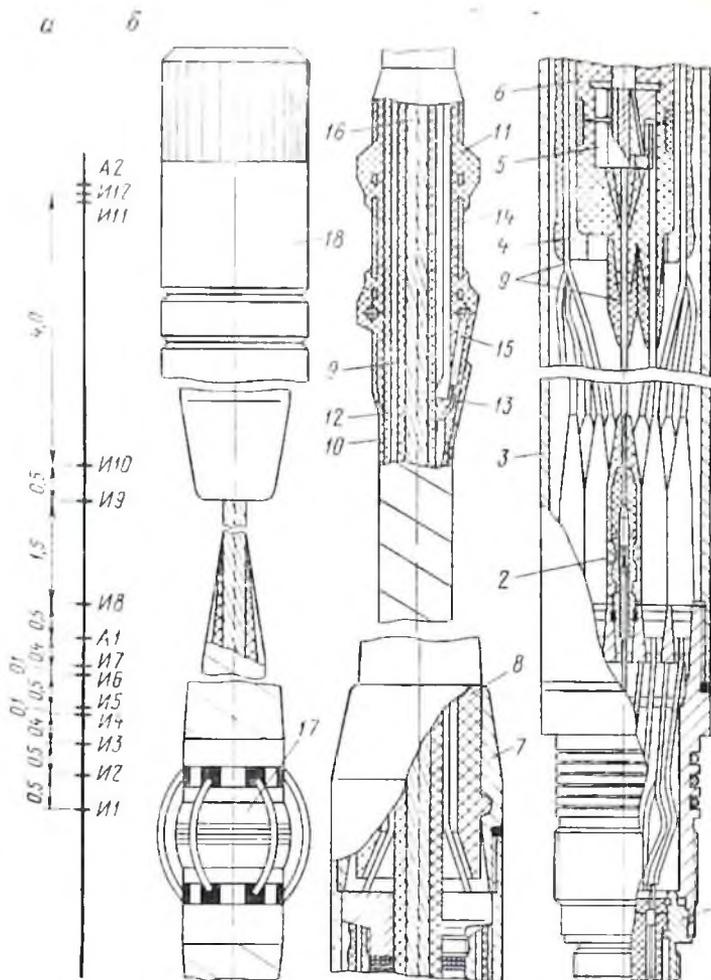


Рис. 34. Многоэлектродный зонд скважинного прибора КСП-2.  
 а — схема размещения электродов; б — конструкция отдельных узлов

чатый корпус 11. Через вывод с соском 15 электрод соединяется с электродным проводом. Электрод крепится на кабеле бандажами 10 из резиновой ленты и ткани, наложенными на концы корпуса 11. Утолщение в корпусе по краям электрода предохраняет последний от повреждений. Материалом для электродов зондов КС служит сталь, имеющая малое контактное сопротивление. Для измерения потенциалов ПС применяют свинцовый электрод, характеризующийся устойчивым электродным потенциалом на контакте свинца с электролитом (ПЖ). В верхней части зонда установлен сферический резистивиметр 17, образованный электродами А2, И11, И12. Один из его электродов используется в качестве токового для нескольких зондов КС.

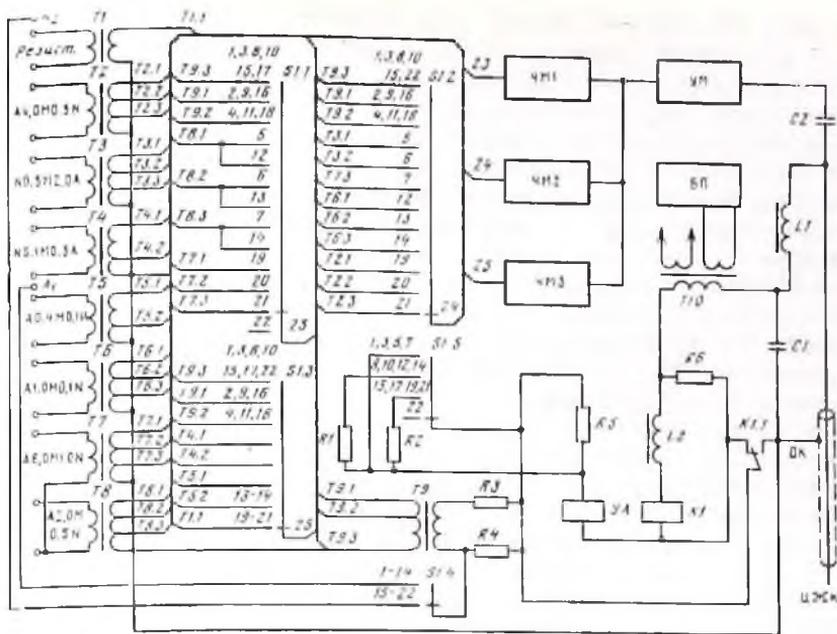


Рис. 35. Функциональная схема скважинного прибора КСП-2

Снизу зонд оканчивается свечным мостом, служащим для механического и электрического соединения зонда с СП. Зонд крепится к охранному колпаку 3 моста с помощью изолированного подвеса, основной частью которого является кабельный зажим 5 (см. рис. 32), в который заделана броня несущего кабеля. Зажим запрессован в резиновую оболочку 6, обеспечивающую его изоляцию от ПЖ и дополнительно закрепленную металлическим стаканом 4. Электродные провода 9 зонда уложены в изоляции поверх стакана 4 и закрыты резиновым амортизатором 8, который, в свою очередь, уплотняется при ввинчивании гайки 7 в охранный колпак. Во внутренней полости моста электрическое соединение электродных проводов, центральной жилы (ЦЖК) и оплетки кабеля (ОК) 16 со штепсельной розеткой 1 выполнено стандартными электрическими свечами 2.

На верхнем конце зонда укреплен стандартный зондовый наколечник 18 для одножильного бронированного кабеля.

Функциональная схема СП (рис. 35). Питание электронной схемы и токовых электродов А1, А2 осуществляется по кабелю током частотой 300 Гц от генератора УГ-1, размещенного в каротажной лаборатории и подключенного к пульту ИПЧМ-2А. В СП ток питания поступает с ЦЖК через дроссель L1, первичную обмотку трансформатора Т10, резистор R6 и включенные параллельно ему дроссель L2 и реле К1, нормально замкнутые контакты реле К1.1, реле

резистор  $R4$ , плату  $S14$  многопозиционного переключателя зондов  $S1$  на токовый электрод  $A1$  при замыкании контактов  $1-14$  этой платы или на токовый электрод  $A2$ , как показано на рисунке, при замыкании контактов  $15-22$ . Анодные цепи СП питаются постоянным напряжением через блок питания БП, включенный во вторичную обмотку  $T10$ . Конденсатор  $C2$  не пропускает на усилитель мощности УМ напряжение частотой 300 Гц, а цепочка  $LIC1$  предотвращает прохождение высокочастотных информационных сигналов в цепи электродов  $A1$  и  $A2$ .

Измерительные электроды  $M$  и  $N$  зондов подключены к первичным обмоткам входных трансформаторов  $T1-T8$ . Вторичные обмотки  $T1-T8$  имеют по три отвода (исключение составляют трансформаторы  $T1$ ,  $T4$  и  $T5$ ), что необходимо для изменения пределов измерений в 5 и 25 раз с целью обеспечения одинаковых уровней измеряемых сигналов (0—2,1 В) и их дальнейшего линейного преобразования. Отводы вторичных обмоток, обозначенные порядковыми номерами рядом с индексом трансформатора, например  $T1.1$ , через платы  $S11-S13$  попеременно подключаются ко входам частотных модуляторов ЧМ1—ЧМ3. Например, в позиции, показанной на рис. 3б, сигнал с трансформатора  $T7$  зондовой установки  $A2$ ,  $OM1$ ,  $OM1$  поступает на вход модулятора ЧМ1 с отвода  $T7.3$  через делитель показанный катушкой и контакт 21 платы  $S1.1$ . (Обозначения отводов на катушке и номера контактов  $S1$  приведены рядом с их изображениями.) Аналогично на входы ЧМ2 и ЧМ3 в этом положении переключателя  $S1$  подаются сигналы с отводов  $T2.3$  и  $T1.1$ .

Частотные модуляторы ЧМ1—ЧМ3 представляют собой генераторы, несущая частота которых  $f_0$ , получаемая при отсутствии модулирующего (измеряемого) сигнала, меняется под действием измеряемого сигнала частотой  $f_c$  по закону

$$f = f_0 [1 + M \cos 2\pi f_c t], \quad (VI.3)$$

где  $f$  — частота частотно-модулированного сигнала (ЧМ-сигнала);  $M$  — приращение (девиация) частоты, пропорциональное амплитуде модулирующего напряжения;  $t$  — текущее время.

С помощью частотных модуляторов происходит преобразование амплитуд измеряемых сигналов в частоты  $f$  высокочастотных ЧМ-сигналов. Сигналы с выходов ЧМ1—ЧМ3 через общий усилитель мощности УМ и конденсатор  $C2$  поступают на ЦЖК. Одновременно с электродов  $A1$  или  $A2$ , связанных по постоянному току с ЦЖК, в канал связи поступают потенциалы ПС.

Переключатель  $S1$  обеспечивает переключение зондов при разных шкалах измерений, изменении пределов измерений, в также установку масштабов длины кривых КС по нуль-сигналу при замыкании выходов ЧМ1—ЧМ3 на ОК и по стандарт-сигналу, снимаемому со вторичной обмотки трансформатора  $T9$ . Первичная обмотка  $T9$  через резистор  $R3$ , имитирующий сопротивление заземления электродов, подключена к калибровочному резистору  $R4$  в токовой цепи СЦ. Резисторы  $R3$ ,  $R4$  и коэффициент трансформа-

ции  $T9$  подобраны так, что напряжения, получаемые на отводах  $T9.1$  и  $T9.2$ , соответствуют кажущимся сопротивлениям 200 и 40 Ом·м.

Перевод переключателя  $S1$  из одного положения в другое осуществляется подачей на короткое время с пульта ИПЧМ-2А напряжения постоянного тока. Под действием этого напряжения подготавливается реле  $K1$  срабатывает и ток питания проходит через обмотку электромагнита  $YA$ , резисторы  $R5$ ,  $R1$  и  $R2$ , плату  $S1.5$  и замкнувшийся контакт  $K1.1$  на оплетку кабеля ОК, вызывая поворот якоря электромагнита и перевод контактов  $S1$  в соседнее положение. На поверхности смена позиций  $S1$  выявляется по очередности появления стандарт- и нуль-сигналов при замыкании кнопки «Коммутация» (см. § 35). Дроссель  $L2$  ограничивает переменный ток через обмотку реле  $K1$ , предотвращая колебания его контактов.

### § 35. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПУЛЬТ ИПЧМ-2А

Пульт ИПЧМ-2А (рис. 36) содержит два постоянных функциональных блока — питания БП и обработки БО информационных сигналов. В режиме измерений постоянные блоки дополняет блок управления БУ скважинными приборами; в режиме контроля БУ заменяется блоком имитаторов ЧМ-сигналов. Для питания СП к БУ подключают унифицированный генератор УГ-1 переменного тока и каротажный выпрямитель УИП-К, с которого снимается стабилизированное напряжение.

*Блок управления.* Этот блок выполняет функции коммутации напряжения питания и переключения измерительных каналов СП, фильтрации ПС- и ЧМ-сигналов, выделения опорного напряжения частотой 300—400 Гц и коммутации измерительных сигналов, поступающих с фазовых детекторов БО.

Схема коммутации напряжений питания СП состоит из переключателей  $S1—S3$ , реле  $K1$ ,  $K2$  и контактов этих реле. Реле  $K1$  и  $K2$  подготавливаются к работе выключателем  $S5$ , включением которого переменное напряжение 220 В через обмотки реле  $K1$  и  $K2$  подается на переключатели  $S1—S3$ . При питании СП переменным током, как это происходит в КСП-2, переключателем  $S2$  включается реле  $K2$ . Переменное напряжение частотой 300 Гц поступает на ЦЖК (см. рис. 36, жила 1) от генератора УГ-1 через контакты  $K2.1$  и  $K2.3$ , защитный фильтр низких частот ФНЧ, конденсатор  $C3$  и нормально замкнутый контакт  $K3.1$ . Если СП (например, МБК) питается постоянным током, переключателем  $S1$  включается реле  $K1$ , подсоединяя к ЦЖК выпрямитель УИП-К через замкнувшийся контакт  $K1.2$ , дроссель  $L$  и замкнутые контакты  $K3.2$  и  $K3.1$ . Дроссель  $L$  препятствует замыканию ЧМ-сигналов, поступающих из СП, низким входным сопротивлением, УИП-К. При комбинированном питании (АБКТ и др.) переключателем  $S3$  включают оба реле  $K1$  и  $K2$ , подсоединяя к ЦЖК генератор УГ-1 и выпрямитель УИП-К. Наличие питающего напряже-

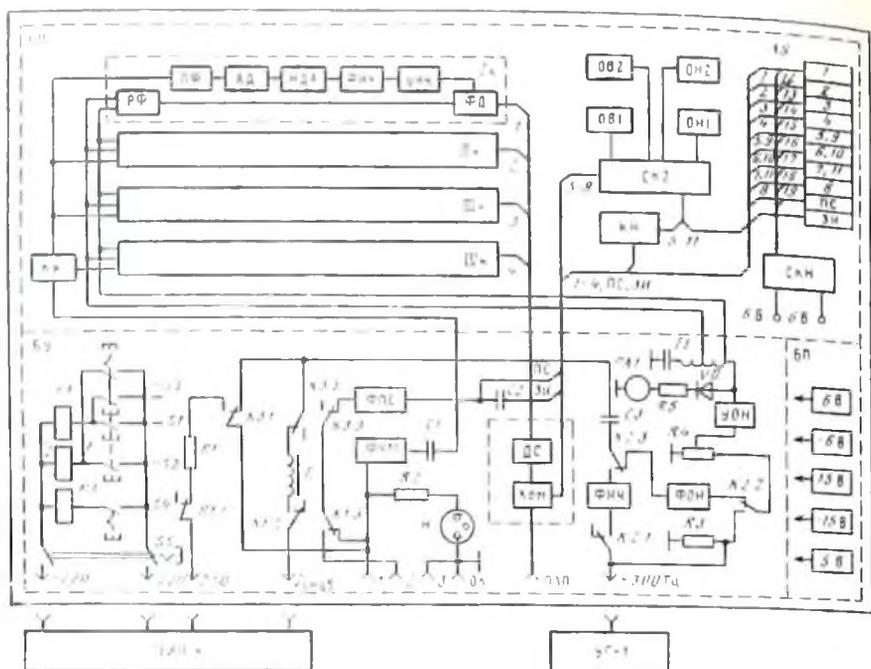


Рис. 36. Функциональная схема измерительного пультa ИПЧМ-2А

ния на ЦЖК фиксируется неосновым индикатором  $H$ , подключенным к ЦЖК через резистор  $R2$ .

Схема переключения измерительных зондов СП выполнена на реле  $K3$  и кнопке  $S4$  «Коммутация». При питании СП переменным током нажатием  $S4$  от ЦЖК отключаются питающее напряжение и фильтр ФПС, а через ограничительный резистор  $R1$  подключается постоянное напряжение 250 В. Импульсом этого напряжения многопозиционный переключатель СП (см. рис. 35,  $S1$ ) переводится в новое положение. После отпущения кнопки  $S4$  схема измерения восстанавливается, а напряжение 250 В отключается. При питании СП постоянным напряжением и при комбинированном питании скважинный переключатель зондов приводится в движение включением и выключением питающего напряжения.

Разделение в БУ сигналов частотно-модулированных и ПС осуществляют LC-фильтры высоких ФЧМ и низких ФПС частот. Высокочастотные ЧМ-сигналы поступают из СП на фильтр ФЧМ и через разделительный конденсатор  $C1$  в блок обработки БО на схему компенсации кабеля КК. Сигнал ПС попадает на фильтр ФПС. В приборах, питающихся постоянным током, сигналы ПС передаются по отдельной (второй) жиле кабеля, а на ФПС они поступают через контакты реле  $K1$  и  $K3$ . С конденсатора  $C2$  по линиям связи ПС и ЗИ («Земля измерительная») сигналы ПС передаются через БО на регистратор лабораторный.

Схема выделения опорного напряжения, необходимого для фазового детектирования сигналов в БО, работает в двух режимах. При питании СП переменным током опорное напряжение поступает на усилитель опорного напряжения УОН непосредственно с УГ-1 через делитель  $R3-R4$ . Если СП питается постоянным током, то опорное напряжение вместе с ЧМ-сигналами поступает из СП, отфильтровывается полосовым фильтром ФОН и через резистор  $R4$  подается на УОН. Усилитель УОН нагружен на автотрансформатор  $T1$ , с которого снимаются сигналы «фаза опоры» и «средняя точка опоры» для подачи их в БО. Уровень выходного напряжения УОН регулируется резистором  $R4$  и контролируется стрелочным индикатором  $PA1$ , подключенным к выходу «фаза опоры» через диод  $VD$  и резистор  $R5$ .

Схема коммутации СК измерительных сигналов состоит из резистивного делителя ДС и коммутатора Ком. Резистивным делителем информационные сигналы, поступающие с выходов ФД в БО в виде медленно меняющихся напряжений, приводятся к необходимому уровню и поступают на Ком. В зависимости от требуемого режима работы коммутатор подает эти сигналы на пульт логарифмических преобразователей ПЛП или возвращает в БО для дальнейшего преобразования, контроля и вывода на фоторегистратор. При работе с прибором КСП-3 Ком разделяет также каналы 5—8 и 1—4.

**Блок обработки БО.** Представляет собой сложное многофункциональное устройство, обеспечивающее разделение высокочастотных ЧМ-сигналов по соответствующим каналам и их преобразование в напряжение постоянного тока, вычисление отношений двух выбранных сигналов или величин, обратных этим сигналам, а также контроль полученных сигналов постоянного тока и установку их нулей. В работе с разнотипными СП участвует различное число узлов БО.

В блоке обработки информационных ЧМ-сигналы, амплитуды которых зависят от длины каротажного кабеля, приводятся к одному диапазону уровней (2—2100 мВ) схемой компенсации длины кабеля КК, что необходимо для стабильной работы пульта. Схема включается нажатием кнопок «Компенс. кабеля» на лицевой панели БО.

Приведенные к одному уровню ЧМ-сигналы поступают на полосовые фильтры ПФ четырех идентичных каналов (на рис. 36 показана схема первого канала), основные частоты настройки которых 7,8; 14,0; 25,7; 44,5 кГц. Сигнал, выделенный фильтром, идет на амплитудный дискриминатор АД, выполненный на операционном усилителе. С его помощью сигнал ограничивается снизу на уровне 11 мВ для уменьшения влияния помех и сверху на уровне 13—15 мВ для исключения паразитной амплитудной модуляции, после чего усиливается импульсным усилителем. В результате из входного синусоидального напряжения на выходе АД формируются симметричные прямоугольные двухполярные импульсы, которые поступают на нормализатор длительности и амплитуды

ИДА. Последний состоит из последовательно включенных дифференцирующих цепочек, одновибратора и работающего в ключевом режиме импульсного усилителя. Длительность импульсов, вырабатываемых одновибраторами, устанавливается в зависимости от несущей частоты в каждом канале. На выходе нормализатора получают последовательности однополярных импульсов стабильной амплитуды и длительности, частота следования которых соответствует частоте входного ЧМ-сигнала.

Фильтр низких частот ФНЧ выполнен из трех последовательно включенных интегрирующих RC-цепочек и по существу играет роль частотного детектора. При отсутствии полезных сигналов частота следования импульсов на входе фильтра равна несущей частоте, а на выходе устанавливается неизменяющееся постоянное напряжение. При поступлении информационных сигналов частота следования импульсов уменьшается в положительный полупериод их действия и увеличивается в отрицательный (или наоборот). Выходное напряжение интегратора будет находиться в прямой зависимости от частоты следования входных импульсов, благодаря чему на выходе фильтра появится переменная составляющая с частотой питания зондов СП (300 Гц) и амплитудой, пропорциональной значению информационного сигнала.

С выхода фильтра переменная составляющая поступает на усилитель низкой частоты УНЧ с трансформаторным выходом и детектируется двухполупериодным фазочувствительным детектором ФД. Необходимое для фазочувствительного детектирования опорное напряжение подается на ФД из БУ через регулятор фазы РФ. Регулятор обеспечивает вращение фазы опорного напряжения в диапазоне от 0 до  $84^\circ$  и плавную регулировку фазы с переходом через нуль. Синфазность опорного и измеряемого напряжений определяется по максимуму стандарт-сигнала, поступающего из СП.

Выходные сигналы каналов поступают с ФД на схему контроля СК блока управления, где разделяются на два потока. По каналам 1—4 сигналы возвращаются в БО, поступают на схему контроля напряжений КН и далее через разъем XS на фоторегистратор. По каналам 5—8 сигналы поступают на схему коммутации СК2, обеспечивающую работу специальных вычислителей отношений напряжений ОН1 и ОН2 и вычислителей обратных величин ОВ1 и ОВ2 в трех режимах. В режиме «X1—X8» сигналы без преобразования поступают на схему контроля КН и через разъем XS на фоторегистратор. В режиме «X1—X3, Y1» в вычислителе ОВ1 вырабатывается напряжение, обратно пропорциональное сигналу восьмого канала  $1/Y1$ ; и после его перемножения в ОН1 с сигналами пятого—седьмого каналов получают три напряжения, пропорциональных  $X1/Y1$ ,  $X2/Y1$ ,  $X3/Y1$ , которые по линиям 9—11 поступают на КН и XS. В режиме «X1, X2, Y1, Y2» в ОВ1 и ОВ2 вырабатываются напряжения, обратно пропорциональные сигналам 7- и 8-го каналов ( $1/Y2$  и  $1/Y1$ ). После перемножения в ОН2 этих сигналов с сигналами 6- и 5-го каналов соответственно получают выходные напря-

жения, пропорциональные  $X2/Y2$  и  $X1/Y1$ . Эти напряжения по линиям 9—10 поступают на схему контроля КН и разъем XS.

Для удобства работы с регистратором в БО предусмотрена схема компенсатора нулей СКН, обеспечивающая поступление на разъем XS по линиям 12—19 компенсирующих напряжений в диапазоне от — 10 до 10 мВ или от — 50 до 50 мВ в зависимости от выбранного режима работы.

### § 36. КОМПЛЕКСНЫЙ ПРИБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАРТАЖА Э1

Комплексный прибор Э1 (см. табл. 5) предназначен для проведения стандартного каротажа (КС, ПС), БКЗ и трехэлектродного БК в скважинах глубиной до 7000 м. Охранный кожух СП является одновременно измерительным зондом БК. Гибкий зонд с токовыми и измерительными электродами БКЗ размещен над СП; зонд оканчивается стандартной зондовой головкой. За три СПО прибор обеспечивает проведение измерений тех же групп зондов БКЗ и ПС, что и прибор КСП-2. Измерение зондом БК выполняется отдельной операцией; измерения резистивметром не предусмотрены. Пределы измерений КС — 0—5000 Ом·м.

При записи БКЗ схема (рис. 37) аналогична описанной для КСП-2. Ток питания частотой 300 Гц проходит через индуктивность  $L$ , первичные обмотки трансформаторов  $T7$  и  $T8$  блока питания БП, реле  $K1$ , калибровочный резистор  $R2$  и через плату переключателя  $S1.4$  поступает на токовый электрод  $A$ . Разности потенциалов с трех пар измерительных электродов  $M_1N_1—M_3N_3$  поступают на первичные обмотки трансформаторов  $T1—T3$ . В при-

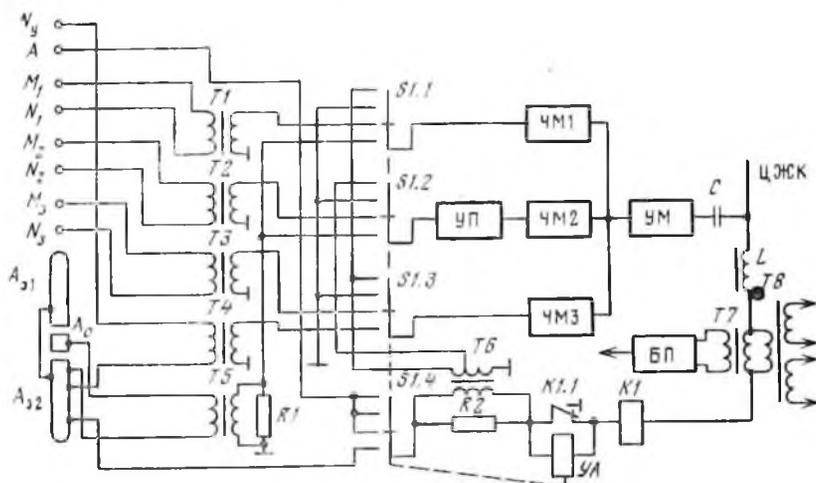


Рис. 37. Функциональная схема скважинного прибора Э1

боре имеются отдельные трансформаторы для каждого зонда, но на рис. 37 показаны только электроды и трансформаторы, принимающие участие в данном цикле измерения. Со вторичных обмоток  $T1—T3$  сигналы через платы  $S1.1—S1.3$  передаются в первом и третьем каналах непосредственно на модуляторы ЧМ1 и ЧМ3, а во втором — через предварительный усилитель УП. С модуляторов ЧМ сигналы поступают на усилитель мощности УМ и далее через конденсатор  $C$  по кабелю в блок управления Б2 (на рис. 37 не показан). Одновременно по гальваническому каналу связи (цепь питания) передаются потенциалы ПС.

В блоке управления Б2 с помощью фильтров высокой и низкой частот происходит разделение сигналов КС и ПС. Сигналы ПС поступают на регистратор лаборатории, а высокочастотные ЧМ-сигналы КС — в блок демодуляции Б1, где они разделяются по частотным каналам и преобразуются в напряжения постоянного тока, пропорциональные кажущимся сопротивлениям  $\rho_{к1}—\rho_{к3}$ . Работа блока Б1 аналогична описанной для пульта ИПЧМ-2А (см. § 35).

Калибровка теленмерительной схемы Э1 осуществляется стандарт- и нуль-сигналами. Стандарт-сигналы снимаются с резистора  $R2$  через трансформатор  $T6$ . Вторичная обмотка  $T6$  позволяет получить две пары сигналов. Первая пара используется для калибровки первого и третьего каналов ТИС; один из этих сигналов соответствует пределу измерения, а второй в 5 раз меньше. Вторая пара сигналов по амплитуде в 10 раз меньше первой и применяется для калибровки второго канала ТИС. В позиции нуль-сигнала, когда входные цепи ТИС замкнуты на общий минус схемы, производится установка нулевых уровней измерительных каналов.

Прибор Э4 является аналогом Э1 с более высокой термобаростойкостью (см. табл. 5). Прибор Э7 предназначен для исследования скважин малого диаметра и для работы через бурильный инструмент. С его помощью за две СПО проводятся исследования тремя зондами СК (А2, 0М0,5Н; N0,5М2,0А; N11,0М0,5А; ПС) и БК.

### § 37. РЕЗИСТИВИМЕТРЫ

Резистивиметр представляет собой зонд КС или индукционный зонд малых размеров, предназначенный для измерения удельного сопротивления (проводимости) ПЖ. В соответствии с назначением конструкция зонда должна обеспечить минимальное влияние металла СП и самого зонда на результаты измерений в породах, слагающих разрез скважины. Минерализация, температура и давление ПЖ не должны сказываться на коэффициенте электродной установки. Устранения этих влияний добиваются уменьшением размеров зонда, его удалением на большое расстояние от СП, применением объемного измерительного электрода, расположенного симметрично относительно токового, изготовлением электродов из металла (стали) с минимальным и стабильным контактным сопротивлением.

Рис. 38. Скважинный резистивметр много-электродного зонда

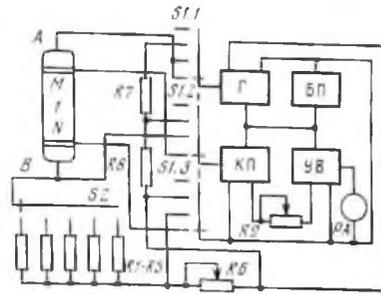
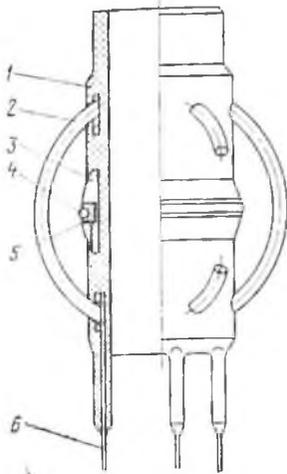


Рис. 39. Функциональная схема резистивметра ПР-1

Резистивметр зонда КСП (см. рис. 34). Содержит резиновый трубчатый корпус 1, в который запрессованы электроды 2—4 (рис. 38). В центре расположен токовый электрод 3 (А<sub>1</sub>), имеющий форму кольцевой пластины со сферической поверхностью. Электрод 4 (М) размещен внутри токового и отделен от него изоляционным вкладышем 5. Электрод N состоит из шести дужек 2, расположенных по сферической поверхности, концентричной А<sub>2</sub>. Выводы 6 электродов соединены с соответствующими зондовыми проводами.

Индукционные резистивметры ИК-36 и РИС-42. Состоят из генераторной и измерительной торондальных катушек, расположенных в кожухе из непроводящего материала непосредственно одна над другой. Внутри катушек проходит канал, свободно заполняющийся ПЖ через окна в кожухе. Генераторная катушка питается переменным током частотой 5 кГц, создающим во внутренней полости СП вихревые токи, пропорциональные удельной проводимости ПЖ. Эти токи индуцируют в измерительной катушке э. д. с., пропорциональную проводимости ПЖ и току через нее.

В отличие от гальванических индукционные резистивметры обеспечивают качественное измерение удельных сопротивлений ПЖ при наличии в ней нефти и газа.

Переносной резистивметр ПР-1 (рис. 39). Этот резистивметр является основным прибором для определения удельного сопротивления проб жидкости в полевых и лабораторных условиях. Измерительной установкой ПР-1 служит цилиндрический стакан 1, собранный из эбонитовых и латунных втулок. Токовые электроды А и В совмещены с дном и крышкой стакана; измерительные электроды М и N образованы латунными втулками. Для уменьшения влияния на результаты измерения э. д. с. поляризации выбран четырехэлектродный зонд. С этой же целью питание электродов

осуществляется переменным током частотой 400—600 Гц. Принцип измерения удельного сопротивления  $\rho_{ж}$  основан на измерении падения напряжения  $U$  при токе  $I$  на заключенном между электродами  $M$  и  $N$  столба жидкости

$$\rho_{ж} = U/IS, \quad (VI.4)$$

где  $l$  — расстояние между электродами  $M$  и  $N$  в см;  $S$  — поперечное сечение внутренней полости стакана в см<sup>2</sup>; отношение  $l/S$  составляет коэффициент  $K$  зонда, равный 155 м<sup>-1</sup> при заданных размерах стакана ( $l = 7$  см,  $S = 4,5$  см<sup>2</sup>).

Из (VI.4) следует, что при сохранении тока  $I$  постоянным  $\rho_{ж}$  будет пропорционально  $U$ , поэтому шкала прибора для измерения напряжения может быть проградуирована в Ом·м.

Токовые электроды  $A$  и  $B$  питаются от генератора  $\Gamma$  прямоугольных импульсов через переменный резистор  $R6$  и резисторы  $R1—R5$ , которые подключаются переключателем  $S2$  и определяют различные пределы измерения. Питание схемы прибора осуществляется от элемента БП напряжением 9 В. Измеряемое напряжение  $U$  с электродов  $M$  и  $N$  или калибровочных резисторов  $R7$  и  $R8$  через переключатель  $S1$  подается на катодный повторитель КП и далее через резистор  $R9$  на усилитель—выпрямитель УВ и измерительный микроамперметр  $PA$ . Катодный повторитель имеет высокое входное сопротивление для исключения влияния на результаты измерений контактных сопротивлений  $M$  и  $N$ . Усилитель и КП охвачены глубокой отрицательной связью для повышения стабильности работы.

Работа с резистивметром производится в следующей последовательности. Генератор  $\Gamma$  подключают к резисторам  $R7$  и  $R8$  и с помощью переменного резистора  $R9$  отклоняют стрелку  $PA$  на 0,7 шкалы. В следующем положении  $S1$  на электроды  $A$  и  $B$  подается питающее напряжение, а на вход КП с одного из резисторов  $R1—R5$  снимается напряжение, близкое к установленному ранее. Потенциометром  $R6$  выбирают такой ток питания, чтобы стрелка  $PA$  отклонилась точно на первоначальное положение. В нижнем положении  $S1$  на вход КП подается напряжение с электродов  $M$  и  $N$  и по шкале  $PA$  считывается значение  $\rho_{ж}$ .

*Определение коэффициента  $K$  зонда скважинных и поверхностных резистивметров.* Для определения коэффициента  $K$  резистивметра выполняют измерения тока  $I$  и разности потенциалов  $U$  в ПЖ с известным  $\rho_{ж}$ :

$$K = \rho_{ж} I/U. \quad (VI.5)$$

Для определения  $K$  скважинный резистивметр помещают в наполненный электролитом бак, высота которого в 1,5—2 раза больше длины СП, и производят измерения при разных  $I$  и  $U$ . Удельное сопротивление  $\rho_{ж}$  находят по данным измерений ПР-1. Для определения коэффициента зонда ПР-1 используют растворы хлористого натрия известной концентрации, удельное сопротивление которых определяется по специальным таблицам (номограммам).

## § 38. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИБОРОМ КСП-2 С ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ПУЛЬТОМ ИПЧМ-2А

Пульт ИПЧМ-2А устанавливают в стенд каротажной лаборатории АКС-7-02 (в остальных лабораториях его размещают на аппаратурном столе) и включают в измерительную схему лаборатории. Коллекторные концы СП подключают к гнездам ЦЖК и ОК на лицевой панели БУ. Скважинный прибор подсоединяют к кабелю и опускают в скважину так, чтобы все электроды находились в ПЖ. Затем последовательно производят включение и настройку аппаратуры, руководствуясь инструкцией по ее эксплуатации. Работа включает в себя следующие обязательные операции:

- а) включение в сеть пульта ИПЧМ-2А и подачу на СП питания переменным током;
- б) установку необходимого уровня опорного напряжения (45 делений по индикатору *РА1* на лицевой панели пульта);
- в) проверку исправности схемы коммутации зондов СП путем многократного переключения скважинного переключателя зондов;
- г) проверку уровня несущих частот и компенсацию кабеля в блоке обработки БО;
- д) регулировку фазы опорного напряжения измерительных каналов пульта по стрелочному индикатору;
- е) установку масштабов записи кривых КС и ПС;
- ж) калибровку аппаратуры по стандарт- и нуль-сигналу.

После указанных операций СП опускают на интервал исследования, переключают прибор на измерение требуемыми зондами и при подъеме кабеля со скоростью 0,7 м/с производят регистрацию кривых КС и ПС. Через каждые 200—300 м ствола и в конце записи фиксируют положения нулей и стандарт-сигналов.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Требования, предъявляемые к конструкции СП; функции, выполняемые герметичным и компенсированным кожухам.
2. Устройство многоэлектродного зонда ЭК.
3. Функциональные схемы скважинных приборов КСП-2 и Э1.
4. Схема разделения высокочастотных сигналов и сигналов ПС в блоке управления ИПЧМ-2А.
5. Последовательность обработки сигналов в канале регистрации КС.
6. Устройство скважинного резистивметра.

## Глава VII

### АППАРАТУРА ИНДУКЦИОННОГО, ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И ЯДЕРНО-МАГНИТНОГО КАРОТАЖЕЙ

#### § 39. НАЗНАЧЕНИЕ АППАРАТУРЫ

Индукционный (ИК), диэлектрический (ДК) и ядерно-магнитный (ЯМК) каротажи входят в группу электромагнитных видов ГИС, в которых измеряются характеристики искусственно созданных в пластах переменных электромагнитных полей, связанных с электрическими и магнитными свойствами пород.

Индукционный каротаж предназначен для изучения удельной электропроводности  $\gamma$  пород и основан на измерении напряженности переменного магнитного поля вихревых токов, вызванных в породах первичным полем СП частотой в несколько десятков килогерц. Измеряемые значения кажущейся проводимости  $\gamma_k$  связаны с  $\rho_k$  пород зависимостью

$$\gamma_k = \rho_k^{-1} = E_n / K, \quad (\text{VII.1})$$

где  $E_n$  — э. д. с., наводимая вихревыми токами в измерительной катушке СП;  $K$  — коэффициент зонда.

Из (VII.1) следует, что высокие и легко измеряемые значения  $\gamma_k$  соответствуют низкоомным породам, исследование которых обычными зондами ЭК затруднено. Поэтому основным назначением ИК является изучение пород с малым удельным сопротивлением (преимущественно терригенных), вскрытых на пресных ПЖ. Одновременно ИК — единственный вид ЭК, который применяется в скважинах, пробуренных на непроводящих (например, на нефтяной основе) или пенных ПЖ и с продувкой забоя воздухом. На долю ИК приходится 3—4 % общего объема ГИС.

Широкая область применения ИК обусловлена разнообразием СП (см. табл. 5). Основные из них — АИК-4, ПИК-1М и БИК-2 — эксплуатируются в скважинах глубиной до 5000 м; ЭЗМ, ЭБ, Э12, работоспособны при длине кабеля до 7000 м. Для всех СП диапазоны измерения  $\gamma_k$  составляют 10—2000 мСм/м, что соответствует изменению  $\rho_k$  от 0,5 до 100 Ом·м; относительная погрешность измерений  $\pm (5 + 0,2 \gamma_{\text{пред}}/\gamma_k) \%$ , где  $\gamma_{\text{пред}}$  — верхний предел измерений;  $\gamma_k$  — измеряемая величина проводимости.

Диэлектрический каротаж служит для определения диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  пород. Известны две модификации ДК, различающиеся принципами построения измерительных зондов: диэлектрический емкостной каротаж, в котором в качестве излучающего и приемного элементов использован конденсатор, и диэлектрический индуктивный каротаж, зонд которого составлен магнитными диполями (катушками). К последней модификации относится и волновой диэлектрический каротаж (ВДК), отличающийся от индуктивного не принципом построения зонда, а регистрируемыми параметрами. ВДК основан на генерировании высокочастотного поля и регистрации разности фаз колебаний, наведенных в двух приемных катушках магнитной компонентой вторичного поля, созданного токами смещения в породе. Частота поля (43 МГц) выбрана такой, чтобы плотность токов смещения, обусловленных поляризуемостью пород, становилась сравнимой с плотностью токов проводимости. Аппаратура применяется для исследования пластов, в которых  $\rho_n > 5$  Ом·м. При меньших значениях  $\rho_n$  результаты измерения практически полностью определяются  $\rho_n$  и незначительно  $\epsilon$ . Скважинный прибор работает с кабелем длиной до 6000 м при гидростатическом давлении до 20 МПа и температуре до 70 °С.

Ядерно-магнитный каротаж основан на измерении ядерной намагниченности пород (в основном ядер водорода, входящих в пластовые флюиды — воду, нефть, газ), возникающей под действием периодически накладываемого постоянного магнитного поля, напряженность которого превышает напряженность поля Земли. Для выполнения ЯМК выпускается аппаратура АЯМК-1, состоящая из СП и наземного пульта. Скважинный прибор диаметром 130 мм и длиной 3,6 м работоспособен при давлении до 60 МПа и температуре 100 °С с кабелем длиной до 4300 м. Поскольку по кривым ЯМК в разрезе выделяются коллекторы, содержащие свободно перемещающиеся флюиды, а показания против неколлекторов равны фоновым, аппаратура применяется для изучения сложнопостроенных коллекторов, выделение которых по комплексу ГИС затруднено. Во время исследований скважина должна быть заполнена высококачественной глинистой ПЖ, чтобы подавить сигнал от жидкости в стволе скважины. Добавки в ПЖ нефтепродуктов и магнитных материалов (гематит, магнетит) искажают результаты измерений.

#### § 40. ПРИБОР ИНДУКЦИОННОГО КАРОТАЖА АИК-4

В скважинный прибор АИК-4 входят измерительный зонд (рис. 40), защищенный компенсированным кожухом, и герметичный электронный блок, заканчивающийся стандартной приборной головкой. Измерительный восьмикатушечный зонд 8И1,4 имеет смешанную фокусировку, при которой фокусирующие катушки расположены частично между главными генераторной КГ и измерительной КИ катушками, а частично над ними. Расстояние  $l$  между главными катушками 1,4 м, оно определяет коэффициент  $K$  зонда:

$$K = 16\pi^2 f^2 I_0 S_r S_n n_r n_n / l, \quad (\text{VII.2})$$

где  $f$  и  $I_0$  — соответственно частота и амплитуда тока, проходящего по генераторной катушке;  $S_r$  и  $S_n$  — площади витков генераторной и измерительной катушек;  $n_r$  и  $n_n$  — число витков катушек.

Катушки внешней фокусировки ФГ3, ФГ2 и ФИ2 определяют вертикальную характеристику зонда; с их помощью уменьшается влияние вмещающих пород па результаты измерений. Катушки ФГ1, ФИ1 и К обеспечивают внутреннюю фокусировку и предназначены для уменьшения влияния скважины и зоны проникновения. Для уменьшения емкостных наводок катушки ФГ2, ФИ2, КИ, К и КГ выполнены двухсекционными. Главная генераторная КГ и фокусирующие генераторные ФГ1—ФГ3 и К катушки включены последовательно и образуют линию питания; измерительная линия зонда составлена главной измерительной КИ и фокусирующей ФИ1, ФИ2 катушками. Рядом с главной измерительной намотана катушка СС стандарт-сигнала. Все катушки электростатически экранированы и размещены в специальных проточках на стеклопластиковом стержне 2, который сверху соединен со свечным

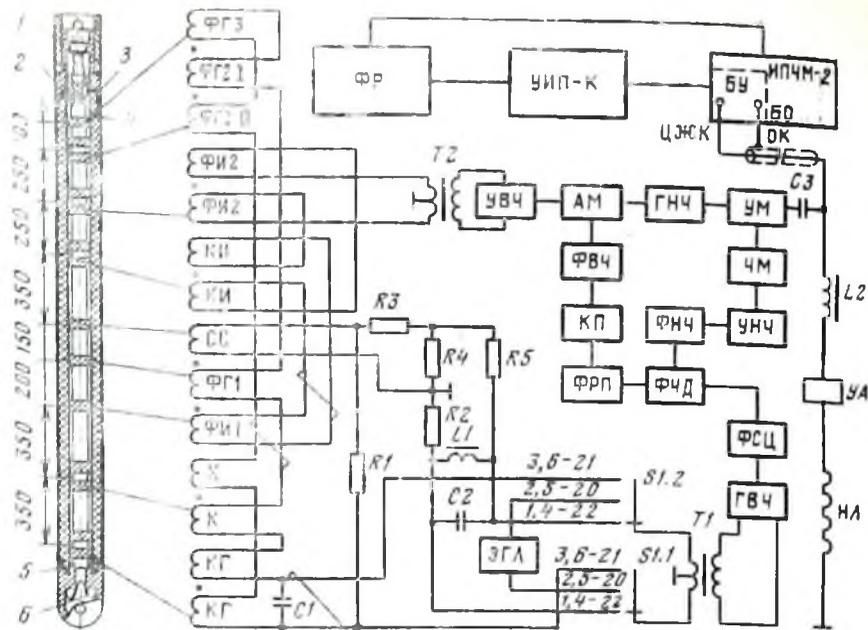


Рис. 40. Функциональная схема скважинного прибора АИК-1

мостом 1. Внизу зонда в герметичном металлическом контейнере 5 размещен подстроечный конденсатор  $C1$  генераторной линии. Для предотвращения шунтирования электромагнитного поля кожух зонда выполнен из стеклопластиковой трубы 3, защищенной снаружи от повреждений и насыщения ПЖ слоем резины 4. Внутри кожух заполнен кремнийорганической жидкостью ПЭС-4, давление которой уравнивается с гидростатическим компенсатором 6.

Питание СП осуществляется постоянным током. Конденсатор  $C3$  и дроссель  $L2$  служат для разделения питающей цепи постоянного и информационной цепи переменного тока. В цепь постоянного тока последовательно включены электромагнит  $УА$ , вызывающий перевод переключателя  $S1$  в новое положение при кратковременном отключении тока питания, и накалы ламп НЛ. Генераторная линия питается током частотой 20 кГц от генератора высокой частоты ГВЧ через трансформатор  $T1$ , обеспечивающий симметричное питание линии, и переключатель  $S1.1$ . Подстройка линии на частоту 20 кГц осуществляется конденсатором  $C1$ .

Входной сигнал с измерительной линии поступает на симметричную обмотку трансформатора  $T2$ , а с его выхода — на усилитель высокой частоты УВЧ. Усиленный сигнал подается на амплитудный модулятор АМ, управляемый от генератора низкой частоты

ГНЧ 300 Гц. В один из полупериодов управляющего напряжения сигнал УВЧ замыкается на корпус, а во второй полупериод полностью проходит на катодный повторитель КП. Перед КП стоит RC-фильтр верхних частот ФВЧ, не пропускающий на его вход напряжение 300 Гц, просачивающееся через АМ. С катодного повторителя через LC-фильтр ФРП внешних радиопомех сигнал поступает на вход фазочувствительного детектора ФЧД. Опорное напряжение частотой 20 кГц подводится к ФЧД через фазосдвигающую цепочку ФСЦ, с помощью которой по стандарт-сигналам подстраивается фаза опорного напряжения. На выходе ФЧД стоит фильтр низкой частоты ФНЧ, представляющий собой интегрирующую RC-цепочку, емкость которой заряжается за время прохождения высокочастотного сигнала и разряжается, когда на выходе АМ сигнал равен нулю. Так как это происходит с периодичностью 300 Гц, на выходе ФНЧ появляется низкочастотная составляющая с частотой 300 Гц и амплитудой, пропорциональной амплитуде информационного сигнала. Такое преобразование необходимо для применения на последующих стадиях обработки стандартных ТИС и наземных блоков. Сигналы с выхода ФНЧ усиливаются усилителем низкой частоты УНЧ, преобразуются в ЧМ-сигналы блоком частотной модуляции ЧМ с несущей частотой 14 кГц и после усиления по мощности усилителем УМ поступают через разделительный конденсатор СЗ на ЦЖК. Через УМ от генератора ГНЧ на кабель поступает также опорное напряжение частотой 300 Гц.

Наземная часть аппаратуры включает пульт ИПЧМ-2А со штатным БУ, УИП-К и регистратор ФР лаборатории. Информационные сигналы поступают по кабелю в БУ, где высокочастотный ЧМ-сигнал и опорное напряжение выделяются соответствующими фильтрами (см. § 35) и преобразуются в постоянное напряжение, пропорциональное наведенной в измерительной катушке э. д. с. Постоянное напряжение подается на ФР для записи  $\gamma_k$ .

Скважинный прибор работает в трех режимах: измерение, нуль-сигнал, стандарт-сигнал. В режиме нуль-сигнала (позиции 2; 5—20 переключателя S1) ГВЧ включен на эквивалент генераторной линии ЭГЛ, на входной обмотке T2 отсутствует сигнал от окружающей среды, а на выходе ИПЧМ-2А регистрируются нулевые значения ИК. В режиме стандарт-сигнала (позиции 1; 4—22 переключателя S1) ГВЧ подключен к эквиваленту, составленному цепочкой L1C2 и делителем R2, R4, R5. С резистора R4 часть напряжения генератора через R3 подается на катушку стандарт-сигнала СС. Катушка СС и главная измерительная катушка КИ образуют двухкатушечный зонд. Влияние проводимости окружающей среды на стандарт-сигнал незначительно из-за небольшой длины (0,35 м) этого зонда. В режиме измерения (позиции 3; 6—21) ГВЧ подключается к генераторной линии и через резистор R1 к катушке стандарт-сигнала СС, чтобы скомпенсировать начальный сигнал, наводимый в измерительных катушках зонда генераторными катушками. При таком подключении входной сигнал на трансформаторе T2 соответствует кажущейся проводимости пород.

Скважинный прибор комплектуется тест-имитатором, представляющим собой диск из немагнитного и непроводящего материала, на котором закреплены два витка медного провода диаметром 1 мм. Последовательно с витками включен конденсатор для компенсации индуктивности витков теста-имитатора и ряд резисторов, соответствующих заданным значениям эквивалентной проводимости. При калибровке СП тест-имитатор надевается на индукционный зонд перпендикулярно к его оси.

#### **§ 41. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ С АППАРАТУРОЙ АИК-4**

На скважине устанавливают каротажную лабораторию и подъемник в соответствии с инструкцией на производство ГИС и подключают коллекторные концы СП к клеммам ЦЖК и ОК на лицевой панели ИПЧМ-2А. Скважинный прибор размещают на подставках, предварительно надев тест-имитатор на индукционный зонд, который должен находиться на расстоянии не менее 3 м от массивных металлических предметов. После этого производят включение и настройку аппаратуры согласно инструкции по ее эксплуатации. Очередность операций:

- а) включают в сеть пульт ИПЧМ-2А и подают на СП питание постоянным током (см. § 35);
- б) выставляют уровень опорного напряжения;
- в) по тесту-имитатору устанавливают масштаб записи, равный  $10 \text{ мСм}^2/(\text{м} \cdot \text{см})$ ;
- г) записывают на диаграмме нуль-сигнал ИК;
- д) устанавливают переключатель рода работ СП в позицию стандарт-сигнал и регистрируют его положение;
- е) устанавливают переключатель рода работ СП в позицию измерение и записывают положение линии «нуль в воздухе»;
- ж) снимают питающее напряжение с СП и, удалив тест-имитатор, опускают СП в интервал исследования. После повторного включения СП снова записывают нуль- и стандарт-сигналы и производят запись кривой ИК при подъеме СП со скоростью 0,3 м/с;
- з) в процессе записи на диаграмме отмечают положение нуль- и стандарт-сигналов через каждые 200—300 м ствола; после подъема СП на поверхность на диаграмме записывают те же величины, что и перед спуском в скважину.

#### **§ 42. КОМПЛЕКСНЫЙ ПРИБОР ЭЗМ**

Комплексный прибор ЭЗМ предназначен для одновременного измерения кажущейся проводимости пород шестикатушечным индукционным зондом БЭИ, электрического сопротивления потенциал-зондом А01М1,5N, а также потенциала ПС. Прибор состоит из зондовой установки и герметичного электронного блока. Зондовая установка содержит (рис. 41) зонд ИК и потенциал-зонд, защищенные от воздействия ПЖ тепло- и нефтестойкой резиновой оболочкой.

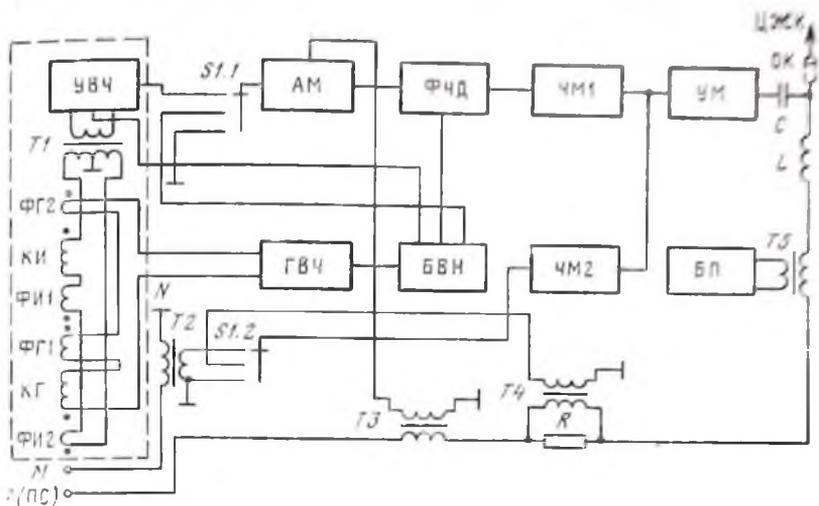


Рис. 41. Функциональная схема комплексного прибора ЭЗМ

Токовый электрод  $A$  потенциал-зонда питается с поверхности переменным напряжением частотой 300 Гц через индуктивность  $L$ , первичную обмотку трансформатора  $T5$  блока питания БП, калибровочный резистор  $R$  и первичную обмотку  $T3$ . Далее через породу ток поступает на оплетку кабеля ОК. Разность потенциалов между электродами  $M$  и  $N$ , пропорциональная  $\rho_k$ , подается на вход стандартного частотного модулятора ЧМ2 через трансформатор  $T2$  и плату переключателя зондов.

Генераторная линия (катушки КГ, ФГ1 и ФГ2) зонда ИК питается переменным током частотой 20 кГц от внутреннего генератора высокой частоты ГВЧ. Магнитное поле, созданное генераторными катушками, индуцирует в породе вихревые токи. Последние, в свою очередь, создают вторичное магнитное поле, которое возбуждает э. д. с. в измерительной линии, составленной катушками КИ, ФИ1 и ФИ2. Наведенная э. д. с. через трансформатор  $T1$  поступает на вход высококачественного усилителя УВЧ и далее через плату переключателя  $S1.1$  на вход амплитудного модулятора АМ, управляемого напряжением частотой 300 Гц с трансформатора  $T3$ . Сигнал, промодулированный по амплитуде напряжением 300 Гц, поступает на вход фазочувствительного детектора ФЧД, где из него выделяется напряжение частотой 300 Гц, пропорциональное активной составляющей э. д. с., наведенной в измерительной линии. Опорное напряжение ФЧД снимается с блока вспомогательных напряжений БВН. С выхода ФЧД информационный сигнал поступает на стандартный частотный модулятор ЧМ1.

С выходов модуляторов ЧМ1 и ЧМ2 информационные сигналы ИК и КС идут на усилитель мощности УМ и через разделительный конденсатор  $C$  в жилу кабеля ЦЖК. Переключатель  $S1$  позволяет

выбирать необходимый диапазон измерений в канале и калибровать каналы по стандарт- и нуль-сигналам. Стандарт-сигнал в каналах потенциал-зонда снимается с резистора  $R$  и с помощью трансформатора  $T4$  через плату  $S1.2$  подается на вход модулятора ЧМ2. Стандарт-сигналы канала ИК из блока вспомогательных напряжений через плату  $S1.1$  поступают на вход ЧМ1. Кроме того, из БВН на вход УВЧ подаются различной величины активные и реактивные сигналы, необходимые для компенсации нулевого уровня зонда ИК в непроводящей и немагнитной среде (воздухе).

Потенциал ПС поступает на поверхность с электрода  $A$  по гальваническому каналу связи ( $T3$ ,  $R$ ,  $T5$ , ЦЖК).

#### § 43. АППАРАТУРА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАРОТАЖА АДК-1

Аппаратура АДК-1 состоит из СП и блока управления БУ, работающих в комплекте с пультом ИПЧМ-2А, блоком питания УИП-К и генератором УГ-1 (рис. 42). Постоянный ток (от УИП-К) используется для питания анодных цепей и накалов части ламп СП; переменный ток частотой 300 Гц — для питания другой части ламп и модуляции измерительных сигналов. Постоянное и переменное напряжения разделяются в СП фильтрами Ф3 и Ф2; дроссель  $L1$  защищает высокочастотные ЧМ-сигналы от шунтирования низкоомными цепями питания.

Конструктивно СП выполнен в виде двух блоков: электронного 1 и зондового 3, соединенных мостом 2 и герметизированных резиновыми кольцами 7. Измерительный зонд содержит одну генераторную ГК и две приемные ПК1 и ПК2 катушки. Длина зонда определяется расстоянием между генераторной и ближней приемной катушками и равна 0,75 м; база зонда (расстояние между ПК1 и ПК2) — 0,25 м. Катушки представляют собой маловитковые контуры, закрепленные на стеклотекстолитовом стержне 4. Внутреннее пространство зонда заполнено воздухом под атмосферным давлением, что ограничивает эксплуатационные возможности СП. Наружная поверхность зонда 3 покрыта слоем резины 6 для предотвращения впитывания ПЖ стеклопластиком. Дестабилизирующее влияние на работу СП оказывают изменение температуры и емкостные и индуктивные связи между узлами схемы. Для их уменьшения катушки зонда и элементы схемы экранированы. С этой же целью задающий генератор 5, питающий генераторную катушку ГК, размещен рядом с ней в нижней части зонда.

Генераторная катушка возбуждает в породе высокочастотное электромагнитное поле, под действием магнитной компоненты которого в приемных катушках индуцируются э. д. с., пропорциональные напряженности этой компоненты. Измеряемой величиной является разность фаз  $\Delta\varphi$  (строго говоря,  $\cos \Delta\varphi$ ) этой напряженности на базе зонда, пропорциональная диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ . Аппаратура позволяет измерять  $\cos \Delta\varphi$  в диапазоне изменения  $\Delta\varphi$  от 0 до 360°.

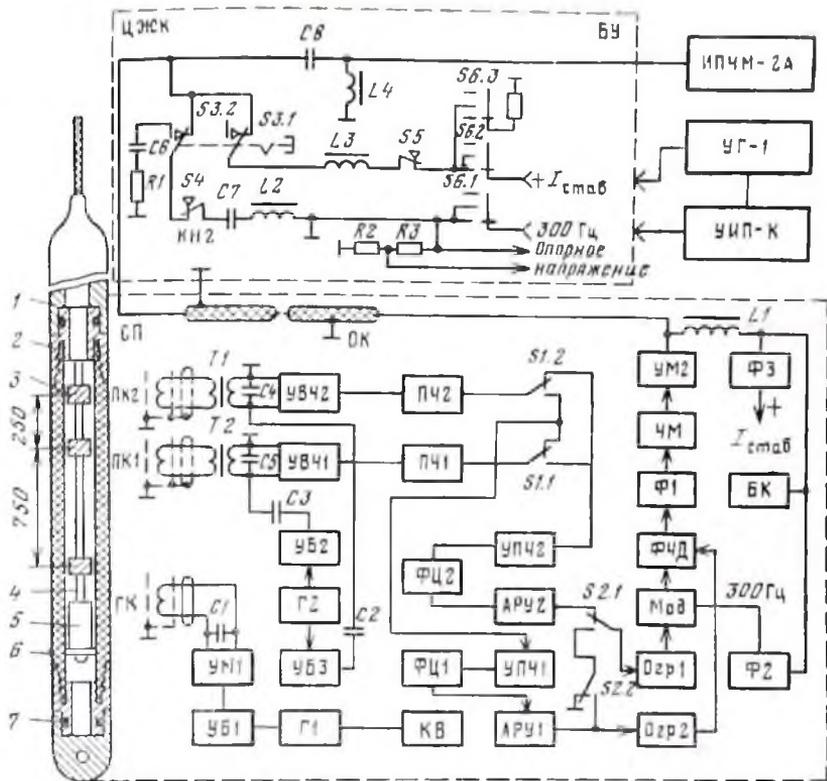


Рис. 42. Функциональная схема аппаратуры АДК-1

Генераторная катушка ГК питается напряжением частотой 43,035 МГц ( $f_1$ ) от задающего генератора Г1, стабилизированного кварцевым резонатором КВ частотой 13,345 МГц. Генерируемое напряжение усиливается буферным усилителем УБ1, усилителем мощности УМ1 и поступает на резонансный контур, образованный генераторной катушкой ГК и конденсатором С1. Резонансный контур настраивается на третью гармонику резонатора.

Э. д. с., наведенные в катушках ПК1 и ПК2 через входные трансформаторы Т1 и Т2 подаются на усилители высокой частоты УВЧ1 и УВЧ2 измерительной схемы. Сюда же через буферные усилители УБ2 и УБ3 и конденсаторы С2 и С3 от гетеродина Г2, выполненного по схеме, аналогичной схеме Г1, подаются сигналы с частотой  $f_2 = 14$  МГц, которая отличается от частоты резонатора КВ на 0,46 %. Резонансные контуры, образованные вторичными обмотками Т1 и Т2 и конденсаторами С4 и С5, настроены на частоту  $f_1$  входного сигнала и поэтому выделяют из сигнала гетеродина Г2 третью гармонику  $3f_2$ , что уменьшает взаимное влияние и облегчает развязку схем усиления, преобразования и генерирования на высоких частотах. Напряжения с частотами  $f_1$  и  $3f_2$  усиливаются уси-

лителями УВЧ1 и УВЧ2 и поступают на преобразователи частоты ПЧ1 и ПЧ2, на выходах которых с помощью параллельных контуров выделяется промежуточная частота

$$f_3 = 3f_2 - f_1. \quad (\text{VII.3})$$

Напряжения частоты  $f_3$  усиливаются усилителями УПЧ1 и УПЧ2 и проходят фазосдвигающие цепочки ФЦ1 и ФЦ2, усилители с автоматической регулировкой усиления АРУ1 и АРУ2 и ограничители амплитуд Огр1 и Огр2. Цепочками ФЦ1 и ФЦ2 устанавливается начальное значение фазового сдвига между сигналами обоих каналов, а усилители АРУ1 и АРУ2 обеспечивают устойчивую работу ограничителей в широком диапазоне изменения сигналов.

Для получения напряжения, пропорционального разности фаз входных сигналов, применен фазочастотный детектор ФЧД, на один из входов которого сигналы подаются непосредственно с Огр2, а на второй — с Огр1 через модулятор Мод, в котором сигналы первого канала модулируются по амплитуде питающим напряжением 300 Гц. С помощью ФЧД осуществляется перемножение сигналов и выделение низкочастотной (300 Гц) составляющей, амплитуда которой пропорциональна  $\cos \Delta\varphi$  сигналов. Выходное напряжение ФЧД, представляющее собой результирующий сигнал, проходит через RC-фильтр Ф1 на стандартный частотный модулятор ЧМ (14 кГц) и через усилитель мощности УМ2 поступает в ЦЖК.

В блоке управления ЧМ-сигналы отфильтровываются фильтром С8, L1 от питающих напряжений и подаются в блок обработки ИПЧМ-2А. В этот же блок подается опорное напряжение с резисторов R3 и R2. Питание СП стабилизированным током от УИП-К осуществляется через платы переключателей S6.2, S5 и S3.1, а напряжением 300 Гц — от УГ-1 — через платы S6.1, S4 и S3.2. Дроссели L2 и L3 предотвращают шунтирование ЧМ-сигналов низкоомными входами источников питания, а конденсатор С7 не пропускает постоянную составляющую на вход УГ-1. Цепочка С6, R1 при нажатом переключателе S3 является эквивалентом кабеля для УГ-1.

Аппаратура АДК-1 работает в трех режимах, в которых соответственно измеряют углы  $\alpha_1$  («Работа I»),  $\alpha_2$  («Работа II») и стандарт-сигнал. Углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  связаны с  $\Delta\varphi$  соотношениями:

$$\alpha_1 = \Delta\theta + \Delta\varphi; \quad \alpha_2 = \Delta\theta - \Delta\varphi, \quad (\text{VII.4})$$

где  $\Delta\theta$  — дополнительная разность фаз, обусловленная неидентичностью каналов и постоянная для данного СП.

Переключение режимов работы в СП производится блоком коммутации БК, управляемым с БУ переключателями S3—S5. В режиме «Работа I» (S3) преобразователи частоты ПЧ1 и ПЧ2 соединены с одноименными усилителями УПЧ1 и УПЧ2. В режиме «Работа II» (S5) соединены между собой разноименные преобразователи и усилители. Эти два режима позволяют выявить разности фаз на входных ФЧД, не связанные с информационными сигналами.

лами, а обусловленные неидентичностью каналов. В одном из режимов [см. (VII.4)], устанавливаемых экспериментально,  $\Delta\varphi$  и  $\Delta\theta$  изменяются с одинаковыми знаками, в другом — с противоположными. В режиме с одинаковым изменением знаков производится измерение  $\cos \alpha_1$ , в режиме с противоположным изменением знаков определяется четверть, в которой расположен угол  $\Delta\varphi$ , так как  $\cos \alpha = \cos (-\alpha)$ . В режиме «стандарт-сигнал» (S4) переключателем S2 на входы Огр1 и Огр2 подаются одни и те же сигналы, поступающие с ПК1: фазовый сдвиг на входах ФЧД становится равным нулю, а выходной сигнал ФЧД максимален.

#### § 44. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ С АППАРАТУРОЙ АДК-1

При подготовке аппаратуры к работе специальными шнурами соединяют БУ аппаратуры с пультом ИПЧМ-2А; подсоединяют коллекторные концы подъемника к клеммам ЦЖК и ОК на лицевой панели БУ; подсоединяют СП к кабелю; протирают насухо его зондовую часть и укладывают на стойки на расстоянии не менее 3 м от металлических предметов. Затем согласно инструкции по эксплуатации аппаратуры выполняют операции по калибровке зонда и проведению измерений:

а) устанавливают при нулевом сигнале блик гальванометра на середину шкалы фоторегистратора;

б) выбирают полярность подключения пульта ИПЧМ-2А к регистратору такой, чтобы отклонение блика вправо от нулевого положения составило половину шкалы, и записывают значение стандарт-сигнала; затем, изменив полярность подключения пульта, записывают значение стандарт-сигнала при отклонении блика влево;

в) переводят схему СП в режим основного измерения и записывают на левой половине шкалы «сигнал 1 в воздухе»;

г) переводят схему СП во вспомогательный режим измерения и отмечают на диаграмме «сигнал 2 в воздухе», который должен примерно совпадать со стандарт-сигналом.

В результате выполненных операций получают линейную шкалу для записи  $\cos \alpha$ . Левая и правая отметки стандарт-сигнала соответствуют значениям  $\cos \alpha = 1$  и  $\cos \alpha = -1$ , нулевое положение —  $\cos \alpha = 0$ ;

д) опускают СП в скважину, записывают стандарт-сигнал, а затем при подъеме СП со скоростью 0,3 м/с регистрируют кривую  $\cos \alpha_1$  в режиме «Работа I». Если имеются участки, на которых отклонение кривой влево превысило 0,75 максимального значения стандарт-сигнала, против них выполняют запись во вспомогательном режиме «Работа II». После измерения вторично записывают стандарт-сигнал, а по извлечении СП из скважины повторяют операции по калибровке.

Аппаратурой АЯМК-1 измеряются затухающие во времени сигналы свободной прецессии (ССП), которые возникают при снятии искусственно созданного поляризующего поля вследствие изменения пространственной ориентации ядер водорода, находящихся в пластовых флюидах. Поляризующее поле, напряженность  $H_p$  которого превышает напряженность  $H_0$  магнитного поля Земли, снимают ступенчато (рис. 43, а). Быстрое снятие поля неосуществимо из-за образования в индуктивностях скважинного прибора э. д. с. самоиндукции, длительность переходных процессов которой превышает время  $T_1$  возвращения ядер в положение равновесия. По истечении времени поляризации  $t_p$  напряженность  $H_p$  уменьшают до остаточной  $H_{oc}$ , превышающей  $H_0$  поля Земли в 5—10 раз. Спустя промежуток времени  $t_{oc}$ , который больше длительности переходных процессов, но меньше  $T_1$ , поляризующее поле снимают полностью. За время  $t_{oc}$ , определяемое из условия  $t_{oc} \ll \mu/P H_{oc}$  (где  $\mu$  магнитный, а  $P$  — механический момент ядер водорода), ядерная намагниченность породы изменяется незначительно (рис. 43, б). Полное снятие поля вызывает прецессию ядер в магнитном поле Земли, вследствие чего в измерительной катушке СП индуцируется э. д. с. с частотой  $\omega_0$  (рис. 43, в). Напряжение  $E_0$  и частота  $\omega_0$  вызванной э. д. с. пропорциональны  $H_0$  и отношению  $\mu/P$ . Из-за инерционности приемных схем прибора измеряемая э. д. с. имеет вид медленно изменяющегося сигнала, который, достигнув максимума, уменьшается по экспоненте (рис. 43, г).

Основными величинами, которые определяются при ЯМК, являются начальное значение  $U_0$  ССП (см. рис. 43, г) и времена продольной релаксации  $T_{1c}$  и  $T_{1cl}$  в сильном  $H_p$  и слабом  $H_{oc}$  магнитных полях. Величина  $U_0$  восстанавливается в наземной схеме по значениям  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_3$ , измеренным через промежутки времени  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$  после временного интервала  $\tau$ :

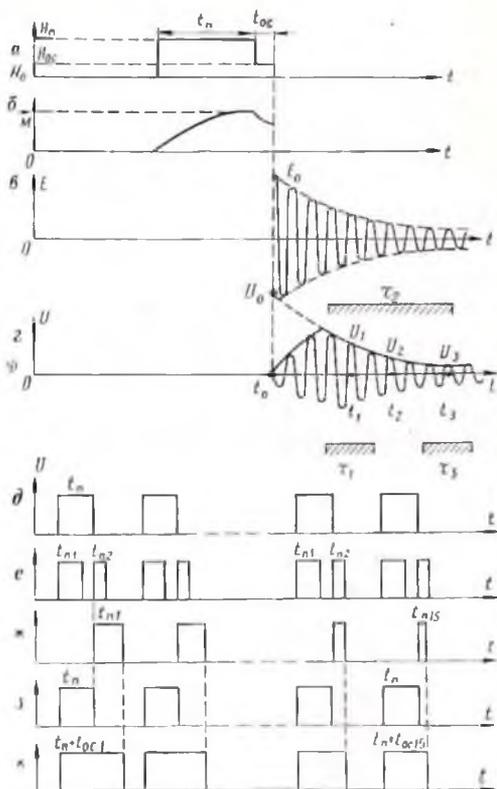
$$U_0 = U_1^\alpha / U_3^\beta, \quad (\text{VII.5})$$

где  $\alpha = t_3/(t_3 - t_1)$ ;  $\beta = t_1/(t_3 - t_1)$ .

Значения  $T_{1c}$  и  $T_{1cl}$  рассчитываются по специальным палеткам, отображающим зависимость текущих величин  $U_{oi}$  от  $t_{pi}$  и  $t_{oc}$ . Для измерения  $T_{1c}$  последовательно от цикла к циклу изменяют время поляризации  $t_{pi}$  при постоянном  $t_{oc}$  (рис. 43, д). Начальная амплитуда ССП  $U_{oi}$  зависит при этом только от  $t_{pi}$  и  $T_{1c}$ . Для измерения  $T_{1cl}$  изменяют  $t_{oc}$  при постоянном  $t_{pi}$  (рис. 43, з и к); амплитуды ССП уменьшаются при этом пропорционально  $t_{oc}$ .

*Скважинный прибор* (рис. 44). Прибор состоит из двух цилиндров, соединенных свечным мостом с уплотнительными резиновыми кольцами. Верхний цилиндр 1 вмещает электронную схему СП и выполнен из дюралюминиевого сплава. В нижнем стеклотекстолитовом цилиндре 2 размещены измерительная КИ и контрольная КК катушки зонда. Измерительная катушка длиной 0,72 м в течение одного цикла работы аппаратуры попеременно служит для

Рис. 43. Временные диаграммы работы аппаратуры АЯМК-1



создания поляризующего поля и восприятия ССП. Пространство вокруг катушки заполнено безводородной фтороорганической жидкостью. Контрольная катушка КК длиной 0,34 м помещена в заполненную соляровым маслом полость для создания необходимого контрольного сигнала. В нижней части цилиндра 2 расположен компенсатор 3 внешнего давления. Для предотвращения впитывания ПЖ стеклотекстолитовый цилиндр покрыт слоем 4 маслобензостойкой резины.

Электронная схема СП содержит усилитель У1, коммутатор Ком и схему Упр управления коммутатором.

*Наземный пульт НП.* Обеспечивает работу аппаратуры в четырех режимах: 1) «каротаж 1», при котором измеряются амплитуды ССП при фиксированном времени  $t_n$ ; 2) «каротаж 2» — обзорное определение  $T_1$  при двух поочередно меняющихся временах поляризации; 3) определение  $T_{1c}$  в сильном поле; 4) определение  $T_{1cл}$  в слабом поле.

В режиме «каротаж 1» (положение 1 переключателя S2) прямоугольные импульсы (см. рис. 43, д), вырабатываемые генератором

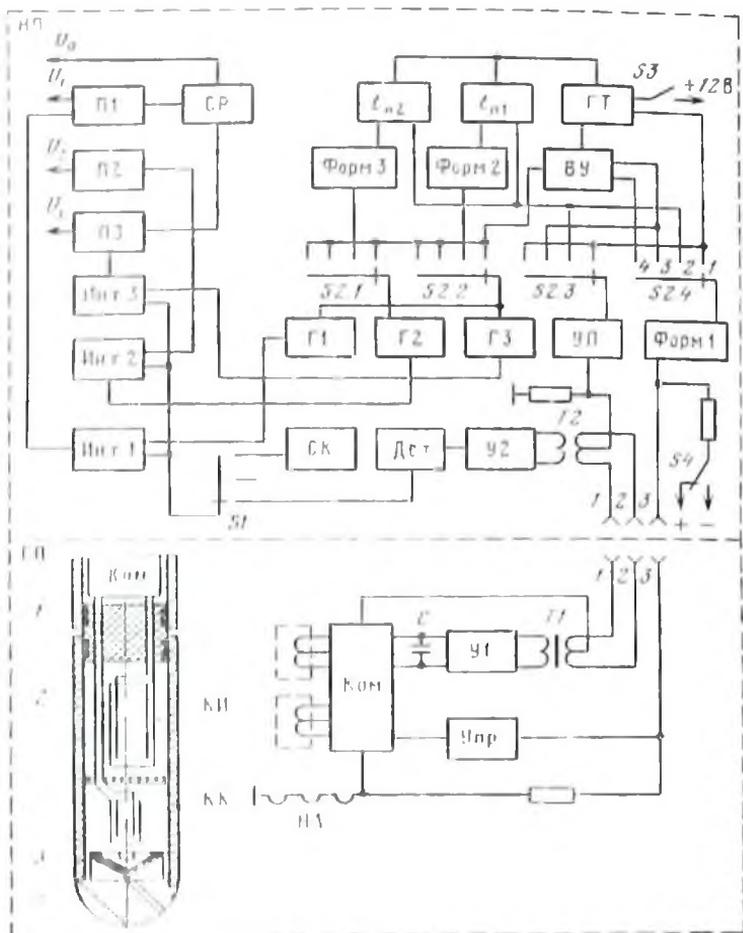


Рис. 41. Функциональная схема аппаратуры АСМК-1

сигналов импульсов ГТ, через плату  $S2.3$  и усилитель УП поступает на средний вывод трансформатора  $T2$ . Пройдя по первой и второй жилам кабеля к СП, среднему выводу трансформатора  $T1$  и коммутатору Ком, они возбуждают катушку КН. По окончании  $t_0$  через КН протекает в 10 раз меньший остаточный ток от цепи накала лампы ПЛ. По истечении времени  $t_{ос}$ , задаваемого формирователем Форм 1, по третьей жиле кабеля в СП подается команда на схему управления Упр коммутатором Ком. Последний отключает катушку КН от ПЛ и подключает ее к усилителю У1, замыкая среднюю точку  $T1$  на корпус для образования симметричной линии связи. Конденсатор  $C$  обеспечивает настройку КН на частоту прецессии ядер водорода ( $\approx 2$  кГц). Усиленный сигнал свободной прецессии подается через  $T2$  на усилитель У2 и детектируется

Дет. Продетектированный сигнал (см. огибающую на рис. 43, г) используется для измерения  $U_1-U_3$  с помощью интеграторов Инт1—Инт3. Время интегрирования  $\tau_1-\tau_3$  задается генераторами Г1—Г3. Начало работы этих генераторов устанавливается вычислительным устройством ВУ, при этом абсолютные значения усредненных сигналов должны быть пропорциональны амплитудам ССП в моменты времени  $t_1-t_3$ . Интеграторы Инт1—Инт3 связаны со схемами памяти П1—П3, с выхода которых напряжения  $U_1-U_3$  подаются на регистратор лаборатории и в счетно-решающее устройство СР, формирующее напряжение  $U_0$ .

В режиме «каротаж 2» (положение 2 переключателя S2) схемами  $t_{п1}$  и  $t_{п2}$  и формирователями Форм 2 и Форм 3 формируются импульсы чередующейся длительности (см. рис. 43, е), управляющие током поляризации. При этом интеграторами Инт 1 и Инт 3 измеряются ССП, вызванные длительной поляризацией, а интегратором Инт 2 — сигнал после короткой поляризации. В остальном работа аппаратуры аналогична описанной в режиме «каротаж 1».

В режиме измерения  $T_{1с}$  (положение 3 переключателя S2) с вычислительного устройства ВУ снимаются 15 импульсов переменной длительности, управляющие током поляризации (см. рис. 43, ж). Схема запускается вручную нажатием переключателя S3; работа схемы в каждом цикле аналогична описанной выше.

При определении  $T_{1сл}$  (положение 4 переключателя S2) импульсы, управляющие основным током поляризации (см. рис. 43, з), снимаются с ГТ через S2. 3, а импульсы переменной длительности, управляющие остаточным током поляризации (см. рис. 43, к), — со второго выхода ВУ через S2.4. Работа остальных блоков аналогична работе в предыдущем режиме.

Переключателем S1 вход интеграторов может подсоединяться к детектору Дет, общему проводу (нуль-сигнал) или к калибратору СК. Включение контрольной катушки КК производится коммутатором Ком скважинного прибора подачей по третьей жиле кабеля напряжения отрицательной полярности с помощью переключателя S4.

#### § 46. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ С АППАРАТУРОЙ АЯМК-1

Для проведения измерений наземный пульт аппаратуры устанавливается в стенд лаборатории на место пульта ИПРКУ-А радиоактивного каротажа, соединяют шнурами пульт с выпрямителем УИП-К и регистратором, СП с кабелем и подключают коллекторные провода к клеммам на пульте. Дальнейшая очередность операций определяется инструкцией по эксплуатации аппаратуры:

а) помещают СП в калибровочный бак, заполненный водой, и, включив аппаратуру в сеть, настраивают ее на частоту прецессии ядер водорода;

б) калибруют аппаратуру по нуль- и стандарт-сигналам СП. Так как определение ССП сводится к вычислению отношений ам-

плитуд сигналов в скважине и при калибровке, кривые ЯМК не требуют установления масштаба в физических единицах. Калибровку проводят для обеспечения одинаковой чувствительности каналов регистрации  $U_1-U_3$ ;

в) выполняют запись ССП в калибровочном баке;

г) при выключенном питании опускают СП в скважину. Контроль за перемещением СП осуществляют путем наблюдения токов ПС, возникающих на охранном кожухе СП и передаваемых по второй жиле кабеля;

д) при достижении интервала исследования канал «ПС» отключают, подают питание на СП и подключают к измерительным цепям контрольную катушку КК для уточнения частоты прецессии  $\omega_0$  в скважинных условиях. Если она совпадает с измеренной в калибровочном баке, переходят к исследованию намеченного интервала. При отклонении частоты прецессии в скважине более чем на  $\pm 10$  Гц от частоты в калибровочном баке СП поднимают на поверхность и перестраивают резонансные контуры;

ж) устанавливают коэффициент усиления наземного пульта в 5—10 раз большим, чем в калибровочном баке, и при подъеме СП со скоростью 0,05—0,1 м/с регистрируют кривые ЯМК;

з) после подъема СП на поверхность проводят повторную регистрацию калибровочных стандарт- и нуль-сигналов.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Назначение аппаратуры ИК, ДК, ЯМК.
2. Устройство СП индукционного каротажа АИК-4 и ЭЗМ.
3. Принцип действия и устройство аппаратуры АДК-1.
4. Принцип действия аппаратуры АЯМК-1.

#### ГЛАВА VIII

### АППАРАТУРА БОКОВОГО КАРОТАЖА

#### § 47. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ АППАРАТУРЫ

Зонд бокового каротажа (БК) характеризуется тем, что его центральный токовый электрод  $A_0$  заключен между двумя или более симметрично расположенными относительно него и попарно закороченными между собой экранными электродами  $A_3$  (рис. 45). Через электроды  $A_0$  и  $A_3$  пропускается ток одной полярности так, чтобы обеспечить равенство их потенциалов. Эквипотенциальные поля  $A_3$  обеспечивают фокусировку тока через центральный электрод, при которой ток не растекается вдоль скважины, а уходит в глубь пород на значительное расстояние слоем, толщина которого примерно равна длине электрода  $A_0$ . Такая форма поля снижает влияние скважины и вмещающих пород на результаты измерений кажущихся сопротивлений  $\rho_k$ . Поэтому зонд БК имеет преимущество по сравнению с обычными зондами КС при исследовании скважин, заполненных минерализованной ПЖ, а также

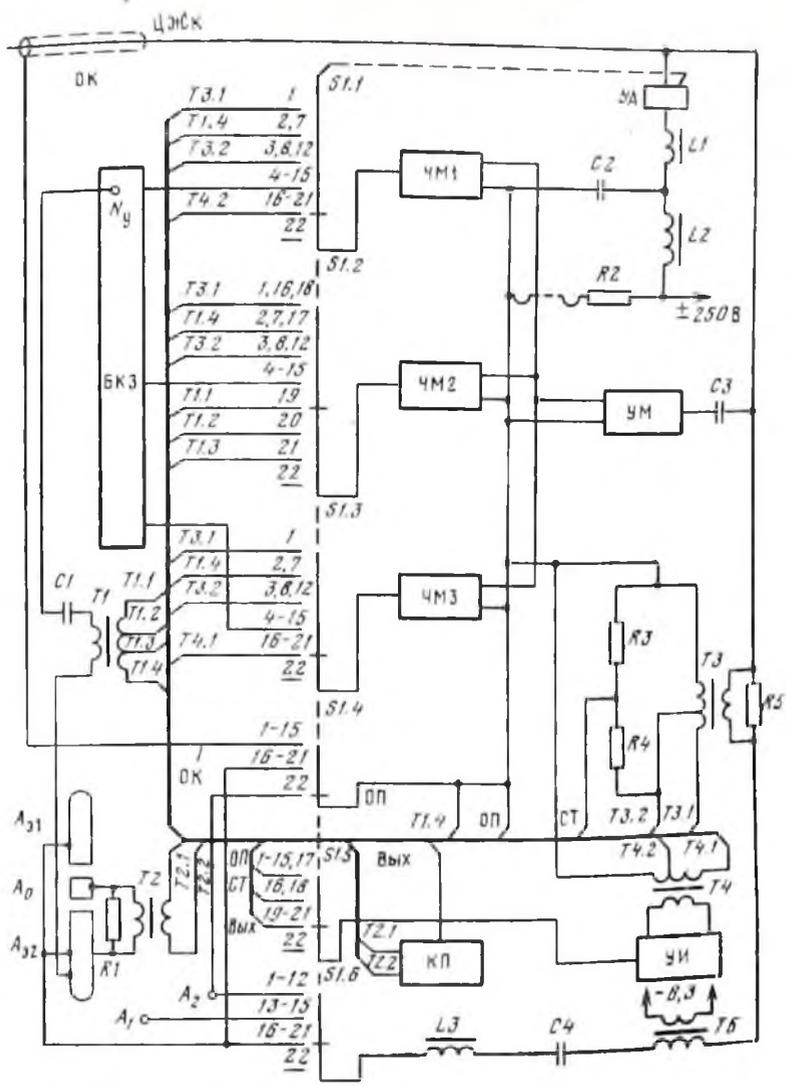


Рис. 45. Функциональная схема скважинного прибора АБКТ

скважин, разрезы которых сложены переслаивающимися породами высокого сопротивления (карбонатными и гидроклимическими осадками и др.).

Для определения  $r_k$  измеряют потенциал  $U$  центрального либо экранных электродов (по условию потенциалы равны) по отношению к удаленному на большое расстояние (15—20 м) электроду  $N_y$ , расположенному в пределах косы зонда, изолированной от брони кабеля. В комплексных приборах АБКТ, Э1 и др. коса содержит

также измерительные зонды БКЗ. Величину  $\rho_k$  определяют по формуле

$$\rho_k = KI/I_0, \quad (\text{VIII.1})$$

где  $K$  — коэффициент зонда, зависящий от его размеров;  $I$  — ток через центральный электрод.

В серийной аппаратуре БК наибольшее распространение получили трехэлектродные зонды с двумя закороченными между собой экранными электродами  $A_{11}$  и  $A_{22}$ . Для такого зонда

$$K = 2\pi l_0 / \ln(2l/d_3), \quad (\text{VIII.2})$$

где  $l_0$  — длина токового электрода  $A_0$ ;  $l$  — общая длина зонда;  $d_3$  — диаметр зонда.

При конструировании трехэлектродных зондов БК учитывают следующие обстоятельства: 1) уменьшение  $l_0$  снижает влияние вмещающих пород, однако при  $l_0 < 0,3 d_c$ , где  $d_c$  — диаметр скважины, резко возрастает погрешность измерений; 2) с увеличением  $l$  улучшается фокусировка тока и возрастает радиус исследования; 3) с уменьшением  $d_3$  возрастает влияние скважины, поэтому  $d_3 > 0,25 d_c$ . В приборах АБКТ, Э1 (см. табл. 5) применен зонд, для которого  $l_0 = 0,15$  м;  $l = 3,2$  м;  $d_3 = 0,07$ — $0,073$  м. Коэффициент  $K$  такого зонда 0,24.

В приборах БК с трехэлектродными зондами равенство потенциалов  $A_0$  и  $A_3$  достигается одним из следующих способов питания электродов: 1) автоматическим изменением тока через электрод  $A_3$ , при котором ток  $I_0$  сохраняется постоянным; 2) соединением между собой всех трех электродов, при котором  $I_0$  изменяется при измерении. В аппаратуре АБКТ соединение электрода  $A_0$  с  $A_3$  выполнено с помощью небольшого резистора  $R$ , который одновременно используется для измерения  $I_0$ . Сопротивление резистора ( $\approx 0,01$  Ом) достаточно мало, чтобы не нарушить эквипотенциальность зонда, но достаточно велико для измерения  $I_0$ . В аппаратуре серии Э роль резистора выполняет вторичная обмотка трансформатора, сопротивление  $R$  которой по переменному току питания  $\approx 0,01$  Ом и рассчитано как  $R = R^*/n^2$ , где  $R^*$  — сопротивление подстроечного резистора, подключенного параллельно первичной обмотке (см.  $R_1$  рис. 37), а  $n$  — коэффициент трансформации. При  $n = 1000$  значение  $R^*$  равно 10 кОм, что облегчает его подбор.

Более сложные семи- и девятиэлектродный зонды БК использованы в аппаратуре БКС-2. В них применена стабилизация тока  $I_0$  с помощью автокомпенсатора.

#### § 48. АППАРАТУРА БОКОВОГО КАРОТАЖА АБКТ

Аппаратура АБКТ состоит из СП, пульта ИПЧМ-2А и пульта логарифмических преобразователей ПЛП. Она позволяет проводить помимо БК обычный ЭК комплектом зондов БКЗ и запись ПС. Весь комплекс измерений осуществляется за четыре цикла, из которых три необходимы для измерения зондами БКЗ и ПС,

а один — для проведения БК. Метрологические характеристики и схемы измерения зондами БКЗ аналогичны примененным в аппаратуре КСП-2. Пределы измерений  $\rho_k$  зондом БК—0,5—5000 Ом·м; погрешность измерений  $\pm 10\%$ .

*Скважинный прибор.* Прибор состоит из узла центрального электрода и двух аппаратурных блоков, расположенных по обим его сторонам. Аппаратурные блоки защищены кожухами, которые навинчиваются на центральный узел и образуют верхний  $A_{3,1}$  и нижний  $A_{3,2}$  экранные электроды (см. рис. 45). Токовый электрод  $A_0$  представляет собой тонкостенную трубу, укрепленную на пластмассовом покрытии центрального узла. В толще покрытия размещен шунт  $R1$ , концы которого приварены к электроду  $A_0$  и корпусу центрального узла. Гибкий зонд БКЗ соединен с корпусом СП свечным мостом, а с каротажным кабелем стандартной зондовой головкой.

Питание СП осуществляется переменным и постоянным током. Переменным током частотой 300 Гц питаются токовый  $A_0$  и экранные  $A_3$  электроды по цепи: ЦЖК,  $R5$ ,  $T5$ ,  $C4$ ,  $L3$ , плата переключателя  $S1.6$ , электроды  $A_3$ . Фильтр  $C4$ ,  $L3$  отделяет электроды от цепей постоянного тока и высокочастотных ЧМ-сигналов. Постоянным током питается электронная схема СП по цепи: ЦЖК, обмотка электромагнита  $УА$ , дроссели  $L1$  и  $L2$ , ограничительный резистор  $R2$ , цепи накала ламп, общий провод ОП. Цепь постоянного тока защищена от цепей переменного фильтром  $L1$ ,  $C2$ ,  $L2$ . Включенный в цепи питания электромагнит  $УА$  срабатывает при переключении постоянного тока (кнопкой («Коммутация» на БУ) и с помощью переключателя  $S1$  последовательно подключает на входы модуляторов ЧМ1—ЧМ3 измеряемые, стандартные и нулевые сигналы зондов БК и БКЗ (схема подключения зондов БКЗ, общая с аппаратурой КСП-2, на рис. 45 не показана).

Сигнал, пропорциональный  $U$ , снимается со вторичной обмотки трансформатора  $T1$ , первичная обмотка которого включена между  $A_3$  и  $N_y$  через конденсатор  $C1$ , и через плату  $S1.2$  поступает на второй канал ТИС с несущей частотой 14 кГц. Этим же переключателем устанавливаются три предела измерения  $U$  соответственно с отводов  $T1.1$ — $T1.3$  трансформатора. В позиции переключателя  $S1$  «стандарт-сигнал» ко входу модулятора ЧМ2 вместо  $T1$  подключается трансформатор  $T3$ , напряжение на который подается с калибровочного резистора  $R5$ , включенного в цепь питания электродов зонда.

Для измерения  $I_0$  используются два канала ТИС с несущими частотами 7,8 и 25,7 кГц. Вследствие малого напряжения, измеряемого на резисторе  $R1$ , коэффициент трансформации входного трансформатора  $T2$  очень высок (около 600). Вторичная обмотка  $T2$  нагружена на катодный повторитель КП, выход которого через плату  $S1.5$  подключен к усилителю УИ с трансформаторным выходом  $T4$ . Для стабилизации усиления УИ применена глубокая обратная отрицательная связь. С отвода  $T4.1$  и  $T4.2$  вторичной обмотки снимаются два напряжения, различающиеся по уровню

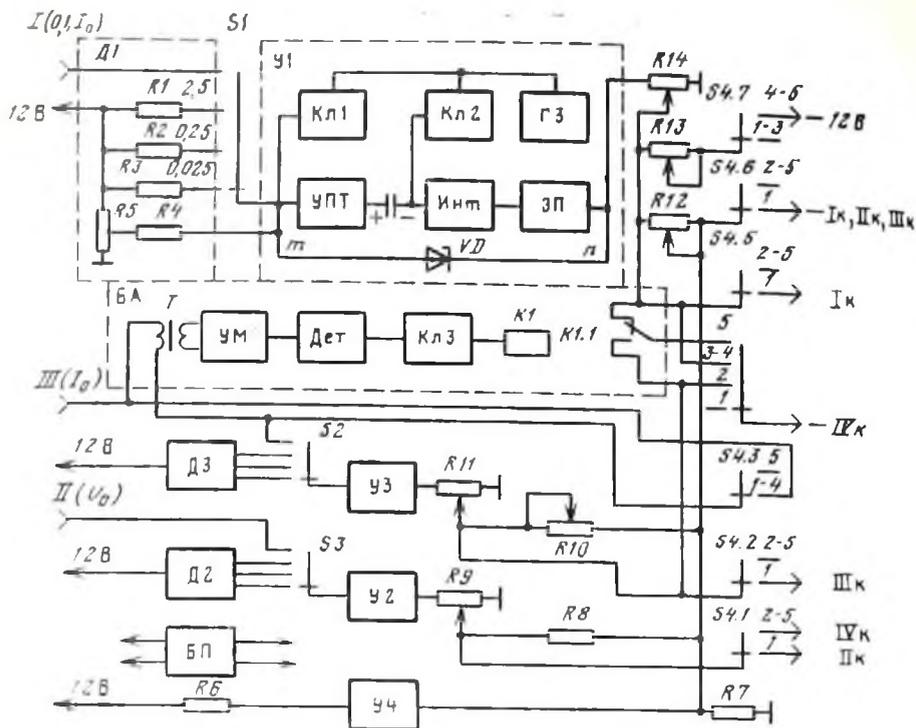


Рис. 46. Функциональная схема пульта логарифмических преобразователей ПЛП

в 10 раз. Более высокое напряжение подается на модулятор ЧМ3, пониженное — на модулятор ЧМ1. Первый из них служит для измерения тока  $I_0$  в диапазоне 0,1—5,5 мА, второй — в диапазоне 1—55 мА, что охватывает все встречающиеся на практике условия проведения БК. Для калибровки каналов на вход модуляторов ЧМ1 и ЧМ3 подается стандартный сигнал, соответствующий току  $I_0 = 5,5$  мА, с калибровочного делителя  $R3, R4$ , подключаемого платой  $S1.5$  на вход УИ.

С общего усилителя мощности УМ информационные ЧМ-сигналы подаются в линию связи ЦЖК, через конденсатор С3.

Наземная часть аппаратуры служит для управления и питания СП и преобразования измеренных напряжений, пропорциональных  $U, I_0$  и  $0,1 I_0$ , в напряжение, пропорциональное  $\rho_k$ . Информационные ЧМ-сигналы из СП поступают по кабелю на блок управления БУ пульта ИПЧМ-2А, коммутация цепей которого при комбинированном питании описана в § 35. Через фильтр высоких частот БУ сигналы передаются в блок обработки БО, в котором производится их разделение по измерительным каналам, демодулирование и фазочувствительное выпрямление. Полученные на выходе БО сигналы постоянного тока через схему коммутации СК (при нажатой

кнопке «ПЛП») поступают в пульт ПЛП, в котором вычисляется логарифм, отношения сигналов второго канала  $U$  к сигналам первого  $0,1 I_0$  или третьего  $I_0$  каналов, выбираемых автоматически.

Сигналы, пропорциональные  $0,1 I_0$  и  $I_0$ , поступают на вход первого У1 и третьего У3 усилителей с логарифмической характеристикой, а сигнал, пропорциональный  $U$ , — на вход второго усилителя У2 (рис. 46). На вход У4 от источника 12 В через калибровочный резистор  $R_6$  подается ток 12,5 мА, равный максимальному входному току в первых трех каналах. Принцип построения усилителей У1—У4 (на рис. 46 показана схема одного усилителя У1) основан на включении в отрицательную обратную связь линейного усилителя между его входом (точка  $m$ ) и выходом (точка  $n$ ) нелинейного (логарифмирующего) элемента, в качестве которого применен диод  $VD$ . С ростом входного и выходного напряжений возрастает разность потенциалов между точками  $m$  и  $n$  сопротивление диода уменьшается, увеличивая глубину отрицательной обратной связи и уменьшая коэффициент передачи линейного тракта. Логарифмический характер изменения выходного напряжения обеспечивается выбором рабочего участка вольтамперной характеристики диода резисторами  $R_4$  и  $R_5$ .

Для повышения стабильности работы усилителей У1—У4 постоянный входной ток преобразуется в переменный, затем усиливается и вновь преобразуется в постоянный. Входной преобразователь на ключе КЛ1 отпирается отрицательными импульсами, вырабатываемыми задающим генератором ГЗ, и периодически замыкает точку  $m$  на землю. Сформированные прямоугольные импульсы с амплитудой, равной потенциалу в точке  $m$ , усиливаются усилителем постоянного тока УПТ и преобразуются в постоянный ток с помощью конденсатора  $C$  и ключа КЛ2. Последний отпирается отрицательными импульсами синхронно с КЛ1 и, замыкая правую обкладку  $C$  на землю, заставляет конденсатор заряжаться от УПТ с полярностью, показанной на рисунке. В интервале между коммутирующими импульсами отрицательное напряжение на выходе УПТ суммируется с напряжением на  $C$  и поступает на двойную интегрирующую  $RC$ -цепочку Инт, отфильтровывается и через эмиттерный повторитель ЭП увеличивает отрицательный потенциал на резисторе  $R_{14}$ . Напряжение на выходе усилителей У1—У4 подчиняется закону:

$$U_{\text{вых}} = I_{\text{вх}} R_{\text{вх}} k + I_{\text{вх}} R_{\text{вх}} k S \lg (I_{\text{вх}} R_{\text{вх}} / I_{\text{вх}} m \ln R_{\text{вх}}) = b + a \lg I_{\text{вх}} / I_{\text{вх}} m \ln, \quad (\text{VIII.3})$$

где  $I_{\text{вх}}$  и  $R_{\text{вх}}$  — ток и сопротивление входной цепи усилителя в точке  $m$ ;  $k$  — коэффициент усиления тракта от точки  $m$  до точки  $n$  в линейном режиме;  $S = 1/\ln N$  — коэффициент приведения логарифма с любым основанием  $N$  (в том числе десятичного к натуральному логарифму);  $a$  — крутизна (модуль) логарифмической амплитудной характеристики усилителя;  $b$  — минимальное выходное напряжение усилителя.

Для компенсации температурной нестабильности усилителей У1—У3 и обеспечения удобства отчета показаний из выходного напряжения каждого измерительного усилителя вычитается постоянное выходное напряжение опорного усилителя У4, снимаемое с  $R7$ . Вычитание производится на резисторах  $R8, R10, R12$ , параллельно которым подключается регистратор каротажной лаборатории. Калибровка каналов осуществляется с помощью резисторов  $R1—R3$ , подключаемых переключателем  $S1$  в делителях  $D1—D3$ , а установка нулевого выхода — резисторами  $R9, R11, R14$ . При минимальном входном токе  $I_{вх} = 0,025$  мА резисторами  $R10$  и  $R12$  выравниваются модули каналов по равенству нулю сигналов между выходами второго, третьего и первого каналов.

Расширение динамического диапазона регистрации  $\rho_k$  производится автоматическим подключением выходов первого У1 или третьего У3 усилителей к шине («— IVк») с помощью контактов  $K1.1$  реле  $K1$ , управляемого блоком автоматики БА. Для получения управляющего напряжения в разрыв входной цепи У3 платой  $S1.3$  включается трансформатор  $T$ . Выделенная на вторичной обмотке  $T$  переменная составляющая входного сигнала частотой 300 Гц усиливается по току усилителем мощности УМ, выпрямляется детектором Дег и поступает на ключ Кл 3, управляющий реле  $K1$ . При низком уровне входного сигнала  $I_0$  начальный ток через Кл 3 вызывает срабатывание реле  $K1$ , через замкнувшиеся контакты  $K1.1$  которого к выходу «— IV к» подключается третий канал  $\lg I_0$ . С увеличением входного сигнала до определенного уровня заштрафывается ключ Кл 3 и реле  $K1$  подключает к выходу «— IV к» первый канал  $\lg 0,1 I_0$ . Для обеспечения непрерывности кривой  $\rho_k$  при переключении каналов, различающихся по уровню сигналов в 10 раз, предусмотрено увеличение выходного напряжения первого канала на величину  $a$  регулировкой резистора  $R13$ . Таким образом, с выходов «— IV к» и «IV к» снимается напряжение, пропорциональное  $\lg \rho_k = \lg U - \lg I_0 = \lg(U/I_0)$ , которое поступает на регистратор лаборатории.

#### § 49. ЗОНД БОКОВОГО КАРОТАЖА АППАРАТУРЫ Э1 И БЛОК ЛОГАРИФМИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ Б4

Комплексный прибор Э1 совместно с аппаратурной стойкой С1 позволяет измерять кажущиеся сопротивления  $\rho_k$  пород зондом трехэлектродного БК в диапазоне 0,5—100000 м·м с погрешностью  $\pm 10$  %. Скорость измерений 0,6—1,2 м/с.

В скважинном приборе (см. рис. 37) ток питания электродов  $A_{11}$  и  $A_{12}$  частотой 300 Гц поступает из центральной жилы кабеля ЦЖК через индуктивность  $L$ , первичные обмотки трансформаторов  $T7$  и  $T8$ , нормально замкнутый контакт  $K1.1$ , калиброванный резистор  $R2$  и плату  $S1.4$  переключателя зондов  $S1$ . Питание электрода  $A_0$  производится от  $A$ , через первичную обмотку трансформатора  $T5$ . Измеряемыми величинами являются напряжение  $U$  между электродами  $A_0$  и удаленным электродом,  $N_y$  и напряжение

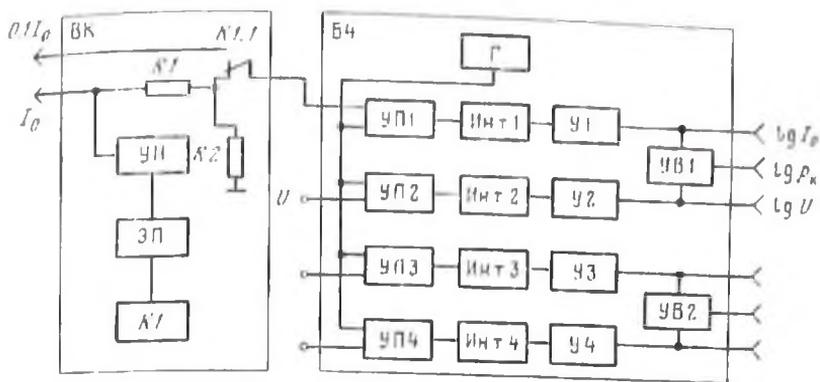


Рис. 47. Функциональная схема блока Б4 логарифмических преобразователей и коммутационной вставки ВК

на первичной обмотке  $T5$ , пропорциональное току  $I_0$ . Напряжение  $U$  приводится к необходимому уровню трансформатором  $T4$  и через плату  $S1.3$  поступает на вход модулятора ЧМЗ. Напряжение, пропорциональное  $I_0$ , через трансформатор  $T5$  и плату  $S1.1$  поступает непосредственно на модулятор ЧМ1, а через плату  $S1.2$  — на предварительный усилитель УП, а затем на модулятор ЧМ2. Передача сигналов по двум каналам, обеспечивает диапазон измерения тока через электрод  $A_0$  от нуля до 250 мА. Дальнейшее преобразование сигналов в СП, а также калибровка измерительных каналов по стандарт- и нуль-сигналам происходит так же, как и в позициях измерений зонами БКЗ.

В наземной стойке С1 в блоке частотной демодуляции Б1 ЧМ-сигналы разделяются по частоте, преобразуются в постоянный ток и через коммутационную вставку блока Б2 подаются в блок логарифмических преобразователей Б4 и далее на регистратор.

Выделение и преобразование сигналов в блоке Б1 происходит так же, как при регистрации КС зонами БКЗ. В коммутационную вставку ВК входит реле  $K1$ , автоматически подключающее на один из входов блока Б4 контактом  $K1.1$  наиболее благоприятный канал измерения тока:  $I_0$  или  $0,1 I_0$  (рис. 47). Реле  $K1$  управляется током  $I_0$  через усилитель УИ и эмиттерный повторитель ЭП. Когда величина  $I_0$  недостаточна для срабатывания реле  $K1$ , на вход Б4 через делитель  $R1, R2$  подается напряжение, пропорциональное  $I_0$  (делитель 1 : 10 необходим потому, что коэффициент усиления усилителя УП в СП равен 10). Если  $I_0$  превышает ток срабатывания реле  $K1$ , последнее контактами  $K1.1$  подключает на вход Б4, минуя делитель, напряжение, пропорциональное  $0,1 I_0$ . Таким образом, в блок Б4 из двух каналов измерения тока электрода  $A_0$  поступает только один сигнал, напряжение которого пропорционально  $I_0$ . По второму каналу в блок Б4 подается напряжение постоянного тока, пропорциональное  $U$ .

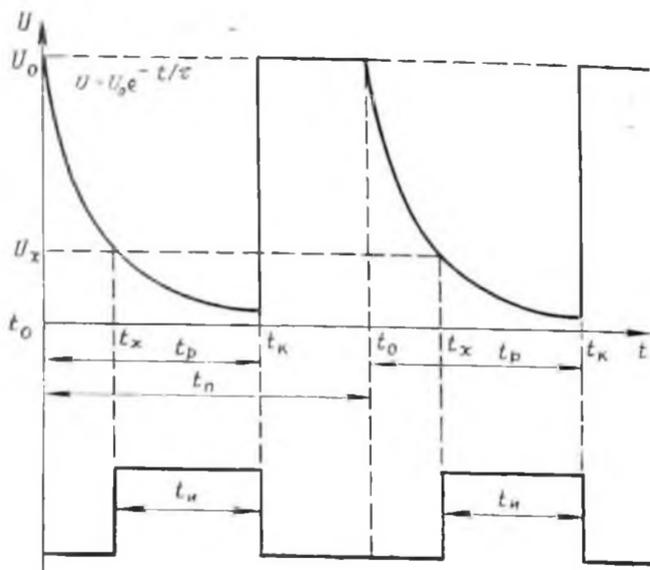


Рис. 48. Эпюры напряжений блока логарифмических преобразователей

Блок логарифмических преобразователей Б4 предназначен для преобразования напряжений и токов ( $U$  и  $I_0$ ) в сигналы, пропорциональные их логарифмам и логарифму их отношения  $\lg U/I_0$ . В блоке применен иной принцип логарифмирования, чем в пульте ПЛП. Вначале входные сигналы преобразуются в прямоугольные импульсы, длительность которых пропорциональна логарифмам сигналов, затем интегрированием из прямоугольных импульсов получают постоянное напряжение, пропорциональное логарифмам входных сигналов. Формирование прямоугольных импульсов производится пороговыми устройствами УП1—УП4, на независимые входы которых подаются сигналы постоянного тока ( $U$  и  $I_0$  в каналы 1 и 2) и экспоненциально падающее напряжение от задающего генератора Г. Генератор формирует в течение рабочего времени  $t_p$  с периодичностью  $t_n$  напряжение (рис. 48)

$$U = U_0 e^{-t/\tau}, \quad (\text{VIII.4})$$

где  $\tau$  — постоянная, характеризующая скорость изменения экспоненты;  $t$  — текущее время.

При совпадении в момент  $t_x$  напряжения  $U$  с измеряемым напряжением  $U_x$  на выходе порогового устройства формируется измерительный импульс  $t_n$ . Его формирование заканчивается в момент  $t_k$  по окончании участка экспоненциально падающего напряжения. Длительность  $t_n$  определяется зависимостью

$$t_n = t_p - (t_x - t_0) = t_p - \tau \ln U_0 + \tau \ln U_x. \quad (\text{VIII.5})$$

Величины  $t_p$ ,  $\tau$  и  $\lg U_0$  постоянные, поэтому  $t_n$  пропорционально логарифму входного напряжения  $\lg U_x$ .

Интеграторами Инт 1—Инт 4 импульсы  $t_n$  преобразуются в постоянные напряжения, пропорциональные  $\lg I_0$  и  $\lg U$  в каналах 1 и 2, и через линейные усилители У1—У4 подаются на выход блока Б4 (см. рис. 47). С выходов вычитающих усилителей УВ1 и УВ2 снимаются напряжения, пропорциональные разности логарифмов входных сигналов ( $\lg \rho_k = \lg U/I_0$ ). Вычисленное значение  $\rho_k$  записывается регистратором лаборатории в логарифмическом масштабе.

Комплексные приборы Э4, Э7 и Э9 являются аналогами Э1 с более высокими эксплуатационными характеристиками (см. табл. 5). Прибор Э6 имеет два зонда ИК и зонд БК малого радиуса исследования. Диапазон измерений  $\rho_k$  зондом БК 0,2—500 Ом·м.

#### § 50. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ С АППАРАТУРОЙ АБКТ

Включают пульты ИПЧМ-2А и ПЛП в измерительную схему лаборатории. Коллекторные концы СП подключают к гнездам ЦЖК и ОК на БУ. Скважинный прибор подсоединяют к кабелю и опускают в скважину так, чтобы все электроды зонда БКЗ находились в промысловой жидкости. Очередность операций по измерению кривой БК следующая:

а) подключают пульт ПЛП к пульту ИПЧМ-2А и регистратору лаборатории, включают их в сеть и проверяют метрологические характеристики пульта ПЛП, для чего выставляют нули усилителей У1—У3 (см. рис. 46) при максимальной чувствительности регистратора; уравнивают модули «а» усилителей; уравнивают компенсирующее напряжение с выходными напряжениями каналов, приходящимися на одну декаду входных сигналов;

б) устанавливают масштабы в канале регистратора, предназначенном для записи кривой БК, по калибровочным сигналам пульта ПЛП;

в) калибруют канал по нуль- и стандарт-сигналам СП;

г) проверяют чувствительность каналов ИПЧМ-2А по стандарт-сигналам СП;

д) переводят переключатель зондов СП в позицию измерения при БК, опускают СП в интервал исследования и при подъеме СП со скоростью 0,7 м/с производят запись кривой. По окончании записи на диаграмме снова записывают положение стандарт-сигналов.

Точное измерение  $\rho_k$  возможно, если правильно выбран предел измерения канала СП. При удельных сопротивлениях ПЖ  $\rho_{ж} < 0,1$  Ом·м и пород  $\rho_p < 100$  Ом·м используют второй предел. В остальных случаях его выбирают экспериментально.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Принцип действия аппаратуры БК; способы достижения равенства потенциалов центрального и экранных электродов.

2. Функциональные схемы скважинных приборов АБКТ и Э1.

3. Функциональные схемы коммутации токов  $I_0$  и  $0,1 I_0$  в пультах ПЛП и Б4.

## АППАРАТУРА МИКРОКАРОТАЖА

Для изучения электрического сопротивления пород, непосредственно прилегающих к стенке скважины, используются микроустановка (МК). Промышленное применение получили СП микрокаротажа (МК), предназначенные для исследования скважин градиент- и потенциал-зондами малых размеров, и приборы бокового микрокаротажа, в которых использован микрозонд с фокусировкой тока. Серийно изготавливаются прибор МДО-3 для выполнения МК, приборы МБК и МБКУ для БМК и комплексный прибор Э2 для проведения обоих исследований (см. табл. 5).

## § 51. АППАРАТУРА МИКРОКАРОТАЖА МДО-3

Скважинный прибор МДО-3 предназначен для одновременного измерения КС градиент- и потенциал-зондами малого размера и рассчитан на работу с лабораторной ЛКС-7-02, укомплектованной пультом ИПЧМ-2А и источником питания УИП-К и УГ-1.

*Микрозонд МДО-3.* Этот микрозонд состоит из корпуса и трех рессор, расположенных под углом  $120^\circ$  в плоскости, перпендикулярной к оси СП (рис. 49). Концы рессор закреплены на нижней и верхней муфтах, скользящих по корпусу. На одной рессоре установлен армированный сталью резиновый башмак с цилиндрической поверхностью. На башмаке на расстоянии 25 мм друг от друга смонтированы три электрода, из которых составлены градиент-микрозонд А0,025М0,025 N и потенциал-микрозонд А0,05М. Электродом  $N_y$  последнего служит корпус СП. Обратный токовый электрод В установлен на «косе» СП на расстоянии 5 м от свечного моста. Рессоры СП образуют фонарь, который раскрывается под действием надетых на корпус спиральных пружин и прижимает башмак к стенке скважины.

Токовые электроды установки питаются через трансформатор Т1 переменным током частотой 300 Гц от генератора УГ-1. Измеряемые разности потенциалов с электродов  $M_r N_r$  и  $M_n N_n$  через переключатель S1 (позиции 4; 5—19) и трансформаторы Т2 и Т3 поступают на частотные модуляторы ЧМ2 и ЧМ1 стандартной ТИС (см. § 34). Преобразованные ЧМ-сигналы подаются на усилитель мощности УМ и через конденсатор С2 по кабелю на вход БУ пульта ИПЧМ-2А. Нуль- и стандарт-сигналы, необходимые для калибровки измерительных каналов, получают закорачиванием при помощи переключателя S1 входных обмоток трансформаторов Т2 и Т3 на ОК (позиции 2; 7—22) или подключением их к калиброванным резисторам R1 и R2 в токовой цепи (позиции 1; 3—22).

Электронная схема СП питается постоянным током от выпрямителя УИП-К. Цепи питания постоянного и переменного тока разделены LC-фильтром Ф и конденсатором С1. В цепь питания постоянным током последовательно включены электромагнит УА и через гасящий резистор R5 накалы НЛ ламп схемы. Управление элект-

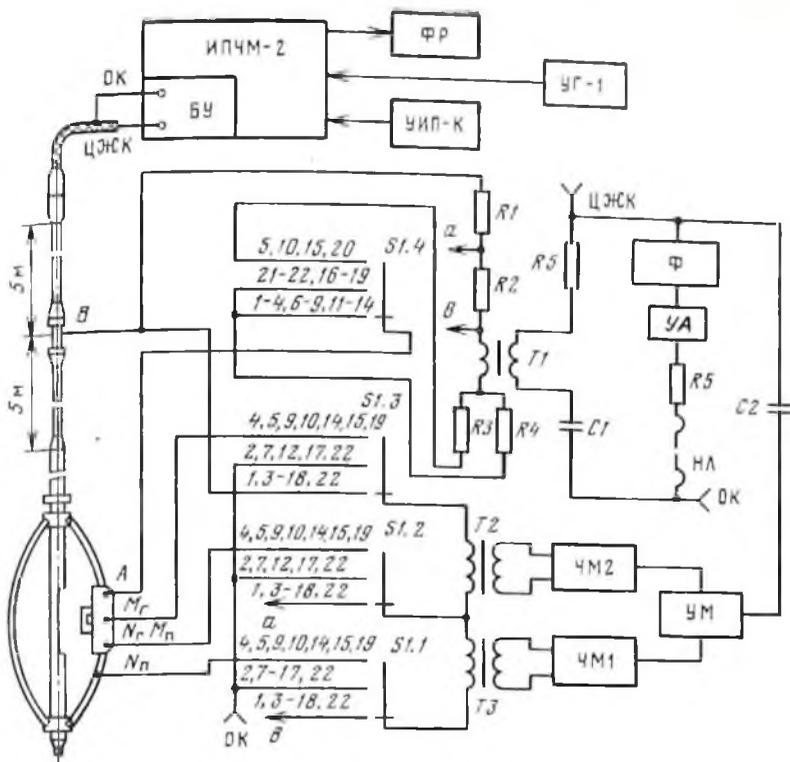


Рис. 49. Функциональная схема аппаратуры МДО-3

тромагнитом осуществляется с БУ разрывом и восстановлением цепи питания.

Работа пульта ИПЧМ-2А с микрозондом МДО-3 не отличается от описанной в § 35 при комбинированном питании СП. С блока обработки (при отжатой кнопке «П.Л.П») напряжения постоянного тока, пропорциональные  $r_k$ , по каналам 1 и 2 передаются на регистратор лаборатории.

*Проведение измерений микрозондом МДО-3.* Собирают измерительную схему лаборатории с микрозондом, для чего подключают СП к кабелю, а коллекторные концы к гнездам ЦЖСК и ОК на БУ. Последовательно проводят включение и настройку аппаратуры:

а) включают аппаратуру в сеть, подают питание на СП и многократным переключением переключателя зондов *SI* (см. рис. 49) проверяют исправность СП;

б) опускают СП в скважину и после его входа в ПЖ настраивают пульт ИПЧМ-2А и регистратор ФР лаборатории, для чего устанавливают уровень опорного сигнала (45 делений по индикатору БУ), максимальную чувствительность каналов по индикатору БО и нулевые отметки на ФР;

в) устанавливают масштабы записи кривых КС по стандарт-сигналам СП;

г) переводят переключатель зондов СП в позицию измерения и производят запись одновременно обоими зондами со скоростью 0,3 м/с. В процессе измерений проверяют исправность аппаратуры по равенству между собой и незначительному отличию от  $\rho_{ж}$  величин  $\rho_{к}$ , измеряемых градиент- и потенциал-зондами в интервалах каверн. В остальных интервалах  $\rho_{к}$  потенциал-зонда больше, чем  $\rho_{к}$  градиент-зонда.

Коэффициенты микрозондов определяют экспериментально, помещая СП в емкость с жидкостью. Удельное сопротивление жидкости  $\rho_{ж}$  выбирают равным 1—5 Ом м, что соответствует середине измерительного диапазона аппаратуры.

## § 52. АППАРАТУРА БОКОВОГО МИКРОКАРОТАЖА МБКУ

Скважинный прибор МБКУ предназначен для одновременного измерения кажущегося сопротивления микроустановкой с фокусировкой тока и диаметра скважины микрокаверномером. Прибор работает с лабораторией ЛКС-7-02, укомплектованной пультом ИПЧМ-2А со сменным (для прибора МБКУ) БУ и источником питания УИП-К.

*Скважинный прибор.* Состоит из электронного и электромеханического блоков, механически соединенных между собой втулкой, внутри которой размещена электророзетка для подключения электронной схемы электродами зонда БМК и датчика диаметра скважины. Электромеханический блок осуществляет раскрытие и закрытие по командам с поверхности двух измерительных рычагов, на одном из которых размещен зонд БМК. Корпус электронного блока герметичен, электромеханического — маслонаполненный с компенсатором давления.

Электронная схема СП питается от УИП-К постоянным током (рис. 50). Коммутация измерительных цепей в циклах «измерение», «нуль», и «стандарт-сигнал», а также включение электродвигателя  $M$ , управляющего работой измерительных рычагов, осуществляется переключателем  $SI$ . Переключатель приводится в действие электромагнитом  $УА$ , обмотка которого включена в цепь питания последовательно с блоком автоматкии БК, гасящим резистором  $RI$  и накальными цепями ИЛ радиоламп. Трехфазный двигатель  $M$  питается с поверхности переменным током частотой 50 Гц; его включение в однофазный режим достигается с помощью емкостных фазосдвигающих цепочек (на рис. 50 не показаны). Переменное напряжение на  $M$  подается при тех позициях переключателя  $SI$ , когда электронная схема СП отключена от кабеля. Реверсирование двигателя осуществляется переключением обмоток блоком БК; автоматическое выключение в конечных положениях (полное закрытие или открытие рычагов) обеспечивается концевыми выключателями.

Трехэлектродный зонд БМК выполнен в виде прямоугольного резинового башмака, наружная цилиндрическая поверхность которого занята токовым  $A_0$  и экранным  $A_2$  электродами, разделенными изоляционным промежутком шириной 5 мм. Вторым токовым  $B$  и измерительным  $N_y$  электродами служит корпус СП. В режиме измерения башмак прижат к стенке скважины для уменьшения влияния ПЖ на измеряемые значения  $\rho_k$ . Электрод  $A_0$  запитывается током  $I_0$  частотой 400 Гц от генератора Г через балластный резистор  $R_2$ . Стабильность тока достигается выбором величины  $R_2$ , во много раз превосходящей изменения  $\rho_k$ . Питание электрода  $A_2$  осуществляется автокомпенсационным усилителем АКУ током  $I_2$  той же частоты и фазы, что и ток  $I_0$ . Величина тока  $I_2$  непрерывно регулируется таким образом, чтобы разность потенциалов между  $A_0$  и  $A_2$  сводилась к нулю и они образовывали эквипотенциальные поверхности.

Так как  $I_0$  сохраняется постоянным в процессе измерения, изменение  $U$  отображает изменение  $\rho_k$ . Выравнивание потенциалов на электродах  $A_0$  и  $A_2$  достигается следующим образом. Как только разность потенциалов между электродами станет отличаться от нуля, через первичную обмотку трансформатора ТЗ потечет ток. Напряжение на вторичной обмотке ТЗ, пропорциональное току рассогласования, усиливается входным усилителем УВ, детектируется фазочастотным детектором ФД и подается на управление усилителем мощности АКУ, компенсирующим возникшее рассогласование. Обеспечение синфазности  $A_0$  и  $A_2$  достигается модуляцией тока через АКУ переменным напряжением от генератора Г.

Измеряемый потенциал  $U_x$  снимается с электрода  $A_2$  (относительно электрода  $B$ ) и через переключатель  $S1$  и трансформатор Т2 подается на частотный модулятор ЧМ2 с несущей частотой 14 кГц. После усиления по мощности в усилителе УМ через разделительный конденсатор С ЧМ-сигналы поступают в кабель (ЦЖК). Через УМ в кабель от генератора Г заводится также опорное напряжение НО частотой 400 Гц, необходимое для управления работой фазочувствительных детекторов пульта ИПЧМ-2А. В режиме «нуль-сигнал» (НС) переключатель  $S1$  закорачивает первичные обмотки

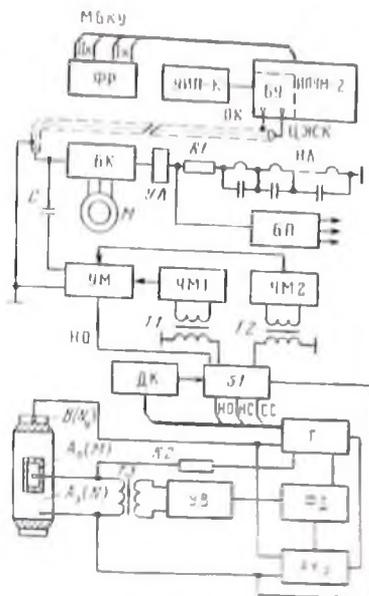


Рис. 50. Функциональная схема аппаратуры МБКУ

трансформаторов  $T1$  и  $T2$ ; в режиме «стандарт-сигнал» (СС) они подключаются к отдельным выводам генератора Г.

Датчиком каверномера ДК служит переменный резистор, подвижный контакт которого перемещается синхронно с изменением раскрытия рычагов. На резистор подается питающее напряжение частотой 400 Гц от генератора Г. Напряжение, пропорциональное диаметру скважины, снимается с подвижного контакта резистора и через модулятор ЧМ с частотой 7,8 кГц поступает на усилитель УМ и далее в ЦЖК.

Блок управления БУ скважинным прибором содержит схемы выделения информационных и опорных сигналов, аналогичные описанным в § 35. Дополнительно в него включены цепь питания двигателя  $M$  ( $\sim 220$  В) и схема автоматики, отключающая двигатель в конечных положениях измерительных рычагов. Информационные сигналы с БУ поступают в блок обработки пульты ИПЧМ-2А, преобразуются в постоянное напряжение и выводятся на регистратор лаборатории.

Для проведения измерений соединяют пульт ИПЧМ-2П и блок управления БУ, подключают СП к кабелю, а коллекторные концы к гнездам ЦЖК и ОК на лицевой панели БУ. После этого очередность операций следующая:

- а) проверяют заполнение маслом электромеханического блока;
- б) опустив СП в скважину до входа в ПЖ, включают аппаратуру в сеть, подают питание на СП и готовят к измерениям БУ и ИПЧМ-2А, для чего выставляют необходимый уровень опорного напряжения по индикатору БУ и максимальную чувствительность каналов ИПЧМ-2А и производят компенсацию кабеля до проектной длины;
- в) устанавливают масштабы записи и записывают на диаграмме нули гальванометров и стандарт-сигналы от СП;
- г) опускают СП в интервал исследований, раскрывают рычаги измерительной системы и производят регистрацию кривых КС и ДС со скоростью 0,2—0,6 м/с;
- д) по окончании измерений записывают положение нулей и стандарт-сигналов, закрывают рычаги измерительной системы и поднимают прибор на поверхность.

### § 53. КОМПЛЕКСНАЯ АППАРАТУРА МИКРОКАРОТАЖА Э2

Прибор Э2 предназначен для исследования зондами МК, БМК и каверномером скважин диаметром от 120 до 360 мм с углами искривления до  $15^\circ$ , заполненных ПЖ с удельным сопротивлением от 0,03 до 5 Ом·м. Прибор работает совместно с аппаратурной стойкой С1 и источниками питания УГ-1 и УИП-К. Измерения выполняются за две СПО: при одной записываются диаграммы БМК и кавернометрии, при второй — диаграммы МК и кавернометрии. Диапазоны измерения КС: зондом МК — 0,2—40 Ом м; зондом БМК — (2—400)  $\rho_{ж}$ . Погрешность измерений сопротивления  $\pm 10\%$ , диаметра ствола  $\pm 5$  мм.

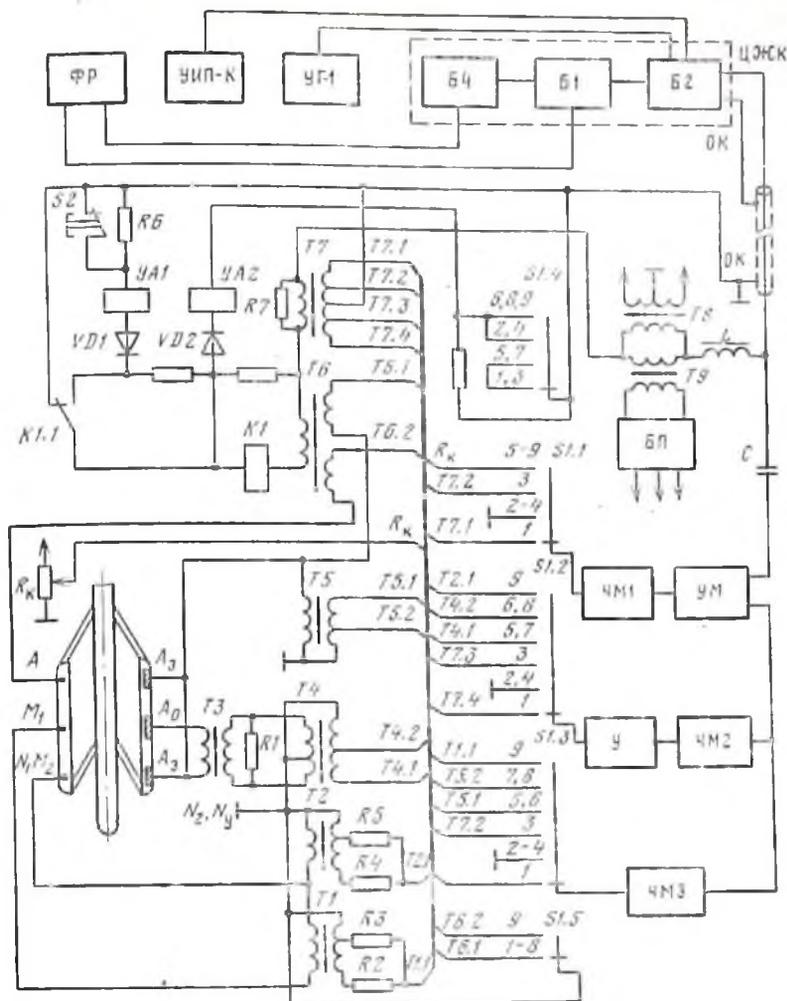


Рис. 51. Функциональная схема аппаратуры Э2

Схемы измерения КС зондами МК приборов Э2 и МДО-3 (рис. 51) одинаковы. В схеме зонда БМК прибора Э2 в отличие от прибора МБКУ отсутствует автокомпенсатор. Выравнивание потенциалов токового  $A_0$  и экранного  $A_3$  электродов достигается путем их соединения через обмотку трансформатора  $T3$ , сопротивление которой переменному току равно 0,04 Ом. Измеряются и подаются на поверхность два сигнала — ток  $I_0$  протекающий через электрод  $A_0$  и разность потенциалов  $U$  между  $A_3$  и корпусом СП. Стойка С1 обеспечивает вычисление и регистрацию кривой БМК в логарифми-

чексом, а кривых МК в линейном масштабах. Схема измерения ДС аналогична схеме МБКУ.

В функциональной схеме СП имеются две цепи: питания и управления и измерительная. Питание СП комбинированное: переменным током частотой 300 Гц питается измерительная цепь, постоянным — электромагниты УА1 управления измерительными рычагами и УА2 привода переключателя S1 зондов. Разделение цепей питания и ЧМ сигналов достигается с помощью индуктивности L и конденсатора С. В цепь питания включены накальный Т8 и анодный Т9 трансформаторы (последний работает на блок питания БП), калиброванный резистор R7 стандарт-сигнала, трансформатор тока Т6, обмотка подготовительного реле К1, разделительные диоды VD1 и VD2 и нормально замкнутые обмотки электромагнитов УА1 и УА2. Для уменьшения помех цепь питания выполнена симметрично по току и поэтому замкнута на корпус в головке СП.

В режиме измерения в цепь питания подается переменный ток частотой 300 Гц. В зависимости от положения контактов платы S1.5 ток со вторичной обмотки трансформатора Т6 передается на экранный электрод А<sub>з</sub> зонда БМК или на токовый электрод А зондов МК. Реостатный датчик R<sub>к</sub> каверномера питается от трансформатора Т8. При измерении зондом БМК (позиции 1 и 3 переключателя S1) электрод А<sub>о</sub> соединен с крайним электродом А<sub>з</sub> через обмотку трансформатора Т3, сопротивление которой определяется резистором R1 и коэффициентом трансформации Т3 (см. § 47). Трансформатор Т3 расположен в башмаке зонда, что снижает помехи, возникающие в соединительных проводах. Напряжение, пропорциональное току I<sub>о</sub>, подается с Т3 через трансформатор Т4 на усилитель У, а затем на вход модулятора ЧМ2 с несущей частотой 14 кГц. Сигнал, пропорциональный разности потенциалов U, через трансформатор Т5\* поступает на вход модулятора ЧМ3 частотой 25,7 кГц. Выходной сигнал с датчика R<sub>к</sub> каверномера поступает на вход модулятора ЧМ1 с частотой 7,5 кГц. ЧМ-сигналы модуляторов усиливаются усилителем мощности УМ и через конденсатор С передаются в наземную аппаратуру.

При выполнении МК (позиция 9 переключателя S1) сигнал с электродов M<sub>1</sub>N<sub>1</sub> через трансформатор Т1 и плату S1.3 поступает на вход модулятора ЧМ3, а сигнал с электродов M<sub>2</sub>N<sub>2</sub> через Т2 и плату S1.2 — на усилитель У и модулятор ЧМ2. Модулятор ЧМ1 соединен с датчиком R<sub>к</sub> через плату S1.1. В дальнейшем сигналы преобразуются и поступают в жилу кабеля, как и при БМК. Резисторы R2—R5 выбраны так, чтобы обеспечить калибровку зонда МК. Для калибровки схемы БМК на входы модуляторов ЧМ1—ЧМ3 подаются напряжения с резистора R7 через трансформатор Т7. Для получения нуля-сигнала (позиция 2—4)\* входные цепи замыкаются на корпус.

Переключатель S1 управляется электромагнитом УА2, срабатывающим при подаче импульсов тока положительной полярности. Электромагнит УА1 питается отрицательными импульсами. Цепи электромагнитов подготавливаются к работе реле К1, которое сра-

бывает при поступлении импульса любой полярности и перестает шунтировать своими контактами  $K1.1$  обмотки электромагнитов  $УА1$  или  $УА2$ . Индикация закрытого положения рычагов прижимного устройства обеспечивается концевым выключателем  $S2$ . Когда контакты выключателя замыкаются, последовательно с обмоткой  $УА1$  включается резистор  $R6$ , а на поверхности по стрелочному индикатору отмечается изменение сопротивления токовой цепи.

В блоке управления  $B2$  производится коммутация измерительных и питающих цепей. Выделенные ЧМ-сигналы распределяются по частотным каналам и демодулируются в блоке  $B1$ , после чего сигналы зондов МК и ДС передаются на регистратор ФР лаборатории. В режиме БМК напряжения, пропорциональные  $I_0$  и  $U$ , поступают с блока  $B1$  на блок логарифмических преобразователей  $B4$ , с выхода которого вычисленные значения логарифма  $\rho_k$  передаются на ФР. Проведение измерений в циклах регистрации кривых МК и БМК аналогично описаным для приборов МДО-3 и МБКУ.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Принцип построения измерительных зондов МК и БМК.
2. Упрощенная функциональная схема прибора МДО-3.
3. Схема питания электродов измерительных зондов МБКУ.

#### ГЛАВА X

### АППАРАТУРА РАДИОАКТИВНОГО КАРОТАЖА

#### § 54. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВИДАХ РАДИОАКТИВНОГО КАРОТАЖА И ТИПАХ АППАРАТУРЫ

Радиоактивный каротаж (РК) основан на изучении процессов излучения и распределения во времени квантов и частиц ионизирующих излучений, обусловленных естественной или искусственно вызванной радиоактивностью пород. Распространение получили гамма-(ГК) и гамма-гамма-каротаж (ГГК), нейтронные каротаж по надтепловым (ННК-НТ) и тепловым нейтронам (ННК-Т) и гамма-квантам (НГК) и импульсные нейтрон-нейтронный (ИННК) и нейтронный гамма-каротаж (ИНГК). Естественная радиоактивность изучается только ГК, основанным на измерении по стволу скважины гамма ( $\gamma$ )-излучения, интенсивность которого зависит от содержания гамма в породах радиоактивных изотопов урана, тория (с продуктами их распада) и калия. Для проведения ГК в скважину опускают детектор  $\gamma$ -излучения и электронную схему, преобразующую зарегистрированные  $\gamma$ -кванты в импульсы напряжения. В остальных видах РК измеряется искусственная радиоактивность, созданная в породах источником гамма-(ГГК) либо нейтронного стационарного (ННК-НТ), ННК-Т, НГК) и импульсного (ИННК, ИНГК) излучения. Их скважинные приборы содержат источник

Технические характеристики аппаратуры радиоактивного картожа

| Аппаратура | Виды исследуемых                 | Число измере-<br>ний параметров | Система  | Максимальная температура, С | Максимальное давление, МПа | Диаметр при-<br>бора, мм | Длина прибора,<br>м | Масса прибора,<br>кг | Число незави-<br>симых вели-<br>чин | Обработка<br>вазаций<br>пулет |
|------------|----------------------------------|---------------------------------|--|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| ДРСТ-3     | ГК, НГК<br>(ННКТ)                | 2                               | Сцинтилля-<br>ционный                                  | 120                         | 100                        | 90                       | 3,5                 | 70                   | 1                                   | ИПРКУ                         |
| СП-62      | ГК, НГК                          | 2                               | СИ-23Г   | 200                         | 100                        | 95                       | 3,6                 | 75                   | 1                                   | ИПРКУ                         |
| РК1-8И     | ГК, НГК<br>(ННКТ)                | 2                               | СИ-23Г,<br>СНМ-18-1                                    | 200                         | 150                        | 100                      | 3,2                 | 90                   | 1                                   | ИР4-ИП                        |
| Р3         | ГК, НГК                          | 2                               | СИ-23Г   | 230                         | 150                        | 60                       | 4,0                 | 40                   | 1                                   | ИПРКУ                         |
| РКС-2      | ГК, ННК-Т<br>(двухзондовый)      | 3                               | Сцинтилля-<br>ционный                                  | 120                         | 80                         | 90                       | 2,9                 | 80                   | 3                                   | ПРКС-1                        |
| МНК-1      | ГК, ННК-Т<br>(двухзон-<br>довый) | 3                               | Сцинтилля-<br>ционные<br>шпилье<br>СНМ-56,<br>СНМ-18-1 | 130                         | 100                        | 73                       | 5,5                 | 102                  | 3                                   | ИПРКУ                         |
| РКС-1      | ГК, ГГК<br>(двухзондо-<br>вый)   | 3                               | Сцинтилля-<br>ционный                                  | 120                         | 60                         | 90                       | 2,6                 | 100                  | 3                                   | ПРКС-1                        |
| РГП-2      | ГГК (двух-<br>зондовый)          | 3                               | Сцинтилля-<br>ционный                                  | 135                         | 80                         | 125                      | 5,3                 | 150                  | 3                                   | ИПРКУ                         |
| ИГН-4      | ИННК                             | 1                               | СНМ-18-1   | 120                         | 60                         | 90                       | 3,1                 | 75                   | 3                                   | «Десна»                       |
| ИГН-6      | ИННК,<br>ИНГК                    | 1                               | СНМ-18-1   | 120                         | 60                         | 42                       | 3,4                 | 75                   | 3                                   | «Десна»                       |
| СГДТ-3     | ГГК, ГГК                         | 3                               | Сцинтилля-<br>ционный                                  | 120                         | 60                         | 110—136                  | 2,5                 | 85—95                | 1—3                                 | ИР4-ИП                        |

$\gamma$ -квантов или нейтронов и один-два детектора, размещенные на фиксированные расстояния от источника и воспринимающие вторичное излучение, рассеянное породами. В стационарных видах нейтронного каротажа (ННК-НТ, ННК-Т, НГК) тип регистрируемого излучения определяется свойствами детектора. В импульсных видах НК существенным параметром являются также интервалы времени, спустя которые производится регистрация вторичного поля нейтронов или  $\gamma$ -квантов. Для регистрации их излучения применяются те же детекторы, что и в стационарных видах НК. Электронные схемы преобразования зарегистрированных  $\gamma$ -квантов или нейтронов в импульсы напряжения аналогичны схемам, применяемым в ГК.

Для проведения ГИС широко используется аппаратура РК, обеспечивающая регистрацию кривых ГК и НГК (ННК). Скважинные приборы ДРСТ-3, СП-62, РК1-841, РЗ (табл. 6) включают детектор ГК и однозондовую установку НГК (либо ННК) и отличаются друг от друга термобаростойкостью и несущественными конструктивными особенностями. Приборы РКС-2 и МНК-1 оснащены детекторами ГК и двухзондовыми измерительными установками ННК-Т, что уменьшает влияние скважинных условий на измеряемые параметры. Для регистрации данных ГГК разработана аппаратура двух типов РКС-1 и РГП-2. Приборы содержат двухзондовые измерительные установки ГГК и детектор ГК и имеют примерно одинаковые эксплуатационные характеристики, но отличаются конструкцией прижимных устройств. В РКС-1 применено прижимное устройство с двигателем и винтовой парой, преобразующей вращение оси двигателя в угловое раскрытие рычагов, а в РГП-2 — гидравлическое устройство, управляемое электромагнитом.

Для работы с большей частью СП стационарных видов РК разработан измерительный пульт ИПРКУ-А; для управления прибором РГП-2, оснащенным прижимным устройством, к пультам добавляется специализированный БУ. Приборы РКС-1 и РКС-2 работают со своим пультом ПРКС-1. Приборы ИГН-4 и ИГН-6 предназначены для проведения ИННК и ИНГК, но отличаются друг от друга диаметром (соответственно 90 и 42 мм) и типом нейтронной трубки (УГН-1 с выходом нейтронов  $10^7$  нейтр./с и НТ-16 с выходом  $10^8$  нейтр./с). Приборы работают с временным анализатором «Десна» и блоком управления «Десна-03».

## § 55. ДЕТЕКТОРЫ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Для измерения интенсивности  $\gamma$ -излучения используют газоразрядные и сцинтилляционные детекторы, а для измерения нейтронного потока — пропорциональные и сцинтилляционные.

*Газоразрядный детектор (счетчик Гейгера—Мюллера).* В нем происходит непосредственное преобразование энергии ядерного излучения в электрические импульсы. Детектор представляет собой цилиндрический стеклянный либо металлический баллон 1,

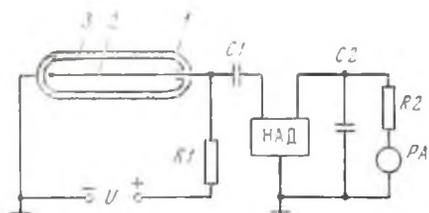


Рис. 52. Схема газоразрядного детектора

$\alpha$ - или  $\beta$ -частицы) выбивают из катода электроны, которые ускоряются под действием электрического поля, созданного источником высокого напряжения  $U$ , и вызывают в смеси газов лавинную ионизацию, заканчивающуюся появлением в счетчике электрического разряда. В цепи питания детектора проходит импульс тока, вызывающий падение напряжения на резисторе  $R1$ ; через конденсатор  $C1$  импульс подается на электронную схему. Возникающий в счетчике непрерывный разряд гасится при столкновении образовавшихся ионов с молекулами многоатомных соединений.

Эффективность преобразования ядерного излучения в электрические импульсы, определяемая как отношение числа электрических импульсов на выходе детектора к числу попавших на его поверхность  $\gamma$ -квантов или частиц, для газоразрядных счетчиков невысока и не превышает 1,5—2 %. Их разрешающая способность, под которой понимают число понижующих квантов или частиц, отмечаемых преобразователем в единицу времени, равна  $10^4$ — $10^6$  имп/с. Рабочая счетная характеристика детектора определяется зависимостью числа импульсов на выходе счетчика от напряжения  $U$ , приложенного к его электродам, при постоянной интенсивности облучения. С ростом  $U$  количество регистрируемых импульсов увеличивается, затем практически стабилизируется в определенном диапазоне изменения  $U$  и снова резко увеличивается, когда при возросшей ионизации газа отдельные лавинообразные процессы не гасятся многоатомными молекулами. Пологий участок характеристики носит название плато; рабочее напряжение счетчика выбирается на его середине. Счетчики считаются тем лучше, чем больше длина плато. У газоразрядных счетчиков типа СИ, ВС, МС протяженность плато составляет 250—300 В при наклоне 3—5 % на 100 В. Галогенные счетчики типа СГС имеют плато шириной до 200 В и угол наклона 10—15 % на 100 В.

*Пропорциональные счетчики.* Эти счетчики конструктивно выполнены так же, как и газоразрядные, но их баллон заполняется трехфтористым бором  $\text{BF}_3$ , обогащенным изотопом бора  $^{10}\text{B}$ . Тепловые нейтроны, попавшие в счетчик, захватываются  $^{10}\text{B}$  с последующим излучением быстрых  $\alpha$ -частиц. Последние ионизируют  $\text{BF}_3$  и на анодной нагрузке счетчика возникают импульсы напряжения, пропорциональные энергии частиц. Эффективность пропорциональных счетчиков достигает 8 %. Для регистрации падтеп-

заполненный смесью инертного газа и многоатомных органических (или галогенных) соединений. Внутри баллона имеются два электрода: катод 3, которым служит корпус либо металлизированная внутренняя поверхность баллона, и анод 2 в виде натянутой вольфрамовой нити (рис. 52). Попадающие на детектор  $\gamma$ -кванты (а также

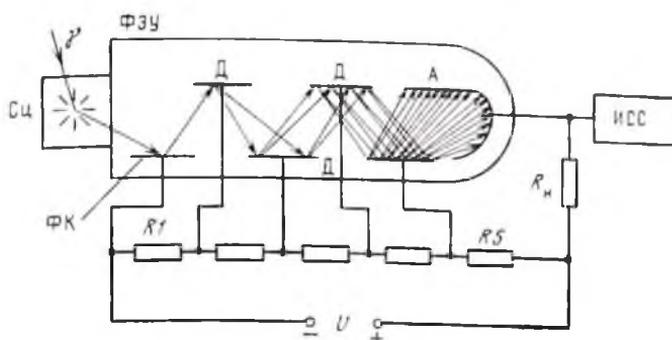


Рис. 53. Принципиальная схема регистрации интенсивности  $\gamma$ -излучения сцинтилляционным счетчиком

ловых нейтронов пропорциональный счетчик окружают слоем парафина и поверх него тонким слоем (0,5 мм) кадмия. Кадмий имеет большое сечение захвата тепловых нейтронов и пропускает через себя только надтепловые нейтроны, которые замедляются слоем парафина до энергии тепловых нейтронов и регистрируются пропорциональным счетчиком.

**Сцинтилляционный счетчик.** Включает в себя собственно сцинтиллятор Сц, в качестве которого используется кристалл активированного кадмием иодистого натрия NaJ (Тl) или крупички сернистого цинка ZnS, и фотоэлектронный умножитель ФЭУ. Последний состоит из стеклянной колбы с расположенными в ней фотокатодом ФК, динодами Д и анодом А (рис. 53). Между ФК и А приложена разность потенциалов  $U$  порядка 1500 В. Напряжение на диноды подается с делителя  $R1-R5$ . При попадании кванта (частицы) радиоактивного излучения в сцинтиллятор в нем возникает световая вспышка, под воздействием которой фотокатод ФК излучает электроны. Ускоряясь в электрическом поле ФЭУ, каждый электрон выбивает из первого динода несколько вторичных электронов. Процесс повторяется на последующих динодах, что приводит к возникновению электронной лавины, резко увеличивающей проводимость ФЭУ. В цепи питания ФЭУ возникает импульс тока, вызывающий падение напряжения на резисторе  $R_n$ , которое подается на измеритель скорости счета ИСС.

Эффективность преобразования ионизирующих квантов в электрические импульсы для сцинтилляционных детекторов составляет 20—30 % для энергий порядка  $(1 \div 3) \cdot 10^{-13}$  Дж, а для мягкого  $\gamma$ -излучения ( $1 \cdot 10^{-14}$  Дж) она достигает 70—80 %. Существенной их особенностью является пропорциональность амплитуд электрических сигналов энергии поглощенных  $\gamma$ -квантов, что позволяет измерять спектральный состав  $\gamma$ -излучения.

Для регистрации тепловых нейтронов применяют счетчик, основой которого является сцинтиллятор из порошка ZnS с бором. Порошок засыпан в пространство между тонкостенным металли-

ческим цилиндром и вставленным в него цилиндром из органического стекла с продольными прорезями. Регистрация потока нейтронов осуществляется за счет  $\alpha$ -частиц, получаемых при захвате тепловых нейтронов ядрами изотопа бора  $^{10}\text{B}$ . Энергия  $\alpha$ -частиц передается  $\text{ZnS}$ , который превращает ее в световые вспышки. Сцинтиллятор для регистрации надтепловых нейтронов получают путем покрытия описанного сцинтиллятора слоем парафина и кадмия, играющих ту же роль, что и в пропорциональных счетчиках.

*Учет статистических флуктуаций.* Гамма- и нейтронное излучение являются результатом большого числа процессов самопроизвольного распада, возникающих в отдельных атомах через произвольные и неравные интервалы времени. Поэтому интенсивность поступающего на индикатор излучения при постоянных условиях, например при неподвижном СП, непрерывно колеблется около средней величины, принимаемой за истинную. Эти колебания имеют статистический характер и вносят погрешность в результаты измерений. Для их уменьшения производят усреднение (интегрирование) наблюдений за некоторый интервал времени  $t$ , называемый постоянной интегрирования. Обычно  $t$  не превышает нескольких секунд во избежание существенного уменьшения скорости перемещения СП.

*Измеритель скорости счета.* Представляет собой электронную схему, преобразующую поток импульсов на выходе счетчика в постоянный ток или напряжение. В общем случае она состоит из нормализатора НАД выходных импульсов по амплитуде и длительности и интегрирующей RC-ячейки (см. рис. 52, R2C2). Регистрирующий прибор PA включается последовательно с резистором. Средняя величина тока на выходе интегрирующей цепочки будет пропорциональной скорости счета  $I$ , определяемой как среднее число импульсов  $N$  в единицу времени  $t$ . Действительно, известно, что количество электричества, приобретаемое конденсатором  $C_2$  при заряде током  $i_3$  за время действия импульса длительностью  $\tau_3$ , равно количеству электричества, теряемого конденсатором при разрядке током  $i_p$  в промежутке между импульсами  $t/N$ . Следовательно

$$i_3 \tau_3 = i_p t / N. \quad (\text{X.1})$$

Отсюда ток через прибор PA будет

$$i_p = i_3 \tau_3 (N/t) = i_3 \tau_3 I. \quad (\text{X.2})$$

## § 56. ПРИБОР РАДИОАКТИВНОГО КАРОТАЖА ДРСТ-3

Скважинный прибор (рис. 54) состоит из электронного блока и контейнера с источником нейтронов, помещенных в герметичный кожух 2, закрытый сверху стандартной приборной головкой (на рисунке не показана) и снизу хвостовиком 7. В нижней части электронного блока размещен детектор канала НГК, состоящий из сцинтиллятора 5 и фотоэлектронного умножителя 3, помещенных в светонепроницаемую оболочку 4 и прижатых друг к другу вин-

Рис. 54. Сквизиный прибор ДРСТ-3

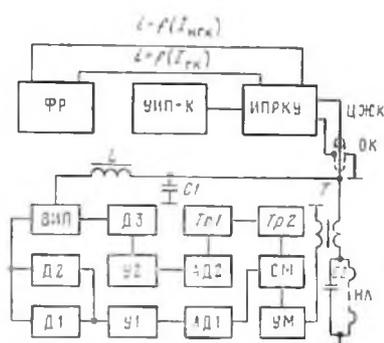
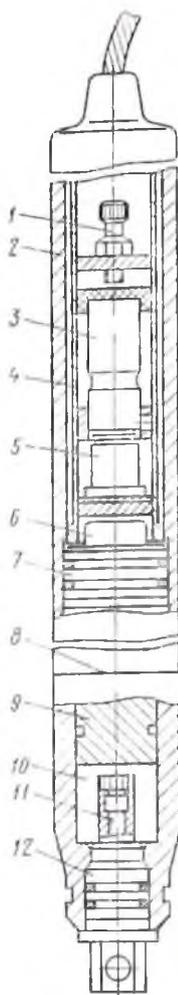


Рис. 55. Функциональная схема сквизиного прибора ДРСТ-3

том 1. Рядом с приборной головкой помещены два таких же детектора канала ГК, включенных параллельно для увеличения скорости счета. Хвостовик 7 заканчивается по поверхности 8 байонетным замком для подсоединения к СП контейнера 10 с источником нейтронов 11. Для защиты сцинтиллятора от прямого  $\gamma$ -излучения полоний-бериллиевого источника нейтронов с потоком нейтронов  $(1 \div 5) \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$  в контейнере и в хвостовике установлены свинцовые экраны 9 и 6. Снизу контейнер закрыт заглушкой 12.

Электронная схема СП питается от выпрямителя УИП-К постоянным током напряжением 150 В, который подается в цепи питания накалов ламп НЛ и высоковольтного источника питания ВИП (рис. 55). Последний вырабатывает постоянное напряжение

1500 В для питания делителей ФЭУ. Фильтр  $LC1$  защищает ВИП от информационных импульсных сигналов.

В канале ГК импульсы напряжения с выходов детекторов Д1 и Д2 усиливаются усилителем У1, нормализуются дискриминатором АД1 по амплитуде и длительности и в виде импульсов положительной полярности длительностью 35 мкс подаются на смеситель См. В канале НГК импульсы с детектора Д3 усиливаются усилителем У2, нормализуются дискриминатором АД2 по амплитуде, пересчитываются в отношении 1 : 2 счетным триггером Тр1 и сформированные одновибратором Тр2 в виде импульсов отрицательной полярности длительностью 35 мкс также поступают на смеситель См. Смеситель пропускает импульсы любой полярности при их одновременном поступлении и только положительные импульсы канала ГК, если одновременно поступает два разнополярных импульса. Это уменьшает погрешность измерения в канале ГК, скорость счета в котором меньше, чем в канале НГК. Максимальная скорость счета в канале ГК —  $3,2 \cdot 10^3$  имп/с, в канале НГК вдвое выше. После См импульсы усиливаются по мощности усилителем УМ и через трансформатор Т и конденсатор С2 поступают в ЦЖК. В наземном пульте ИПРКУ-А потоки разнополярных импульсов ГК и НГК разделяются по каналам и преобразуются в значения токов, пропорциональные скорости счета в каналах. Кривые записываются регистратором ФР каротажной лаборатории.

## § 57. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПУЛЬТ ИПРКУ-А

Пульт предназначен для разделения и преобразования в постоянный ток и в цифровой код для вывода на магнитный носитель до четырех независимых потоков статистически распределенных импульсов, различающихся по амплитуде и полярности. Максимальная частота следования входных импульсов в каждом потоке 12800 имп/с. Пульт содержит сменный блок коммутации БК, вместо которого могут устанавливаться специальные вычислительные устройства для гамма-гамма- или многозондового НК.

Информационные сигналы от СП поступают в блок контроля БлК на трансформатор Т2 при работе с одножильным или на трансформатор Т1 при работе с трехжильным кабелем и в противофазе подаются на входы усилителей У1 и У2 или У3 и У4 (рис. 56). Рабочие точки усилителей выбраны так, что усилители пропускают только положительные импульсы. Поэтому усилители У2 и У4 усиливают импульсы, имеющие на входе пульта положительную полярность, а У1 и У3 — отрицательную. Уровни сигналов на входах У1—У4 регулируются резисторами R1—R4.

Усиленные сигналы через переключатель S1 режима работы подаются на входы блоков Iк—IVк преобразования, одинаковых для всех четырех информационных потоков. В каждом блоке (на рис. 56 детально показан блок IVк) импульсы проходят через селектор Сел и запускают одновибратор Тр. В состав Сел входят регулятор уровня сигналов, дискриминатор и собственно селектор.

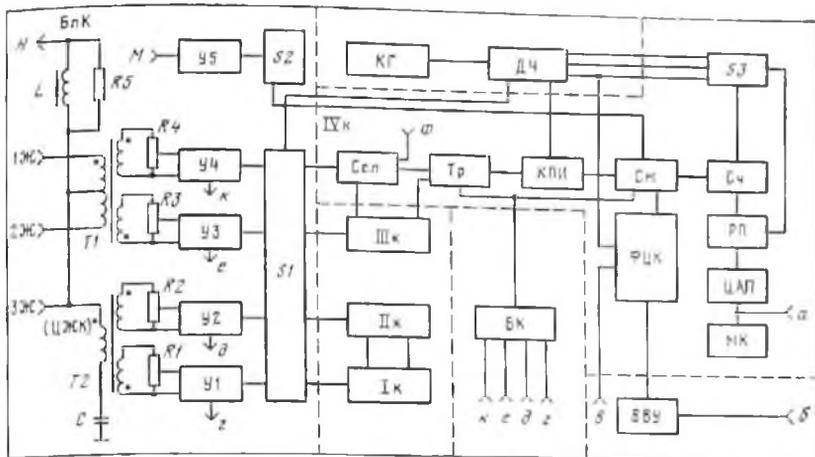


Рис. 56. Функциональная схема измерительного пульта ИПРКУ-А

В исходном состоянии Сел открыт и на его выход проходят все импульсы, на которые срабатывает дискриминатор. Режим селекции сигналов по амплитуде реализуется при одновременном прохождении импульсов по двум соседним блокам, например IIIк и IVк. В этом случае одновибратор Тр блока IVк вырабатывает запрещающий сигнал для селектора блока IIIк, аналогично одновибратор блока IIIк вырабатывает запрещающий сигнал для селектора блока IVк. При этом уровни сигналов на входах Сел соседних блоков регулируют так, чтобы дискриминатор блока IIIк срабатывал только на импульсы большой амплитуды, а блока IVк — на все импульсы. Тогда на выходе Сел блока IVк будут присутствовать только импульсы уменьшенной амплитуды, а на выходе Сел блока IIIк — импульсы большой амплитуды.

Длительность импульсов, вырабатываемых Тр, регулируется дискретно и устанавливается равной 15; 30; 60; 120 и 240 мкс. За время работы Тр может прийти информационный импульс, на который одновибратор не срабатывает, что может привести к потере информации. Компенсация просчета входных импульсов осуществляется с помощью КПИ. Компенсатор КПИ вырабатывает компенсирующие импульсы при условии, что задний фронт импульса Тр совпадает во времени со вспомогательным импульсом равной с ним длительности, формирование которого производится в КПИ периодически с частотой 200 Гц, задаваемой делителем частоты ДЧ.

В смесителе См компенсирующие импульсы суммируются с основным потоком импульсов от Тр и поступают на две схемы, преобразующие поток импульсов в постоянный ток и формирующие из него цифровой код. В схеме преобразования в постоянный ток импульсы поступают на вход восьмиразрядного двоичного счетчика

Сч. Время заполнения счетчика определяется положением переключателя  $S3$  («Масштаб»), на который от делителя частоты ДЧ подаются управляющие импульсы с частотой следования 50; 25—0,195 Гц. Делитель ДЧ в свою очередь управляется опорным кварцевым генератором КГ. Период следования управляющих импульсов выбирается таким, чтобы Сч не переполнялся при максимальной скорости счета. Переполнение Сч контролируется по свечению контрольной лампы. Теми же управляющими импульсами выдается команда на перезапись из Сч в регистр памяти РП, а с задержкой на 5 мкс Сч сбрасывается на нуль, подготавливаясь к новому циклу наполнения. К РП подключен цифроаналоговый преобразователь ЦАП. Выходное сопротивление ЦАП вместе с одним из конденсаторов магазина конденсаторов МК образует интегрирующую цепочку с постоянной времени 0,75; 1,5; 3; 6; 12 с. Выходной ток ЦАП, пропорциональный интенсивности потока импульсов, выводится на регистратор (выход «а»).

Схема формирования цифрового кода ФЦК для записи на магнитный носитель работает по алгоритму  $n = x/y$ , где  $n$  — измеренное среднее значение интенсивности потока импульсов за время прохождения СП интервала квантования по глубине:  $x$  и  $y$  — соответственно количество зарегистрированных и таймерных импульсов частотой 50 Гц за это время. Импульсы квантования по глубине, определяющие режим работы схемы, подаются от датчика глубины по входу «в», таймерные импульсы поступают от делителя ДЧ, а информационные импульсы — от смесителя См. Схема ФЦК подключается к магнитному регистратору через внешнее выводное устройство ВВУ.

В блоке коммутации БК расположено устройство коррекции просчетов импульсов, обусловленных взаимным влиянием каналов в СП. На входы устройства коррекции подаются импульсы с выходов триггеров Тр всех четырех каналов, а выходные импульсы с интенсивностью  $\Delta n$ , равной числу пропущенных импульсов, поступают на вторые входы усилителей У1—У4 блока БлК по выходам «г, д, е, к».

В блоке контроля БлК через переключатель  $S2$  и усилитель У5 выходные информационные импульсы каналов со смесителя См поступают на контрольное гнездо «Пересчет» (вывод «л»), а импульсы Сел с отметкой срабатывания дискриминаторов — на гнездо «Осциллограф» (вывод «ф»). Для калибровки блоков преобразования на их входы подаются импульсы частотой 50 Гц от ДЧ через переключатель  $S1$ .

Питание СП осуществляется из пульта через разъем «н». Дроссель  $L$  и резистор  $R5$  предотвращают шунтирование центральной жилы кабеля ЦЖК низкоомным источником питания. Конденсатор  $C$  исключает замыкание на корпус пульта напряжения постоянного тока.

## § 58. АППАРАТУРА МНОГОЗОНДОВОГО НЕЙТРОННОГО КАРТАЖА МНК-1

Аппаратура МНК-1 состоит из СП, измерительного пульта ИПРКУ-А и блока управления. Отличие СП от прибора ДРСТ-3 заключается в том, что в нижней части электронного блока установлены два детектора тепловых нейтронов на расстояниях от источника 0,41 ( $I_m$  — малый зонд) и 0,87 м ( $I_6$  — большой зонд). Детектор малого зонда содержит один счетчик СМ-56, детектор большого зонда — два счетчика СМ-18. Прибор имеет систему перемещения блока детекторов на фиксированное расстояние, что позволяет увеличивать расстояния  $I_m$  и  $I_6$  на  $\Delta l = 0,15$  м. Свободное пространство под блоком детекторов, образующееся при их перемещении, заполняется водородсодержащей жидкостью для дополнительного экранирования от прямого излучения источника нейтронов.

При исследовании скважины за первую СПО измеряют интенсивности тепловых нейтронов  $I_{m1}$  и  $I_{61}$  при длинах зондов  $I_m$  и  $I_6$ , а за вторую СПО —  $I_{m2}$  и  $I_{62}$  при длинах зондов  $I_m + \Delta l$  и  $I_6 + \Delta l$  и вычисляют отношения

$$A = I_{m1}/I_{61}; \quad (X.3)$$

$$\alpha_m = \ln(I_m/I_{m1})/\Delta l; \quad \alpha_6 = \ln(I_6/I_{62})/\Delta l. \quad (X.4)$$

Водородосодержание пород определяется по значениям  $\alpha_m$  либо  $\alpha_6$  с использованием зависимостей, полученных на моделях. В случае больших интервалов исследования измерения  $I_{m2}$  и  $I_{62}$  выполняются в небольшой части разреза с целью определения зависимости между  $A$  и  $\alpha$ , а далее находят величину  $\alpha$  по измерениям  $I_m$  и  $I_6$  и вычисленным значениям  $A$ .

Детектор канала ГК содержит два кристалла NaJ (Тl) и расположен в верхней части СП.

## § 59. АППАРАТУРА ГАММА-ГАММА-КАРТАЖА РКС-1

Скважинный прибор состоит из корпуса 1, в котором сверху вниз размещены детектор канала ГК, электронная схема, управляемое прижимное устройство, и зондовой части 2 с источником  $\gamma$ -излучения 11, а также детекторами 4 и 7 рассеянного гамма-гамма-излучения (рис. 57). В качестве источника излучения применен изотоп  $^{137}\text{Cs}$ ; детекторами служат сцинтилляционные кристаллы NaJ (Тl). Излучение источника проходит в породу через коллиматор 10, выполненный в вольфрамовом экране 9, под углом  $60^\circ$  к оси СП, а рассеянное  $\gamma$ -излучение попадает на детекторы через коллиматоры 5 и 8 в свинцовом экране 3. Окна коллиматоров закрыты пробками из полиэтилена. Прямое влияние источника на детекторы устраняется вольфрамовыми экранами 9 и 6. Скважинный прибор прижимается к стенке скважины прижимным устройством многократного действия стороной, на которой расположены коллимационные окна.

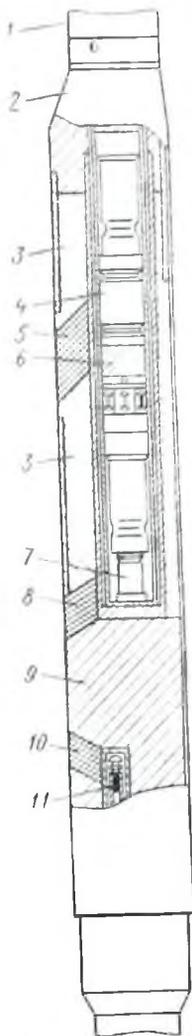


Рис. 57. Скважинный прибор РКС-1

Информационные импульсы с детекторов Д1 и Д2 каналов ГГК и детектора Д3 канала ГК проходят через идентичные схемы преобразования, включающие двухкаскадные усилители У1—У3, нормализаторы амплитуды и длительности НАД1—НАД3, схемы пересчета на двух триггерах Тр1—Тр3, уменьшающие поток импульсов в кабеле, и усилители мощности УМ1—УМ3 (рис. 58). Импульсы каналов ГГК со вторичной обмотки трансформатора Т1 в противофазе поступают на первую (1 ж) жилу кабеля, а импульсы канала ГК в отрицательной полярности с трансформатора Т2 — на вторую (2 ж) жилу.

По первой жиле кабеля на СП подается питающее положительное напряжение или отрицательное напряжение на двигатель М привода прижимного устройства. Реверс двигателя М достигается переключением контакта К1.1 реле К1, срабатывающего от отрицательного напряжения, подаваемого с поверхности по второй жиле. Фотоумножители детекторов Д1—Д3 питаются от высоковольтного источника ВИП. Индуктивность L и конденсатор С образуют фильтр, развязывающий ВИП от электронной схемы СП.

В пульте ИП импульсы ГГК разделяются селектором Сел по каналам, нормализуются по длительности амплитудными дискриминаторами АД1 и АД2, преобразуются логарифмическими измерителями скорости счета ИЛ1 и ИЛ2 и через усилитель сигналов УПС поступают на вычислитель объемной плотности ВОП, с выхода которого снимается напряжение, пропорциональное величине

$$\delta_{06} = K_1 \lg I_M / I_{M3} + K_2 \lg I_0 / I_{03} + K_3, \quad (X.5)$$

где  $I_M$  и  $I_{M3}$  — скорости счета в первом канале против исследуемого пласта и в эталонной среде;  $I_0$  и  $I_{03}$  — то же во втором канале;  $K_1—K_3$  — коэффициенты, задающие положение прямой  $\delta_{06}$  в системе координат  $I_M / I_{M3}$  и  $I_0 / I_{03}$ .

Канал ГК пульта включает амплитудный дискриминатор АД3, измеритель скорости счета ИСС и усилитель мощности УМ4, с выхода которого снимается напряжение, пропорциональное показаниям ГК. Для калибровки канала ГК применен калибратор КУ.

Аппаратура комплектуется калибровочным устройством, со-

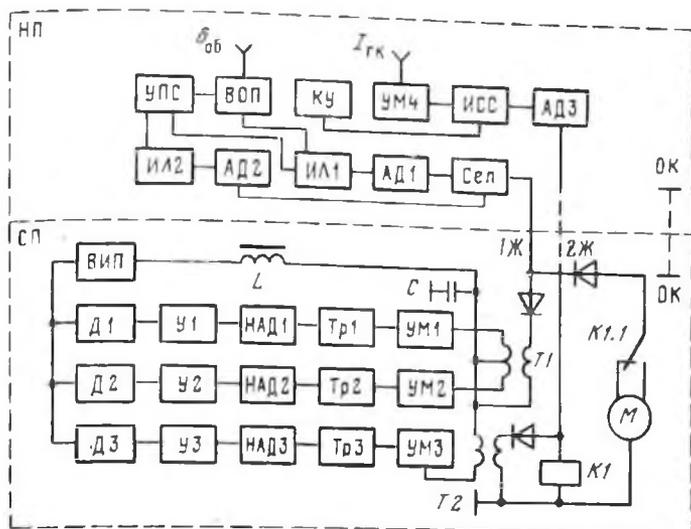


Рис. 58. Функциональная схема скважинного прибора РКС-1

стоящим из алюминиевого блока и двух вкладышей: алюминиевого и винилпластового. С их помощью имитируются два значения объемной плотности для пластов без глинистой корки и с коркой.

#### § 60. АППАРАТУРА ИМПУЛЬСНОГО НЕЙТРОННОГО КАРОТАЖА ИГН-4

Аппаратура состоит из СП и трех наземных блоков: согласованная «Десна-03», временного анализатора «Десна-02» и пересчета ИГН-4-03 (рис. 59). Скважинный прибор питается через «Десну-03» переменным напряжением от УГ-1, а «Десна-02» и блок пересчета — от выпрямителя УИП-К каротажной лаборатории.

Скважинный прибор включает в себя ускорительную нейтронную трубку УГН-1 и детектор тепловых нейтронов СНМ-18 с блоками питания и управления. Ускорительная трубка — это заполненный дейтерием стеклянный баллон, в котором расположены патекатель 1, выполненный в виде насыщенной дейтерием спирали из титановой ленты, вольфрамовый катод 2, никелевый ионный источник 3, диафрагма 4, высоковольтный анод 5 с титано-третиевой мишенью 6. Электроны, испускаемые катодом, ускоряются разностью потенциалов, приложенной между катодом и анодом ионного источника. В осевом магнитном поле внешнего магнита МП электроны совершают колебательные движения, ионизируя дейтерий, заполняющий источник. Осмотическое давление дейтерия, при котором происходит ионизация, поддерживается патекателем, выделяющим дейтерий при нагревании. От трансформатора ТЗ на анод 5 подается переменное напряжение частотой 360—440 Гц.

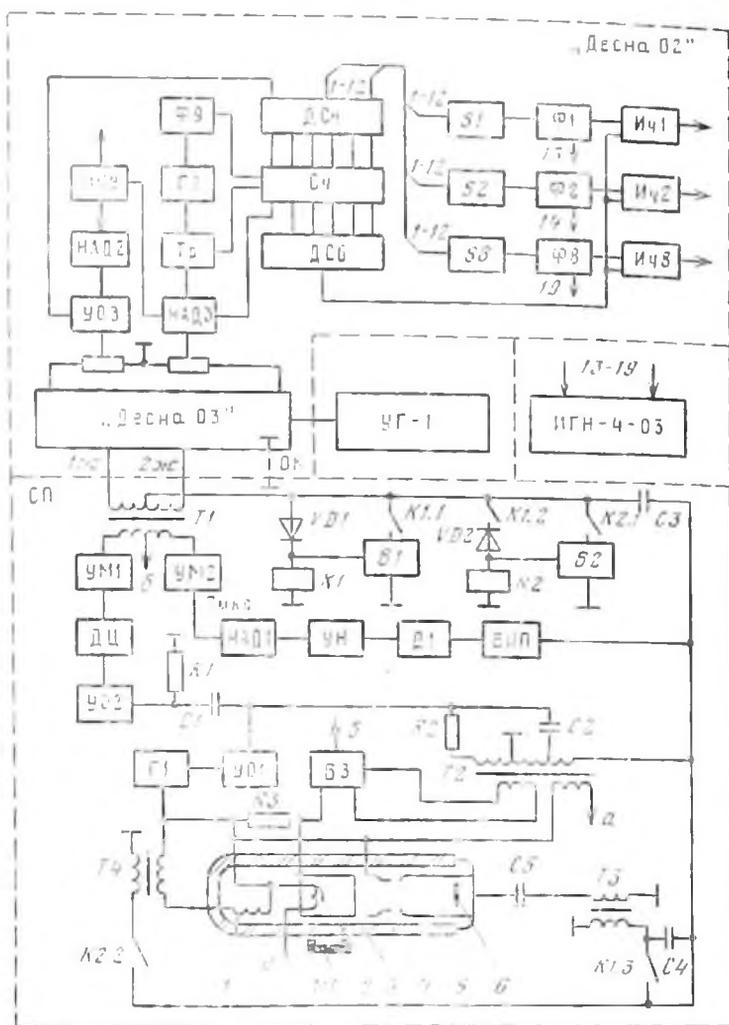


Рис. 59. Функциональная схема аппаратуры ИГН-4

При положительном полупериоде этого напряжения трубка работает как кенотрон, заряжая конденсатор  $C5$  до натяжения 40 кВ (амплитудное значение). В отрицательный полупериод к аноду прикладывается двойное амплитудное напряжение 80 кВ, равное сумме напряжений на  $C5$  и обмотке  $T3$ . Под действием отрицательного электрического поля анода положительные ионы дейтерия «вытягиваются» из ионного источника, приобретают в ускоряющем промежутке между катодом и анодом энергию 80—100 кэВ и бомбардируют тритиевую мишень, вызывая излучение быстрых нейтронов с энергией 14 МэВ.

Для работы генератора в импульсном режиме в приборе вырабатываются два положительных импульса, подаваемых на ионный источник  $Z$  в моменты максимальных значений положительного и отрицательного напряжения на аноде  $5$ . Совпадение управляющих импульсов с максимумами напряжения синхронизируется фазовращательной цепочкой  $R2C2$ . Синусоидальное напряжение с нее после усилителя-ограничителя УО1 поступает на запуск генератора Г1, который вырабатывает импульс длительностью 200 мкс в положительный полупериод питающего напряжения на аноде  $5$  и импульс длительностью 100 мкс в отрицательный полупериод. Импульсы снимаются с резистора  $R3$ , подключенного к выпрямителю ВЗ. Для синхронной работы наземных пультов и СП в приборе формируются маркерные импульсы путем ограничения синусоидального питающего напряжения усилителем УО2, дифференцированием цепочкой ДЦ, усилением импульсов одной полярности по мощности усилителем УМ1 и передачей их на поверхность в отрицательной полярности через трансформатор Т1. Маркерный импульс формируется за 40—50 мкс перед началом генерирования быстрых нейтронов; синхронизация обеспечивается фазосдвигающей цепочкой С1R1. Такой сдвиг необходим для устранения потери импульсов, связанных с совпадением маркерных и первых счетных импульсов, которые появляются спустя 7—10 мкс после начала излучения нейтронов.

Зарегистрированные детектором Д1 импульсы усиливаются усилителем напряжения УН, нормализуются по амплитуде и длительности НАД1 и через усилитель мощности УМ2 и трансформатор Т1 подаются в положительной полярности на поверхность. Питается детектор от высоковольтного источника ВИП.

В СП предусмотрена система коммутации, позволяющая включать нагрев натекателя и подавать полное напряжение на анод  $5$  только в режиме измерения. Для этого в блоке «Десна-03» вырабатываются две серии разнополярных импульсов. При поступлении в СП положительных импульсов заряжается конденсатор С3 и срабатывает реле К1, замыкая контактами К1.3 конденсатор С4, ограничивающий высокое напряжение, и подготавливая контактами К1.2 цепь питания реле К2. С поступлением отрицательных импульсов срабатывает реле К2, подключающее контактами К2.2 трансформатор Т4, питающий натекатель. Контактными К1.1 и К2.1 цепи питания обмоток реле К1 и К2 подключаются к выпрямителям В1 и В2, удерживающим реле во включенном состоянии.

В наземных пультах маркерные и счетные импульсы выделяются в блоке «Десна-03» и подаются на анализатор «Десна-02». Счетные импульсы усиливаются и ограничиваются УО3, нормализуются дискриминатором НАД2 и разделяются по двум ветвям — на цифровой интегральный счетчик ИЧ9 и на дешифратор счета ДСч временного анализатора. Маркерные импульсы нормализуются дискриминатором НАД3, переводят в нулевое состояние интегральный счетчик ИЧ9 и счетчик Сч временного анализатора, а также переводят триггер Тр в логическое состояние «1». Триггер откры-

вает генератор ударных колебаний Г2, вырабатывающий синусоидальные колебания с периодом 150 мкс. Эти колебания ограничиваются формирователем Ф9 и поступают на счетчик Сч.

При заполнении счетчика Сч вырабатывается импульс, возвращающий Тр в исходное состояние; одновременно запирается генератор Г2. Время заполнения Сч определяет время анализа и составляет для ИГН-4 и ИГН-6 0—2100 и 0—4500 мкс соответственно. К счетчику подключены дешифраторы счета ДСч и сброса ДСб. Дешифратор счета имеет 12 выходов «1—12», на каждом из которых присутствуют счетные импульсы во временном окне длительностью 150 мкс; по мере увеличения номера выхода увеличивается время задержки этого окна относительно маркерного импульса. Все 12 выходов ДСч подключаются переключателями S1—S8 к любому из восьми каналов дешифратора. В каналах счетные импульсы еще раз формируются по длительности формирователями Ф1—Ф8 и поступают на измерители средней частоты ИЧ1—ИЧ8, преобразующие дискретную форму информации в аналоговую. С выходов ИЧ1—ИЧ8 напряжения постоянного тока подаются на регистратор лаборатории. Перевод счетчиков в нулевое состояние производится импульсами с дешифратора сброса. Счетные импульсы выходов Ф1—Ф8 регистрируются также пересчетными устройствами ИГН-4-03.

#### § 61. ГАММА-ПЛОТНОМЕР-ТОЛЩИНОМЕР СГДТ-3

Прибор предназначен для одновременного определения качества цементирования и толщины обсадных колонн внешним диаметром 146—168 мм. Прибор эксплуатируется самостоятельно или вместе с акустическим цементомером входит в состав комплексного прибора ЦМГА.

Принцип работы СП (рис. 60) заключается в регистрации двумя зондами различной длины рассеянного  $\gamma$ -излучения от установленного в нижней части прибора точечного источника  $10^{137}$  Cs. Детектор 6 короткого зонда-толщиномера размещен в герметичном стальном кожухе 3 на расстоянии 190 мм от источника. Это расстояние и углы наклона коллимационных отверстий 7 и 9 выбраны так, что интенсивность регистрируемого рассеянного  $\gamma$ -излучения определяется толщиной стенки обсадной колонны. Детектор 4 длинного зонда плотномера состоит из трех размещенных по окружности через  $120^\circ$  сцинтилляционных счетчиков, удаленных на 420 мм от источника. Интенсивность рассеянного  $\gamma$ -излучения, регистрируемая этим детектором, зависит в основном от объемной плотности вещества в затрубном пространстве, что позволяет определять наличие и состояние цементного камня за колонной. Для защиты детекторов от прямого излучения источника между ними установлен свинцовый экран 8. Устранение фона излучения, рассеянного заполняющей скважину жидкостью, добиваются уменьшением зазора между кожухом СП и стенкой колонны до 8—10 мм. Поэтому при исследовании колонн диаметром 168 мм на СП надевается стальной вытеснитель жидкости 5.

Рис. 60. Аппаратуры СГДТ-3

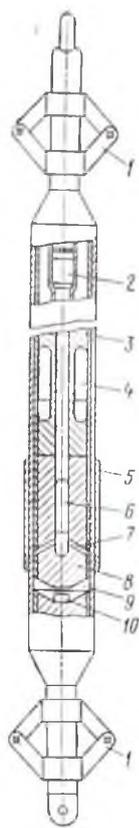
В верхней части СП установлен детектор 2 канала ГК, используемого для привязки по глубине кривых толщиномер и плотномер. Прибор центрируется в скважине рычагами 1, обеспечивающими его устойчивое положение при углах наклона скважины до  $30^\circ$ .

Электронная схема СП принципиально не отличается от схемы прибора РКС-1, выполнена на интегральных микросхемах и обеспечивает формирование, регистрацию и передачу на поверхность сигналов по трехжильному бронированному кабелю длиной до 3500 м. При работе на одножильном кабеле или в составе прибора ЦМГА выходные усилители СП подключаются к общей шине, связанной с центральной жилой кабеля и расположенной в блоке стыковки, который входит в состав ЦМГА. Блок обеспечивает отключение сигналов СГДТ-3 от ЦЖК на время передачи информации акустического цементомера. Управляющие импульсы подаются в блок из акустической части ЦМГА.

#### § 62. КАЛИБРОВКА АППАРАТУРЫ РАДИОАКТИВНОГО КАРОТАЖА. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Наземные пульты устанавливают в ячейки каротажной лаборатории или на рабочем столе и соединяют их с блоками питания, регистратором, контрольным осциллографом и кабелем. Лабораторию, подъемник и пульты заземляют. Подсоединяют к кабелю СП, подают на него напряжение питания, производят калибровку аппаратуры и устанавливают масштабы регистрации кривых. Аппаратуру ГК калибруют с помощью перевозимых калибров, имитирующих плотность пород. Аппаратуру ГК и НГК калибруют на базе, а на скважине масштабы записи устанавливают с помощью встроенных в наземные пульты кварцевых калибраторов.

Перед спуском СП в скважину в зондовое устройство устанавливают источник нейтронов или гамма-излучения. Для обеспечения безопасности источник, помещенный в контейнер 10 СП (см. рис. 54), транспортируют на устье скважины в специальном транспортировочном контейнере. На устье СП поднимают талевым устройством и опускают его вертикально на контейнер 10 так, чтобы обеспечить их соединение байонетным замком. Опускают СП в скважину через транспортировочный контейнер, а кабель выводят через специальную прорезь в нем. Подъем СП и отсоединение от него камеры с источником производят в обратном порядке.



Запись кривых РК выполняют при подъеме СП. Скорость проведения измерений выбирают в зависимости от средней скорости счета, постоянной времени и минимальной толщины пластов, для которых необходимо получить количественную информацию. Обычно она не превышает 0,1—0,2 м/с.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Принцип регистрации гамма-излучения газоразрядным и сцинтилляционным детекторами.
2. Устройство и принцип работы аппаратуры ДРСТ-3.
3. Устройство и принцип работы аппаратуры РКС-1.
4. Принцип работы импульсного генератора нейтронов.

#### ГЛАВА XI

### АППАРАТУРА АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА

#### § 63. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ АППАРАТУРЫ

Акустические исследования применяются для изучения геологических разрезов скважин [акустический каротаж (АК)] и качества цементирования обсадных колонн [акустическая цементометрия (АЦК)]. В исследованиях используются волны двух типов: головные, образующиеся при излучении упругих импульсов излучателями СП и распространяющиеся вдоль стенки скважины или колонны к приемнику, и волны, отраженные стенкой скважины или колонны назад к излучателю СП.

Приборы на головных волнах СПАК-4; 6; 8 и АКН-1 (табл. 7) предназначены для исследования необсаженных скважин. Они содержат трехэлементный акустический зонд с двумя излучателями и одним приемником и работают с наземным пультом АНК-М. Приборы типа СПАК позволяют измерять преимущественно характеристики продольной головной волны: интервальное время  $\Delta t$  и эффективное затухание  $\alpha$  на базе между двумя излучателями, амплитуды  $A_1$ ,  $A_2$  и времена  $t_1$  и  $t_2$  распространения волны от ближнего и дальнего излучателей к приемнику. Относительные погрешности измерения величины  $\Delta t$  не более  $\pm 3\%$ , величины  $\alpha$   $\pm 5\%$ , остальные параметры используются как контрольные и регистрируются с большей погрешностью. В благоприятных случаях могут быть зарегистрированы также амплитуды  $A_{1s}$ ,  $A_{2s}$  и эффективное затухание  $\alpha_s$  поперечной головной волны. Низкочастотный СП АКН-1 имеет длинные измерительные зонды, что способствует разделению продольной и поперечной головных волн и их уверенной регистрации. Ограничение данного СП заключается в значительном затухании продольной волны на больших длинах зондов и вследствие этого неуверенной регистрации  $\Delta t$ . Приборы АКН-1 дополнительно комплектуются регистратором фазокорреляционных диаграмм ИФКД-1, подключаемым к АНК-М.

Акустический цементометр АКЦ-4 включает в себя излучатель и приемник, расположенные на расстоянии 2,8 м друг от друга

Таблица 7

Технические характеристики скважинных приборов для акустических исследований

| Прибор | Измерительный зонд                        | Частота излучаемых колебаний, кГц | Масса, кг | Диаметр, мм | Длина, м | Рабочая температура, °С | Рабочее давление, МПа | Измеряемые параметры                   |
|--------|---|-----------------------------------|-----------|-------------|----------|-------------------------|-----------------------|--|
| СПАК-4 | И <sub>2</sub> О, 5И <sub>1</sub> , 5П    | 28                                | 95        | 80          | 5,3      | 150                     | 100                   | $\Delta t, t_1, t_2, \alpha, A_1, A_2$ |
| СПАК-6 | И <sub>2</sub> О, 4И <sub>1</sub> , 2П    | 12,5; 24                          | 75        | 90          | 3,5      | 120                     | 80                    | То же                                  |
| СПАК-8 | И <sub>2</sub> О, 4И <sub>1</sub> , 2П    | 12,5; 24                          | 90        | 90          | 4,0      | 150                     | 100                   | »                                      |
| АКН-1  | И <sub>2</sub> 1, ОИ <sub>1</sub> , 4, ОП | 12                                | 150       | 100         | 9,3      | 120                     | 80                    | »                                      |
|        | И <sub>2</sub> О, 5И <sub>1</sub> , 5П    | 30                                | 150       | 100         | 4,5      | 120                     | 80                    | »                                      |
| АКЦ-4* | И <sub>2</sub> , 8П                       | 28                                | 55        | 80          | 3,3      | 150                     | 100                   | $A_k, A, A_p, t_p$                     |
| САТ-1  | —   | 1000                              | 110       | 100         | 3,4      | 120                     | 60                    | Фотография стенки скважины             |

Примечание. Все приборы предназначены для работы с трехжильным кабелем: прибор АКЦ-4 с одножильным кабелем.

и работает со своим наземным пультом. Параметрами по которым судят о наличии цементного кольца за обсадной колонной и его сцеплении, служат время распространения  $t_p$  и амплитуда  $A_p$  продольной головной волны, распространяющейся по породе за обсадной колонной, и амплитуда  $A_k$  волны по колонне. Погрешность измерений не регламентируется.

Основу акустического телевизора САТ-1 составляет вращающийся вокруг своей оси совмещенный излучатель-приемник, сканирующий стенку скважины или колонны. Амплитуда  $A_{отр}$  отраженного импульса позволяет судить о техническом состоянии отражающей стенки: наличии трещин и порывов обсадной колонны, трещин, каверн в породах и границ пород различного литологического состава в необсаженной скважине. Частота излучаемых упругих импульсов определяет разрешающую способность САТ-1, которая не превышает 2 мм.

#### § 64. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПУЛЬТ АНК-М

Пульт АНК-М (рис. 61) состоит из трех блоков: управления БУ, обработки БО, питания БП. Каждый СП имеет свой блок управления. В блоке управления прибором СПАК-6 формирователем запуска излучателей ФЗИ вырабатывается последовательность разнополярных, синхронизованных частотой 400 Гц пусковых импульсов ИП1 первого и ИП2 второго каналов (рис. 62, а), передаваемых в СП по третьей жиле кабеля. В режиме измерений по этой жиле от СП также подаются синхриимпульсы ИС1 и ИС2. Они отделяются от пусковых импульсов схемой ВИС выделения синхриимпульсов и направляются в БО по каналам ИС1, ИС2 и после смещения их — по каналу ИС3. Информационные сигналы (рис. 62, б) поступают из СП по первой и второй жилам кабеля, отделяются от питающего напряжения трансформатором  $T$ , проходят активный фильтр АФ с полосами пропускания 15—45 и 8—45 кГц, уменьшающий уровень помех от движения СП в скважине, и подаются в БО. В режиме калибровки схемы ВИС и АФ отключаются от СП и на их входы через переключатели  $S5$  и  $S2$  поступают импульсы синхронизации и сигналы из БО.

Для дистанционного управления коэффициентом усиления СП служит источник калиброванных напряжений ИКН, подключаемый к третьей жиле кабеля переключателем  $S4$ . Переключателем  $S1$  изменяется фаза входного сигнала на  $180^\circ$ , а переключателем  $S3$  включается питание СП.

В блоке обработки формируются импульсы  $t_1$  и  $t_2$ , длительность которых пропорциональна времени пробега упругих волн от ближнего  $t_1$  и дальнего  $t_2$  излучателей к приемнику; получаются напряжения, пропорциональные длительности этих импульсов и их разности ( $\Delta t = t_2 - t_1$ ); выделяются и преобразуются в постоянное напряжение амплитуды продольных ( $A_{P1}$ ,  $A_{P2}$ ) и поперечных ( $A_{S1}$  и  $A_{S2}$ ) волн; получаются напряжения, пропорциональные

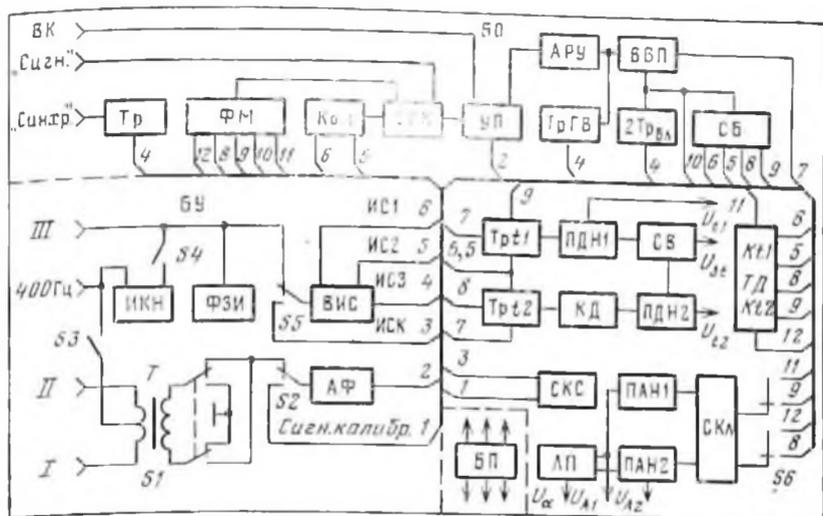


Рис. 61. Функциональная схема пульта АНК-М

затуханию  $\alpha$ ; формируются калибровочные сигналы и сигналы для осуществления визуального контроля за работой аппаратуры. Формирование импульсов  $t_1$  и  $t_2$  производится поочередно триггерами  $Тр t_1$  и  $Тр t_2$ . Начинается формирование в момент прихода импульсов синхронизации ИС1, ИС2 и заканчивается с приходом второго полупериода полезного сигнала (см. рис. 62, б и в, отметка В). Второй полупериод выделяется одноименной схемой ВВП, которая работает в двух режимах. В первом из сигнала после окончания действия импульсов ручной  $t_{р.сл}$  (рис. 62, д) или следящей  $t_{сл.бл}$  (рис. 62, е) блокировок она выделяет первый положительный полупериод, если только он превысит заданный пороговый уровень. Во втором режиме, предназначенном для подавления помехи, проявляющейся в виде регулярно присутствующего ложного первого положительного полупериода (см. пунктир на рис. 62, б, в), положительный полупериод пропускается на выход схемы только в том случае, если перед ним имеется отрицательный полупериод. Таким образом производится отфильтровывание ложного полупериода.

Для повышения устойчивости работы ВВП входной сигнал усиливается схемой автоматической регулировки усиления АРУ, обеспечивающей небольшое изменение сигналов на выходе усилителя при изменении на входе в пределах двух порядков. Вместе с сигналом АРУ на тот же вход схемы ВВП подается импульс, соответствующий заднему фронту импульса одновибратора  $ТрГВ$  гидроволны. Длительность последнего импульса выбирается несколько большей, чем максимально возможное время прихода продольной и поперечной волн, и поэтому он не мешает приему сигнала. При отсутствии или сильном затухании сигналов продольной и поперечной волн импульс прихода гидроволны завершает формирование

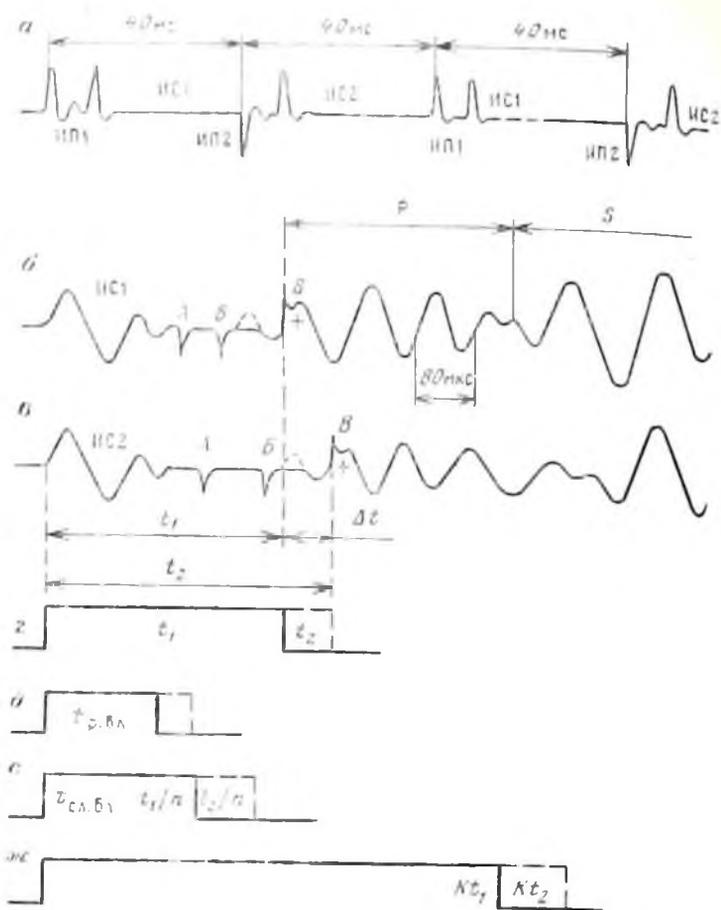


Рис. 62. Временные диаграммы работы пульта АНК-М

импульсов  $t_1$  и  $t_2$ , что позволяет сохранить нормальный режим функционирования БО. Схема ВВП блокируется поступающими на нее сигналами  $t_{р. бл}$  или  $t_{сл. бл}$ . Импульсы  $t_{р. бл}$  формируются одновибраторами.  $2T_{р. бл}$  позволяют закрывать ВВП на время прохождения по кабелю синхронимпульсов и сопутствующих им переходных процессов в кабеле. Импульсы  $t_{сл. бл}$  вырабатываются схемой следящих блокировок СБ, уменьшающих длительность импульсов  $t_1$  и  $t_2$  в  $n$  раз. Следящая блокировка помогает уменьшить влияние случайных помех, так как время открытого состояния ВВП перед приходом сигнала уменьшается до 50—80 мкс, а при ручной блокировке оно меняется от 50 до 900 мкс. Следящая блокировка может отключаться или работать одновременно с ручной блокировкой.

Преобразование импульсов  $t_1$  и  $t_2$  в постоянные напряжения производится безынерционными преобразователями длительность — напряжение ПДН1 и ПДН2, а напряжение, пропорциональное  $\Delta t$ ,

снимается со схемы вычитания СВ. Для компенсации не информативной части  $\Delta t$  от 0 до 140—200 мкс/м между Тр  $t_1$  и ПДН2 включен компенсатор КД, уменьшающий длительность импульса  $t_2$  на 50, 100 или 200 мкс.

Преобразователями амплитуда — напряжение ПАН1 и ПАН2 от всего цуга колебаний отделяются первые три периода, амплитуды которых преобразуются в постоянные напряжения  $U_{A1}$  и  $U_{A2}$ . Управление преобразователями производится сложной ключевой схемой СКл, начинающей работать от задних фронтов импульсов  $t_1$  и  $t_2$ . Схема обеспечивает два режима отпираания преобразователей: импульсом постоянной длительности и импульсом, длительность которого автоматически устанавливается равной определенной числу периодов входного сигнала, независимо от изменения частоты последнего. Напряжение  $U_{\alpha}$ , пропорциональное  $\alpha$ , вырабатывается логарифмическим преобразователем ЛП. При измерении амплитуд и затухания поперечной волны ключевая схема СКл начинает работать от задних фронтов импульсов  $t_1$  и  $t_2$ , длительность которых увеличена в  $K$  раз трансформатором длительности ТД, для чего переключатель  $S6$  переводится во второе положение. Коэффициент  $K$  определяется отношением скоростей распространения поперечной и продольной волн  $v_s/v_p$  и находится в пределах 1,6—1,7 (рис. 62, ж).

Калибровка временных и амплитудных каналов пульты производится сигналами, аналогичными по форме поступающим из СП. Они формируются схемой СКС калиброванных сигналов, имеют стабильную амплитуду и точно известную величину задержки по отношению к синхроимпульсам и подаются на ВИС и АФ блока управления через переключатели  $S5$  и  $S2$ . Контроль за работой СП и БО ведется по экрану осциллографа, на который через схему видеоконтроля СВК (гнездо «Сигн») одновременно подаются волновые картины, поступающие из СП, импульсные метки ручной  $A$  и следящей  $B$  блокировок и метки  $B$  срабатывания схемы ВВП (см. рис. 62, б и в). Волновые картины поступают из БУ через УП, а метки — с формирователя меток ФМ. На СВК дополнительно подаются прямоугольные импульсы с коммутатора Ком, с помощью которых сигналы двух каналов смещаются по вертикали друг относительно друга. Запуск развертки осциллографа производится с клеммы «Синхр» одновибратором задержки Тр.

В схеме предусмотрен выход волновых картин с УП через разъем «ВК». Блок питания БП вырабатывает стабилизированные напряжения для питания схем пульта.

#### § 65. СКВАЖИННЫЙ ПРИБОР АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА СПАК-6

Скважинный прибор СПАК-6 состоит из герметичного электронного блока 1 и измерительного зонда 3 (рис. 63, а), сочлененных свечным мостом 2. Этот мост обеспечивает герметизацию свечных вводов с помощью манжеты, [заполненной кремнийорганической

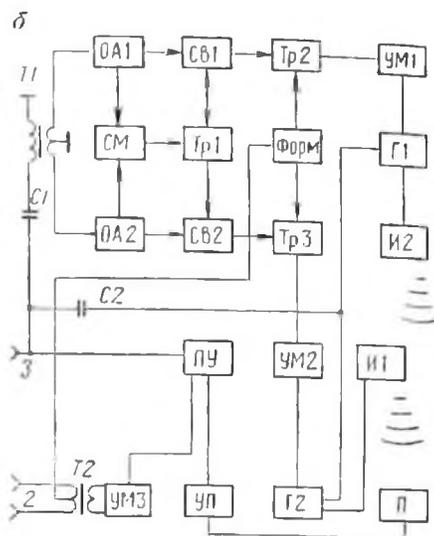
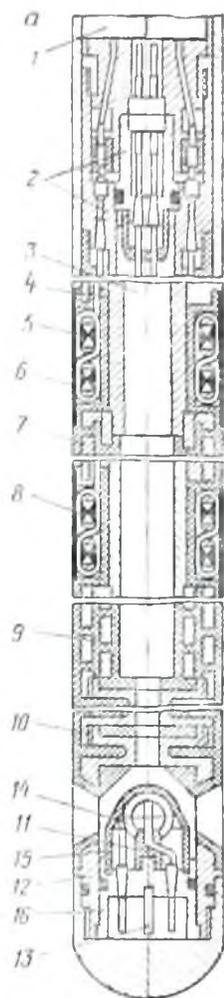


Рис. 63. Акустический зонд (а) и функциональная схема скважинного прибора СПАК-6 (б)

жидкостью, и устраняет взаимное влияние линий связи излучателей и приемника с электронной схемой. Измерительный зонд содержит два излучателя упругих колебаний 5 и 8, набранных из пластины пермендюра, и сферический пьезокерамический приемник 14. Излучатели представляют собой два кольца высотой 20 мм с общей обмоткой в форме восьмерки, что обеспечивает компенсацию суммарного электромагнитного поля излучателей и исключает их взаимное влияние друг на друга. От воздействия ПЖ они защищены тонкостенными металлическими цилиндрами 6, а от кремнийорганической жидкости — резиновой манжетой 4. Излучатели разделены звукоизолятором 7; от приемника они отделены основными

звукоизоляторами 9 и 10, назначение которых — подавление прямой волны по корпусу СП. Верхний звукоизолятор 9 выполнен из двух металлических труб с прорезями, пространство между которыми заполнено резиной; нижний 10 набран из обрезиненных металлических шайб.

Приемно-усилительный блок расположен в нижней части СП внутри несущего корпуса 12. На головке 16 блока установлен резиновый амортизатор 11, уменьшающий уровень шумов от ударов СП о стенки скважины, а на нем приемник 14. Упругие колебания поступают к приемнику через отверстия в корпусе 12; от воздействия ПЖ приемник защищен резиновым компенсатором 15. Для уменьшения наводок на провода приемника от силовых цепей СП применен предварительный усилитель 13; герметизация полости усилителя достигается с помощью стандартных свечных вводов.

Чередующиеся по полярности пусковые импульсы (рис. 63, б), поступающие в СП по третьей жиле кабеля с интервалом 40 мс, выделяются фильтром С1П1 и нормализуются по длительности и амплитуде амплитудными ограничителями ОА1 и ОА2. Из-за несовершенства линий передачи сигналов импульсы на выходах ОА1 и ОА2 сопровождаются импульсами противоположной полярности, которые нарушают работу СП. Для их исключения введена схема, состоящая из смесителя СМ, одновибратора Тр1 и двух временных селекторов СВ1 и СВ2. Селекторы запираются на 4 мс импульсом одновибратора Тр1, который срабатывает от заднего фронта первого полупериода пусковых импульсов, прошедших ОА1 и ОА2 и смеситель СМ. С помощью триггеров Тр2 и Тр3 с двумя устойчивыми состояниями пусковые импульсы задерживаются во времени и совмещаются с моментом перехода питающего напряжения от отрицательного к положительному полупериоду. Каждый триггер переводится в состояние «0» импульсами с выходов СВ1 или СВ2 и возвращается в состояние «1» формирователем Форм, срабатывающим от положительного фронта питающего напряжения. Задние фронты импульсов Тр2 и Тр3 усиливаются по мощности усилителями УМ1 и УМ2 и поочередно запускают генераторы токовых импульсов Г1 и Г2. При отпирании тиристоров в генераторах Г1 и Г2 через обмотки излучателей проходит импульс тока, создающий магнитное поле, под действием которого излучатель изменяет свои размеры, создавая в ПЖ и горной породе упругие колебания.

Упругие колебания, пришедшие к приемнику, преобразуются последним в электрические сигналы, которые усиливаются предварительным усилителем УП, а также усилителем мощности УМ3, и через трансформатор Т2 передаются на поверхность по первой и второй жилам кабеля. Коэффициент усиления сигналов в СП изменяется в 10 раз переключателем ПУ, управляемым с пульта АНК-М. Началом отсчета времени пробега упругих волн от излучателей к приемнику служит синхронимпульс, снимаемый с общей для Г1 и Г2 разрядной емкости. Через конденсатор С2 он подается в третью жилу кабеля.

Схема СП питается от источника УГ-1 переменным током частотой 400 Гц, снимаемым со среднего вывода первичной обмотки трансформатора Т2.

#### § 66. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ С ПРИБОРОМ СПАК-6 И ПУЛЬТОМ АНК-М. КАЛИБРОВОЧНОЕ УСТРОЙСТВО ПАУК

Устанавливают пульт АНК-М в ячейку для сменных пультов лаборатории и включают его в измерительную схему. К пульту подключают осциллограф и коллекторные концы СП. Скважинный прибор располагают на подставках, надевают на него зажимы калибровочного устройства и присоединяют СП к кабелю. Затем производят включение и настройку аппаратуры, руководствуясь инструкцией по эксплуатации:

а) включают в сеть пульт АНК-М и осциллограф и подают питание на СП;

б) с помощью внутренних калибраторов устанавливают масштабы записи; для  $\Delta t$  — 10—20 мкс/(м·см), для  $t_1$  и  $t_2$  — 50 мкс/см, для  $\alpha$  — 2 дБ/(м·см), для  $A_1$  и  $A_2$  — максимальное значение стандарт-сигнала на деление шкалы 8 см; смещают блик  $\Delta t$  влево на 120 мкс/м;

в) переводят СП в режим измерения, устанавливают метки ручной и следящей блокировок и дискриминаторов (см. рис. 62, б и д) и производят калибровку измерительного тракта с помощью устройства ПАУК.

Переносное калибровочное устройство ПАУК представляет собой гибкий звукопровод из стальной ленты толщиной 1 мм и шириной 30 мм, закрепляемый на преобразователях СП с помощью полцилиндрических зажимов. Акустический контакт между преобразователями и лентой достигается путем заполнения внутренних полостей зажимов жидкостью. На ленте через строго заданные промежутки расположен ряд отверстий, в которые входят фиксаторы зажимов. Передвигая ленту в фиксаторах от отверстия к отверстию, изменяют расстояния  $l_1$  и  $l_2$  между излучателями  $H_1$  и  $H_2$  и приемником  $P$  и соответственно измеряемые значения  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $\Delta t$ . Интервальное время распространения упругой волны в ленте 194 мкс/м. Диапазон воспроизведения  $\Delta t$  составляет 80—240 мкс/м;  $t_1$  и  $t_2$  — 450—1100 мкс/м. Относительная погрешность воспроизведения  $\pm 1\%$ ;

г) отключают СП от сети, снимают с него зажимы калибровочного устройства и опускают СП в скважину;

д) производят регистрацию кривых АК при подъеме СП со скоростью 0,3 м/с, контролируя по экрану осциллографа положение меток блокировок и дискриминаторов;

е) по окончании измерений повторяют операции по калибровке аппаратуры.

Аппаратура АКЦ-4 состоит из СП и наземного пульта обработки ПО (рис. 64), питающихся от унифицированного источника питания УИП-К через переключатель *S1*.

Скважинный прибор содержит измерительный зонд с магнито-стрикционными излучателем И и приемником П. Излучатель возбуждается генератором токовых импульсов ГТ, разряжающим накопительную емкость на обмотку излучателя. Запуск генератора производится схемой запуска ФЗ, формулирующей импульсы с частотой следования, вдвое меньшей частоты тока питающей сети. Импульсы дополнительно усиливаются по мощности усилителем УМ1. Упругие колебания излучателя воспринимаются приемником, преобразуются им в электрические сигналы, усиливаются предварительным усилителем УП и усилителем мощности УМ2 и через конденсатор *C2* передаются на ЦЖК. Сюда же с резистора *R2* подается синхронимпульс, формируемый в момент возбуждения излучателя. Усилитель УМ2 с трансформаторным выходом *T* через резистор *R1* и конденсатор *C1* питается переменным током частотой 50 Гц.

В пульте обработки ПО производится формирование импульсов  $t_p$ , длительность которых пропорциональна времени пробега продольной волны по породе, и их преобразование в постоянное напряжение  $U_{IP}$ ; выделение и преобразование в постоянные напряжения  $U_{AP}$  и  $U_{AK}$  амплитуд волн, идущих по породе и колонне; формирование калиброванных сигналов и сигналов для осуществления визуального контроля за работой аппаратуры.

Информационные сигналы и синхронимпульсы отфильтровываются в ПО входным фильтром ВФ и поступают на схемы выделения синхронимпульсов ВИС и второго полупериода ВВП. Формирование импульсов, длительность которых пропорциональна  $t_p$ , производится триггером  $Tr'_p$ , который запускается синхронимпульсами от ВИС и возвращается в исходное состояние вторым полупериодом сигнала от ВВП. Сформированный импульс интегрируется Инт и в виде медленно меняющегося напряжения  $U_{IP}$  подается на фоторегистратор. Схема ВВП закрывается импульсом одновибратора блокировки  $Tr. бл$  на время прохождения синхронимпульсов и сопутствующих им переходных процессов в кабеле и срабатывает, когда второй полупериод сигнала превысит определенный пороговый уровень. Весь остальной цуг колебаний на выход схе-

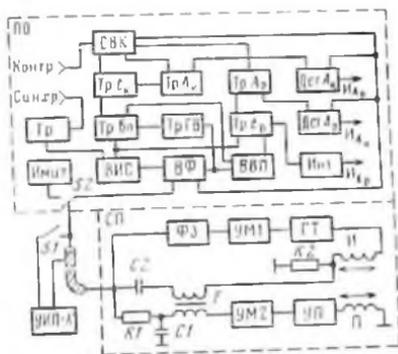


Рис. 64. Функциональная схема акустического цементомера АКЦ-4

мы не проходит. Для предотвращения сбоя в работе пульта на вход ВВП, куда поступает сигнал, подается и задний фронт импульса одновибратора  $Tr$  ГВ гидроволны, длительность которого выбирается несколько большей максимальной времени прихода волны по породе.

Напряжения  $U_{AP}$  и  $U_{AK}$ , пропорциональные амплитудам волн, снимаются с выходов селективируемых одноименных детекторов Дет  $A_k$  и Дет  $A_p$ . Сигнал на них подается с ВФ, а отпираание производится импульсами длительностью 150—200 мкс, формируемыми одновибраторами  $Tr A_k$  и  $Tr A_p$ . Время формирования переднего фронта импульса одновибратора  $Tr A_p$  совпадает с временем прихода второго полупериода сигнала (запуск от  $Tr (p)$ ), а время формирования переднего фронта  $Tr A_k$  соответствует расчетному времени прихода волны по колонне, которое задается одновибратором  $Tr_{AK}$ .

В режиме калибровки вместо сигнала от СП на ВФ через переключатель  $S2$  подается сигнал и синхронимпульс от имитатора Имит. Сигнал Имит по форме и продолжительности аналогичен поступающему из СП, поэтому работа ПО в режиме калибровки не отличается от описанной выше.

Визуальный контроль за работой СП и ПО обеспечивается через разъем «Контр» схемой СВК, в которой смешиваются сигналы с выхода ВФ, передние и задние фронты импульсов одновибраторов  $Tr A_p$  и  $Tr A_k$  и передний фронт импульса одновибратора  $Tr I_k$  (он соответствует заднему фронту одновибратора  $Tr$  бл). Синхронизация контрольного осциллографа осуществляется с разъема «Синхр.» одновибратором синхронизации  $Tr$ , изменением длительности импульса которого изменяют время задержки запуска осциллографа.

## § 68. АКУСТИЧЕСКИЙ ТЕЛЕВИЗОР САТ-1

Аппаратура САТ-1 состоит из СП и наземного пульта НП со встроенным регистратором. Питание аппаратуры производится от промышленной сети напряжением 220 В частотой 50 Гц.

Скважинный прибор САТ-1 (рис. 65) состоит из герметичного электронного 1 и компенсированного акустического блоков. В качестве совмещенного излучателя-приемника применена пьезокерамическая пластинка 6 толщиной 2 мм. Для возбуждения короткого упругого импульса пластинка демпфируется демпфером 7 из кремнийорганической пасты и вольфрамового порошка, помещенных во фторопластовый стакан 8. Преобразователь и демпфер крепятся на обойме 9, вращающейся вокруг своей оси на двух подшипниках со скоростью 3 об/с. Вращение обеспечивается механизмом, состоящим из магнитопроводящего ярма 10, жестко соединенного с обоймой 9, и восьми катушек 11 на неподвижном фланце 12.

Электрическое подсоединение преобразователя осуществляется через коллектор 4, составленный двумя кольцами и двумя парами щеток. На торцах коллектора закреплен штифт синхроконтakta 3

Рис. 65. Акустический зонд скважинного телевизора САТ-1

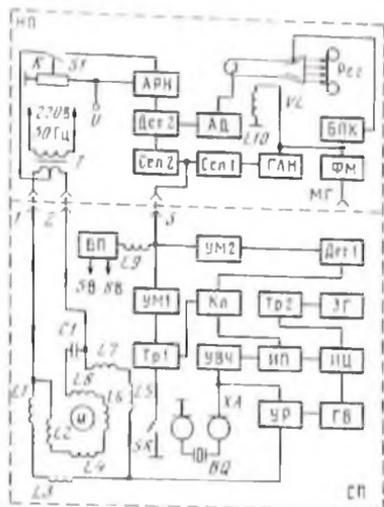
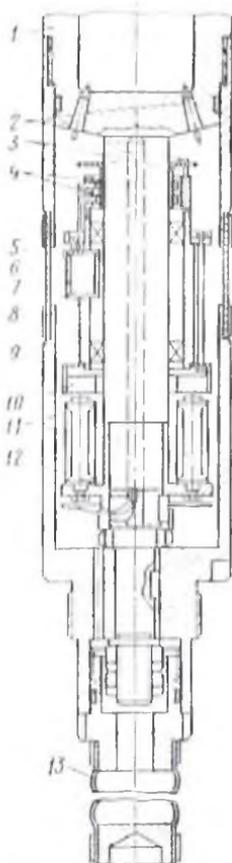


Рис. 66. Функциональная схема скважинного телевизора САТ-1

для кратковременного замыкания контакта при каждом обороте преобразователя. Излучение и прием отраженных упругих колебаний производятся через резиновую оболочку 5, акустическое сопротивление которой, определяемое произведением плотности оболочки на скорость упругой волны в ней, близко к акустическому сопротивлению ПЖ. В нижней части блока установлен компенсатор давления 13. Электрические соединения электронного и акустического блоков выполнены стандартными свечными вводами 2.

Излучение и прием упругих колебаний производится преобразователем ВЗ (рис. 66). Периодичность его возбуждения определяется задающим генератором ЗГ, который выполнен по схеме мультивибратора и работает в автоколебательном режиме на частоте 1,4 кГц. От генератора ЗГ запускается одновибратор Тр2, импульс которого проходит через интегрирующую цепочку ИЦ, и с задержкой 10 мкс относительно переднего фронта возбуждает генератор ГВ. Последний формирует импульс длительностью 0,6 мкс, который через регулируемый усилитель УП и скользящий

контакт ХА поступает на В0, заставляя его совершать механические колебания

Отраженный упругий импульс преобразуется в электрический сигнал тем же преобразователем ВQ, усиливается резонансным усилителем высокой частоты УВЧ, настроенным на частоту преобразователя 1 МГц, и через согласующий повторитель ИП и ключ Кл поступает на детектор Дет1, с помощью которого выделяется огибающая высокочастотного отраженного сигнала. Выделение огибающей необходимо для уменьшения затухания сигнала в кабеле. Снимаемый с детектора видеосигнал усиливается по мощности УМ2 и в отрицательной полярности подается в третью жилу кабеля.

Для исключения перегрузки Дет1 импульсами возбуждения излучателя, которые на два порядка превышают амплитуду отраженного сигнала, а также для подавления сигналов, отраженных от границы раздела жидкостей, заполняющих скважину и внутреннюю полость СП, в схему введен ключ Кл, запираемый на 40 или 80 мкс импульсом, формируемым Тр2. Длительность запирающего импульса устанавливается перед спуском СП в скважину и зависит от ее диаметра. Ключ Кл запирается также на время прохождения по кабелю синхроимпульсов с помощью импульса, формируемого Тр1.

Для совмещения начала развертки луча кинескопа VL в НП с одной и той же образующей на стенке скважины замыканием контакта SR формируется синхроимпульс, который вызывает срабатывание одновибратора Тр1. Передний фронт синхроимпульса после дифференцирования усиливается по мощности усилителем УМ1 и в положительной полярности передается на НП.

Питание СП комбинированное: по третьей жиле кабеля подается напряжение 15 В для питания электронной схемы; по первым двум жилам — постоянное напряжение для питания усилителя УР и переменный ток частотой 50 Гц для питания обмоток L1—L8 индукционного двигателя М. На нечетные катушки L1—L7 напряжение подается непосредственно из кабеля, а четные катушки L2—L8 питаются через фазосдвигающий конденсатор С1. Дроссель L9 предотвращает шунтирование высокочастотных информационных сигналов низким входным сопротивлением блока питания БП. В наземном пульте видеосигнал и синхроимпульс разделяются селекторами Сел1 и Сел2. Синхроимпульс запускает генератор линейно-изменяющегося напряжения ГЛН, выходное напряжение которого поступает на катушку L10 отклоняющей системы электронно-лучевой трубки VL, заставляя перемещаться луч от одного края экрана к другому в интервале между двумя соседними импульсами. Видеосигнал детектируется детектором Дет2, преобразуется преобразователем амплитуда—длительность АД в импульс с длительностью, пропорциональной его амплитуде, и поступает на катод VL. Чем больше амплитуда видеосигнала, тем больше экспонируется фотопленка регистратора Рег и, следовательно, тем больше потемнение фотопленки. С учетом того, что периодичность синхроимпульсов 3 Гц, а периодичность возбуждения и приема видеосигналов

около 1400 Гц, на каждое сечение скважины, соответствующее одной развертке луча, приходится около 266 зондирований. Перемещение пленки регистратора Рег синхронно с перемещением СП позволяет получить фотографию развертки стенки скважины на заданном интервале глубин. В пульте предусмотрены режимы ручной и автоматической регулировок амплитуд видеосигналов изменением напряжения питания усилителя УР в СП. В зависимости от положения переключателя  $SI$  напряжение  $U$  регулировки изменяется резистором  $R$  вручную или автоматическим регулятором напряжения АРН, который управляется амплитудой видеосигнала с Дет2. Превышение сигналом определенного порогового уровня вызывает уменьшение напряжения питания и наоборот.

Метки глубин наносятся на диаграмму САТ-1 в виде коротких зачерненных линий от магнитного датчика глубин МГ. Импульсы МГ преобразуются формирователем меток ФМ в импульсы заданной амплитуды и длительности и подаются на  $L10$  для кратковременного отклонения луча кинескопа и на блок питания кинескопа БПК для подсветки луча.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Назначение аппаратуры АК, регистрируемые параметры.
2. Взаимодействие основных узлов пульта АНК-М.
3. Устройство скважинного прибора СПАК-6.
4. Взаимодействие основных узлов акустического цементмера АКЦ-4
5. Устройство скважинного прибора САТ-1.

#### ГЛАВА XII

### СКВАЖИННЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ И КАВЕРНОМЕРЫ

#### § 69. СКВАЖИННЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ

Для измерения температуры в скважинах применяют максимальный ртутный термометр, глубинный самопишущий термометр и термометры сопротивления: электронные ТЭГ-60, ТЭГ-36 и электрический ЭТС-2У. Основными являются термометры сопротивления, измерения с которыми выполняют при непрерывном перемещении СП. Их чувствительным элементом служит металлический (медный) резистор с большим температурным коэффициентом. Действие термометров основано на свойстве металлического проводника изменять сопротивление  $R$  в зависимости от температуры среды, в которой он находится:

$$R = R_0 [1 + \alpha (T - T_0)], \quad (XII.1)$$

где  $T_0$  — начальная температура среды в °С;  $R_0$  — сопротивление резистора (в Ом) при температуре  $T_0$ ;  $T$  — температура среды;  $\alpha$  — температурный коэффициент, характеризующий сопротивление (в Ом) проводника при изменении температуры на 1 °С.

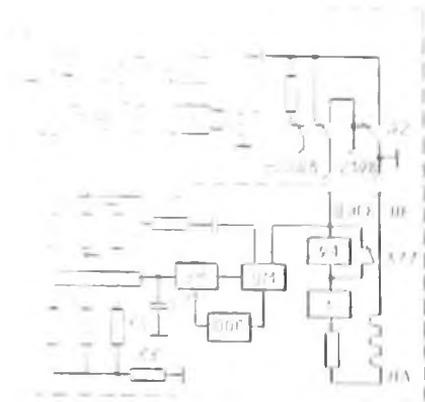


Рис. 67. Функциональная схема скважинного термометра ТЭГ-60

Усилителей напряжения УН и мощности УМ. Управление частотой генератора осуществляется  $RC$ -цепью, содержащей термочувствительные резисторы  $R1$  и  $R2$  и термостатированные емкости  $C1$  и  $C2$ . Работа усилителя УН в автоколебательном режиме обеспечивается положительной обратной связью, напряжение которой подается с УМ на вход УН через фазосдвигающую цепь  $C1, R7, R1, R2, R8, C2$ . Резисторы  $R7$  и  $R8$  служат в этой цепи для компенсации температурных изменений  $C1$  и  $C2$ . Стабилизация амплитудной и частотной характеристик генератора обеспечивается отрицательной обратной связью ООС. Поскольку сопротивление резисторов  $R1$  и  $R2$  линейно изменяется от температуры, частота колебаний генератора также связана линейной зависимостью с измеряемой температурой. С выхода УМ переменный ток поступает на кабель и НП.

Для калибровки термометра в частотозадающую цепь включаются пары резисторов  $R3, R4$  и  $R5, R6$ , сопротивления которых равны  $R1$  и  $R2$  при температуре 20 и 100 °С (получаются стандарт-сигналы 20 и 100 °С). Коммутация производится с помощью шагового переключателя  $S1$ . Электромагнит  $УА$  переключателя управляет реле  $K$ , срабатывающим при изменении полярности тока питания (переключателем  $S2$  в НП) и разрывающим свой контакт  $K1.1$ .

Наземный пульт содержит измеритель частоты колебаний, цепи питания и коммутации СП. Измеряемый сигнал с резистора  $R9$ , служащего анодной нагрузкой выходного каскада скважинного генератора УМ, поступает на вход усилителя-ограничителя УО. Входной трансформатор  $T$  и конденсатор  $C3$  являются одновременно фильтром верхних частот. Выходное напряжение УО преобразуется дифференцирующей цепочкой ДЦ в остроконечные импульсы, частота следования которых равна частоте генератора СП. Эти импульсы запускают триггер Тр, который генерирует прямоугольные импульсы, управляющие генератором пилообразного

**Электронный термометр ТЭГ-60.** Состоит из скважинного прибора СП и наземного пульта НП (рис. 67). Термометр рассчитан на работу с одножильным кабелем длиной до 8 км и позволяет измерять температуру в диапазоне 0—200 °С при давлении до 120 МПа. Погрешность измерения составляет  $\pm 2$  °С, постоянная времени не превышает 2 с. Диаметр СП 60 мм, длина 2 м, масса 19 кг.

Принцип действия ТЭГ-60 основан на изменении под действием температуры частоты автоколебаний генератора, состоящего

напряжения ГПН. пилообразное напряжение, средняя амплитуда которого пропорциональна периоду колебаний скважинного генератора, подается на вход лампового вольтметра ЛВ, собранного по мостовой схеме и включающего в себя измерительный прибор РА, градуированный в единицах температуры. Напряжение на регистратор ФР лаборатории снимается с потенциометра R10, служащего для установки масштаба температурной кривой.

Электронная схема СП смонтирована в герметичном стальном кожухе со стандартной приборной головкой. В нижнюю пробку кожуха впаяна тонкостенная медная трубка, в которую вставлены сопротивления R1 и R2, выполненные в виде жгута из медного провода диаметром 0,03 мм. Для улучшения изоляции жгут пропитан лаком, а для уменьшения тепловой инерции трубка заполнена кремнийорганической жидкостью. Снаружи чувствительный элемент защищен фонарем.

Термометр ТЭГ-36 диаметром 36 мм аналогичен описанному, но отличается от него эксплуатационными характеристиками: максимально допустимые температура измерений 150 °С, давление 100 МПа.

*Электротермометр ЭТС-2У.* Рассчитан на работу с трехжильным кабелем при температуре до 120 °С и давлении до 40 МПа. Он состоит из герметичного стального кожуха диаметром 42 мм, чувствительного элемента и защитного фонаря. Измерительная схема термометра представляет собой мост сопротивлений, все плечи которого смонтированы в СП. Чувствительным элементом служат два плеча моста, выполненные из медной проволоки, сопротивление которых зависит от температуры; два постоянных плеча изготовлены из манганина. Их сопротивление равно сопротивлению чувствительных плеч при температуре 40 °С (нулевая температура термометра  $T_0$ ) и практически не зависит от температуры. По одной жиле кабеля через мост пропускается стабилизированный постоянный ток, а по двум другим измеряется напряжение в диагонали моста, пропорциональное сопротивлению чувствительных плеч и, следовательно, температуре окружающей среды.

Манганиновые резисторы измерительного моста размещены в герметичном кожухе. Чувствительный элемент выполнен из медной трубки диаметром 1,5 мм с толщиной стенки 0,35 мм, в которую вставлен пропитанный лаком жгут из медного провода диаметром 0,03 мм. Нижний конец трубки запаян, а верхний впаян в стальную втулку, герметизированную в кожухе. Трубка заполнена кремнийорганической жидкостью. Защитный фонарь, предохраняющий чувствительный элемент от повреждений, представляет собой трубку с окнами, в нижней части которой укреплен подвес для груза.

#### **§ 70. ГРАДУИРОВКА ТЕРМОМЕТРОВ, ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ С НИМИ**

В процессе градуировки определяют значения стандарт-сигналов для термометров ТЭГ-60 и ТЭГ-36 и нулевую температуру  $T_0$  для термометра ЭТС-2У. Процедура градуирования термометров

ТЭГ-60 и ТЭГ-36 заключается в сравнении показаний от стандарт-сигналов с показаниями термометра в заполненном водой термостате при температуре 20 и 100 °С. Равенства показаний добиваются подстроечными резисторами. Затем производят измерения при нескольких значениях температуры воды в интервале 20—100 °С и строят график зависимости показаний от температуры. Если нелинейность графика больше 1 %, вносят исправления в схему.

При градуировании электротермометра ЭТС-2У определяют, как изменяется с температурой отношение выходного напряжения  $\Delta U$  к силе тока  $I$  питания СП. Точка пересечения градуировочной кривой с осью абсцисс ( $\Delta U/I = 0$ ) дает значение нулевой температуры  $T_0$ . Для определения постоянной  $C$  выбирают два значения температуры  $T_1$  и  $T_2$  и на кривой находят соответствующие им значения  $(\Delta U/I)_1$  и  $(\Delta U/I)_2$ . Постоянную термометра подсчитывают по формуле

$$C = (T_2 - T_1) / [(\Delta U/I)_2 - (\Delta U/I)_1]. \quad (\text{XII.2})$$

Определение постоянной времени  $\tau$  выполняют с помощью двух баков с водой при температурах  $T_1$  и  $T_2$ , различающихся примерно на 10 °С. Перенося термометр из одного бака в другой, каротажным регистратором записывают кривую изменения температуры и марки времени. Время, прошедшее с момента переноса термометра из одного бака в другой, до момента, соответствующего точке кривой с температурой  $T_1 + 0,63 (T_2 - T_1)$ , равно  $\tau$ .

Перед скважинными измерениями термометр опробывают. Для этого собирают измерительную схему, измеряют температуру воздуха и сравнивают показания термометра с показаниями ртутного термометра. Разница в показаниях обоих термометров не должна превышать 0,5 °С. Далее для термометра ТЭГ-60 очередность операций следующая:

а) регулируют НП так, чтобы выходной сигнал был равен нулю при стандарт-сигнале 20 °С;

б) согласовывают уровень выходного сигнала с напряжением градуированного компенсатора поляризации ГКП, который применяется для смещения температурной кривой. Для этого при стандарт-сигнале, соответствующем 100 °С, в измерительную цепь вводят напряжение от ГКП, равное  $m_k \cdot 80$  мВ, где  $m_k$  — напряжение на ГКП, выбранное для переноса кривой на 1 °С. Затем потенциометром *R10* «Масштаб» возвращают блик гальванометра ФР в нулевое положение;

в) устанавливают масштаб записи температуры;

г) опускают СП в скважину и регистрируют температурную кривую при спуске прибора во избежание искажений вследствие перемешивания ПЖ. С учетом инерционности схемы СП скорость спуска не должна превышать  $0,8/\tau$  (в м/с).

## § 71. КАВЕРНОМЕРЫ И ПРОФИЛЕМЕРЫ

Измерение диаметра скважин — одна из наиболее часто выполняемых операций. Для этого применяется большое число приборов, различающихся по эксплуатационным параметрам, электрической схеме, числу используемых жил кабеля, измерительных рычагов и по способу их раскрытия (табл. 8). Наибольшими возможностями среди них обладают каверномер-профилемер СКП-1 и профилемер-радиусомер СПР-1. Первый позволяет одновременно измерять поперечное сечение скважины в двух взаимно перпендикулярных направлениях и ее средний диаметр, равный полусумме этих размеров. Второй предназначен для измерения восьми радиусов сечения ствола при остановке СП. С помощью СПР-1 определяется форма поперечного сечения скважины с привязкой ее по азимуту, что позволяет судить о техническом состоянии ствола скважины, наличии выработок от трения бурильных труб об ее стенки и принимать решения о проведении антиаварийных работ.

Таблица 8

Технические характеристики каверномеров и профилемеров

| Прибор | Диаметр, мм | Длина, м | Масса, кг | Допустимая температура, °С | Допустимое давление, МПа | Число   |            |                       | Диапазон измеряемых диаметров |
|--------|-------------|----------|-----------|----------------------------|--------------------------|---------|------------|-----------------------|-------------------------------|
|        |             |          |           |                            |                          | рычагов | жил кабеля | измеряемых параметров |                               |
| КФМ    | 60          | 1,2      | 5         | 60                         | 30                       | 13      | 3          | 1                     | 70—250                        |
| СКС    | 80          | 1,9      | 33        | 100                        | 50                       | 4       | 3          | 1                     | 100—760                       |
| СКО    | 80          | 1,8      | 30        | 120                        | 50                       | 4       | 1          | 1                     | 100—760                       |
| КС-1   | 80          | 1,5      | 40        | 150                        | 100                      | 4       | 3          | 1                     | 100—800                       |
| КС-3   | 80          | 1,5      | 28        | 150                        | 100                      | 4       | 3          | 1                     | 100—800                       |
| КСУ-1  | 73          | 2,0      | 35        | 120                        | 100                      | 3       | 3          | 1                     | 70—760                        |
| СКП-1  | 73          | 3,2      | 57        | 150                        | 100                      | 4       | 1          | 3                     | 100—760                       |
| СПР-1  | 110         | 3,4      | 130       | 130                        | 100                      | 8       | 1          | 9                     | 60—400                        |

Примечание. Все приборы, кроме СКП-1, работают с наземными пультами, входящими в комплект аппаратуры. Прибор СКП-1 работает с блоком управления, к пульту ИПЧМ-2А.

*Каверномер-профилемер СКП-1.* Включает в себя СП и блок управления, работающий с пультом ИПЧМ-2. Питание СП комбинированное: переменным током частотой 300 Гц питается электронная схема СП; постоянный ток напряжением 220 В используется для питания электромагнита, раскрывающего измерительные рычаги.

Скважинный прибор состоит из двух блоков: верхнего электронного и нижнего электромеханического (рис. 68), соединенных штепсельным разъемом. Измерительные рычаги 11 укреплены на осях 10, закрепленных в фигурном корпусе 1. Малое плечо каждого рычага

Рис. 68. Конструкция каверномера-профилемера СКП-1

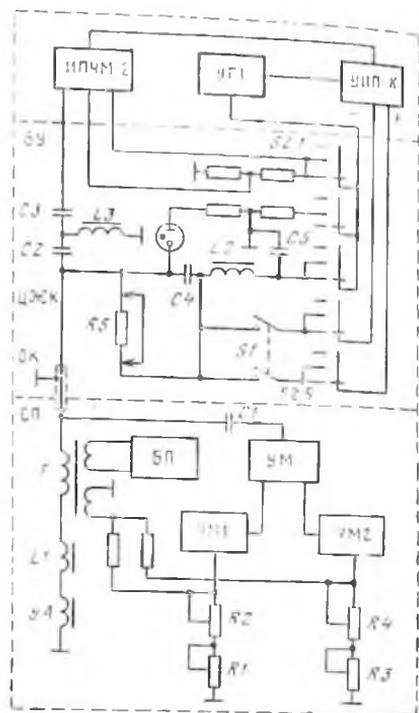
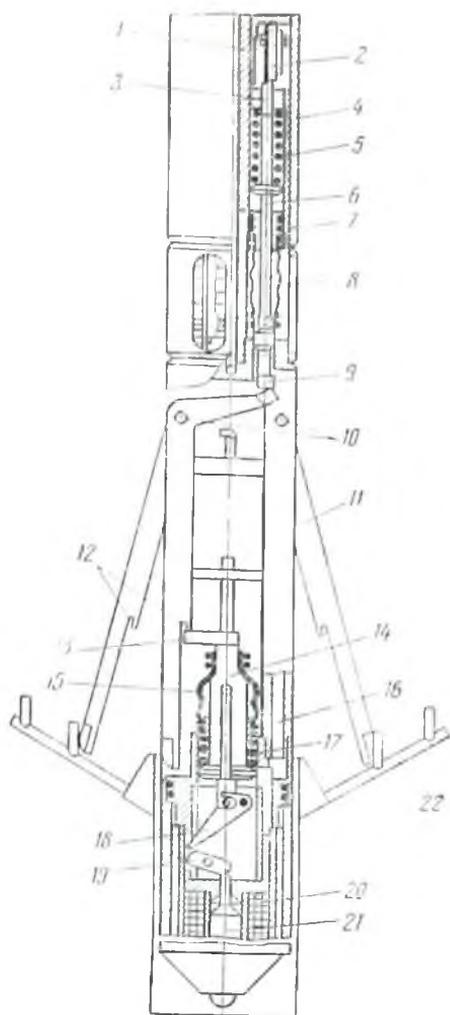


Рис. 69. Функциональная схема каверномера-профилемера СКП-1

упирается в пята 9 толкателя 6, который непосредственно соединен с ползунком 3 реостата 2. Под действием пружины 5 толкатель 6 поворачивает рычаг 11 до упора его нижнего конца в стенку скважины. Реостаты с толкателями находятся в герметичной полости, защищенной кожухом 4 и заполненной кремнийорганической жидкостью. Для обеспечения герметичности этой полости при перемещении толкателя применен резиновый сильфон 8, прикрепленный к толкателю и выводной втулке 7; сильфоны одновременно выполняют роль компенсаторов давления.

Снизу к кожуху СН присоединен узел раскрытия рычагов, который включает в себя электромагнит 20 с якорем 21 и спусковой механизм, состоящий из собачки 19, запорного крюка 18 и штока 14 с пружиной 17 и замком 13. При срабатывании электромагнита

собачка освобождает крюк, и шток под действием пружины смещается вниз, стягивая замок с крючков 12 измерительных рычагов. Узел раскрытия также помещен в герметичную полость, имеющую компенсатор давления 15. С измерительным узлом полость соединяется каналом 16. Каждый из измерительных рычагов связан с ползунком соответствующего переменного резистора  $R1-R4$  (рис. 69); резисторы  $R1$  и  $R2$ ,  $R3$  и  $R4$  противоположных пар рычагов включены последовательно. Через резисторы пропускается переменный ток частотой 300 Гц с обмотки трансформатора  $T$ , питаемого с поверхности от генератора УГ-1 через плату переключателя  $S2.3$ . Напряжение с пар резисторов  $R1$ ,  $R2$  и  $R3$ ,  $R4$  поступает в частотные модуляторы ЧМ1 и ЧМ2 стандартной ТИС. Далее преобразованные ЧМ-сигналы с несущими частотами 7,8 и 14 кГц усиливаются по мощности усилителем УМ и через конденсатор  $C1$  передаются по кабелю (ЩЖК) на поверхность, где поступают в пульт ИПЧМ через фильтр  $C2$   $L3$ ,  $C3$  в БУ. В результате разделения сигналов на выходе ИПЧМ образуются напряжения постоянного тока, пропорциональные раскрытию двух пар рычагов СП; их полусумма соответствует диаметру скважины ДС.

Питание электронной схемы СП производится от силового блока БП. Конденсатор  $C1$  защищает схему от постоянного напряжения, подключаемого в НП кнопкой  $S1$  и используемого для питания электромагнита УА, раскрывающего измерительные рычаги СП. Дроссель  $L1$  защищает УА от питающего переменного напряжения 300 Гц.

В БУ конденсатор  $C4$  защищает источник стабилизированного напряжения УИП-К от переменного напряжения частотой 300 Гц; фильтр  $L2$   $C5$  предотвращает шунтирование ЧМ-сигналов низкоомным выходом УГ-1 и одновременно не пропускает эти сигналы на вход УГ-1. Шунтирующая перемычка на  $R5$  убирается при работе с коротким кабелем.

*Аппаратура СПР-1.* Состоит из наземного пульта и скважинного прибора, которые питаются от источника УИП-К. В свою очередь, СП содержит блоки коммутации и электромеханический, соединенные между собой штепсельным разъемом. Принцип измерения радиусов и конструкция электромеханического блока аналогичны примененным в каверномере-профилемере СКП-1 с той лишь разницей, что в СПР-1 восемь, а не четыре измерительных рычагов и связанных с ними реостатов (реохордов). Каждый реохорд является плечом электрического моста, три других плеча которого находятся в НП. Измерения радиусов скважины производятся при поочередном подключении реохордов к пульту с помощью стандартного скважинного переключателя зондов (см. § 34). Отсчеты снимаются визуально по нуль-индикатору НП, если измерения выполняются по схеме уравновешенного моста (компенсационным методом), или записываются регистратором каротажной лаборатории при измерении по схеме неуравновешенного моста.

Блок коммутации СП содержит помимо скважинного переключателя и его схемы управления датчик азимута положения одного

(принятого за первый) измерительного рычага. Устройство датчика аналогично примененному в инклинометре КИТ (см. § 74). Датчик состоит из магнитной стрелки, свободно вращающейся на оси, и жестко связанного с кожухом СП кольцевого реохорда, разрыв которого находится против первого рычага. Стрелка соединена с реохордом пружинным контактом; сопротивление реохорда в любой момент пропорционально отклонению разрыва от северного полюса. Реохорд азимута является одним из плеч отдельного измерительного моста, подключаемого к нуль-индикатору НП скважинным переключателем.

## § 72. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ КАВЕРНОМЕРАМИ

При подготовке к измерению СП калибруют, для чего присоединяют его к кабелю и устанавливают на специальное градуировочное приспособление, которое представляет собой крестовину с упорами для рычагов (см. рис. 68, поз. 22). Диаметр  $d_c$  скважины, определяемый каверномером, связан следующим соотношением с измеряемыми разностью потенциалов  $\Delta U$  и силой тока  $I$

$$d_c = d_0 + C \Delta U / I. \quad (\text{XII.3})$$

Начальный диаметр  $d_0$  получают, выполнив каверномером ряд измерений, соответствующих различным диаметрам  $d_c$ , и построив калибровочную зависимость  $\Delta U$  от  $d_c$ . Точка пересечения прямой, выражающей эту зависимость, с осью абсцисс ( $\Delta U = 0$ ) дает значение  $d_0$ . Постоянную каверномера  $C$  определяют из соотношения

$$C = I (d_{c2} - d_{c1}) / (\Delta U_2 - \Delta U_1). \quad (\text{XII.4})$$

При проведении измерений каверномером-профилемером СКП-1 очередность операций следующая:

- а) подсоединяют СП к кабелю, а коллекторные концы к клеммам ЦЖК и ОК на лицевой панели БУ, соединяют БУ с пультом ИПЧМ-2А; подают питание на СП;
- б) проверяют срабатывание устройства раскрытия рычагов;
- в) устанавливают масштабы записи профилеграмм и кавернограммы (обычно 10 см изменения диаметра на 1 см шкалы);
- г) выключают источники питания, складывают и запирают рычаги и опускают СП в интервал исследования. По достижении необходимой глубины включают питание, раскрывают рычаги и при скорости подъема 0,6 м/с производят регистрацию кривых.

Измерения аппаратурой СПР-1 выполняют дискретно с определенным шагом по глубине скважины. В каждой точке проверяют нули и стандарт-сигналы, поочередно берут отсчеты радиусов, а затем вновь проверяют положения нуль- и стандарт-сигналов. Измеряют азимут первого рычага.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Принцип действия и устройство электронного термометра.
2. Назначение каверномера-профилемера СКП-1 и горизонтального профилемера-радиусомера СПР-1.
3. Принцип измерений и устройство скважинного прибора СКП-1.

## § 73. НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АППАРАТУРЫ

Положение оси скважины на какой-либо глубине определяется зенитным углом наклона (углом наклона)  $\delta$  — отклонением скважины от вертикали и магнитным азимутом наклона  $\varphi$ , который отсчитывается по ходу часовой стрелки между направлением на магнитный север и горизонтальной проекцией оси скважины. Определение положения оси скважины необходимо для ее бурения в заданном направлении и для установления истинных глубин залегания пластов, а также положения забоя относительно устья скважины. Для измерения отклонения оси скважины от вертикали разработано много разнообразных приборов. В бурящихся нефтегазовых скважинах преимущественно используют инклинометры КИТ и КИТА, в которых чувствительным элементом для измерения азимута служит магнитная стрелка, а в качестве датчика угла наклона используется грузовой подвес. Инклинометр КИТ рассчитан на работу с одножильным кабелем при температуре  $120^\circ\text{C}$  и давлении 65 МПа. Он позволяет измерять при остановках СП угол наклона  $\delta$  в диапазоне  $0-50^\circ$  с погрешностью  $\pm 0,5^\circ$ , а азимут  $\varphi$  — в пределах  $0-360^\circ$  с погрешностью  $\pm 3^\circ$  при углах  $\delta > 3^\circ$ . Диаметр прибора 60 мм, длина 1,8 м. Прибор КИТА отличается от описанного более прочным кожухом, наружным диаметром 75 мм; он работоспособен при давлении до 120 МПа.

В рудных скважинах, бурящихся в магнитных породах, и в скважинах, обсаженных стальной колонной, используются гироскопические инклинометры ИГ-50 и ИГ-32. При вращении гироскопа ось его ротора сохраняет неизменное положение в пространстве, ее направление используется при определении азимута наклона оси скважины. Датчиком угла наклона служит тот же грузовой подвес. Инклинометры ИГ-50 и ИГ-32 имеют одинаковое устройство, но различаются диаметром СП (50 и 32 мм) и предельной рабочей глубиной (2000 и 1000 м). Их термостойкость  $60^\circ\text{C}$ . Инклинометры рассчитаны на работу с трехжильным кабелем и позволяют измерять угол наклона  $\delta$  в пределах  $0-60^\circ$  с погрешностью  $\pm 0,5^\circ$  и азимут  $\varphi$  — в пределах  $0-360^\circ$  с погрешностью  $\pm 5^\circ$  при углах  $\varphi > 5^\circ$ . Измерения дискретные при остановке СП.

Определение угла и азимута падения пластов в естественном залегании производят с помощью пластовых наклономеров. Эти сведения обеспечивают структурные построения в районах со сложными геологическими разрезами. Серийный наклономер НИД-1 одновременно регистрирует семь параметров: значения КС, измеренные тремя зондами МК, две ортогональные составляющие угла наклона  $\delta$ , азимут ориентации СП относительно одного измерительного зонда КС и кривую кавернометрии. Его СП работоспособен при температуре до  $120^\circ\text{C}$  и давлении до 80 МПа в скважинах диаметром 130—400 мм, глубиной до 5000 м, заполненных проводящей ПЖ. Скорость подъема СП 0,3 м/с.

Инклинометр состоит из СП с удлинителем и наземного измерительного пульта. Кожух СП изготовлен из немагнитного алюминиевого сплава и заканчивается сверху стандартной приборной головкой, а снизу — переводником для крепления удлинителя.

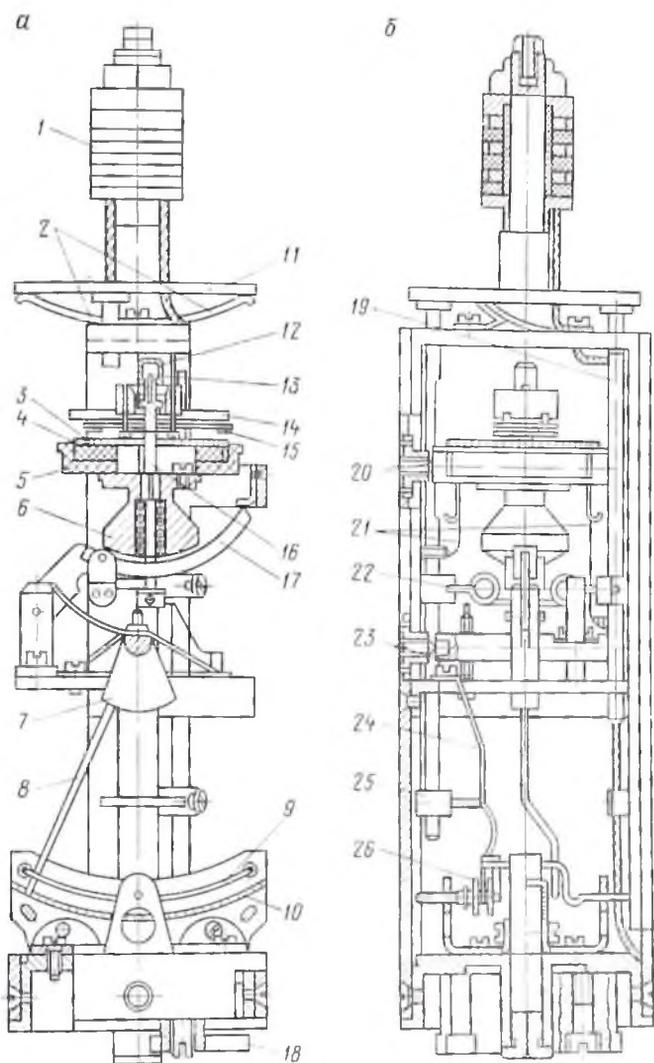
Основной частью инклинометра является измерительная рамка (рис. 70), несущая указатели угла и азимута искривления скважины. Ось вращения рамки совпадает с продольной осью СП, параллельной оси скважины. Центр тяжести рамки смещен с ее оси эксцентрично расположенным грузом 18 так, что рамка всегда устанавливается 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 20, благодаря чему ось стрелки под действием груза 6 всегда занимает вертикальное положение. Магнитная стрелка закреплена на колпачке 12 с агатовым подшипником, который посажен 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 21. 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  $\varphi$ , 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 23 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  $\delta$ .

Положение магнитной стрелки во время отсчета показаний фиксируется механизмом, состоящим из нажимного кольца 11, возвратных пружин 2, двух толкателей 19, поводка 22, дугообразного рычага 17, дугообразной пружины 24 и муфточки 26, сцепленной с дужкой 9. Под воздействием переключателя инклинометра толкатели 19 смещаются вниз. При этом поводок 22, отклоняя книзу дугообразный рычаг 17, оттягивает подпружиненную ось буссоли, обеспечивая прижим контактных пружин магнитной стрелки к реохорду и токосъемному кольцу буссоли. Одновременно кулачок 25 освобождает пружину 24, которая перемещает муфточку 26, а вместе с ней и дужку 9, прижимающую стрелку 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 измеритель-



**Рис. 70.** Измерительная рамка нивелиметра КИТ:

*a* — плоскость рамки перпендикулярна плоскости чертежа; *б* — плоскость рамки совпадает с плоскостью чертежа

ной системы внутренняя полость стакана заполнена смесью кремний-органической 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.

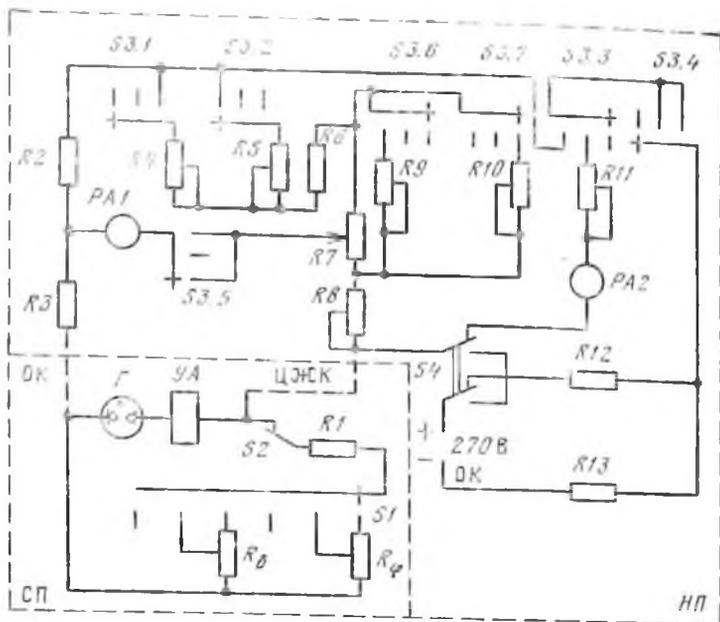


Рис. 71. Принципиальная электрическая схема инклинометра КИТ

Измерительная схема КИТ представляет собой мост, одним из плеч которого являются сопротивления реохорда угла  $R_0$  или азимута  $R_\phi$ , подключаемые поочередно переключателем  $S1$ ; три других плеча расположены в наземном пульте (рис. 71). В одной из позиций  $S1$  с целью контроля включается полное сопротивление реохорда, в другой при фиксированном положении ползунков реохордов — часть сопротивления, пропорциональная углу или азимуту. Для разделения измерительной цепи и цепи электромагнита  $УА$ , приводящего в действие переключатель  $S1$ , используется газовый разрядник  $F$ ; он выполняет также роль пускателя, включающего  $УА$  при повышенном напряжении питания. Это напряжение подается при замыкании переключателя  $S4$  в пульте. Измерительная схема защищена от высокого напряжения резистором  $R1$  и контактом  $S2$ , который размыкается в начальный момент срабатывания  $УА$ .

Мостовая схема пульта при измерении угла  $\delta$  образована резисторами  $R2, R3, R8, R6, R5$  и запараллеленными резисторами  $R7$  и  $R10$ . При измерении азимута вместо  $R5$  и  $R10$  включаются резисторы  $R4$  и  $R9$ . Измерения сводятся к установлению равновесия моста, что достигается перемещением ползунка резистора  $R7$ . Контроль равновесия моста осуществляется по нуль-индикатору  $ПА1$ , включенному в измерительную диагональ. Резистор  $R7$  представляет собой круговой реостат, снабженный двумя шкалами, по которым при установлении равновесия моста непосредственно от-

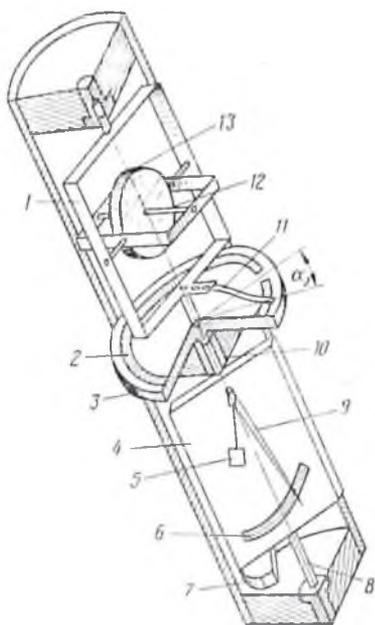


Рис. 72. Схема измерительной системы гироскопического инклинометра

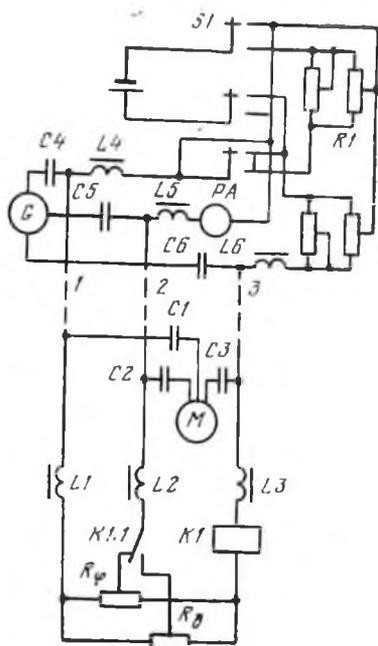


Рис. 73. Принципиальная электрическая схема инклинометра ИГ-50

считывают угол  $\delta$  и азимут  $\varphi$  искривления скважины. Соответствие шкал на реостате  $R7$  фактическим значениям углов достигается регулировкой переменных резисторов  $R5$ ,  $R10$  и  $R4$ ,  $R9$  при калибровке аппаратуры

Мостовая схема для измерения угла или азимута включается переключателем  $S3$  (позиции 3 «угол» и 1 «азимут»). При этом на мост подается напряжение с делителя  $R11$ — $R13$ , обеспечивается соединение соответствующих резисторов в плечах моста и замыкается цепь нуль-индикатора  $PA1$ . Компенсация сопротивления кабеля осуществляется переменным резистором  $R8$  в позиции скважинного переключателя  $S1$ , при которой в измерительную цепь включено полное сопротивление углового реохорда. Позиции переключателя  $S1$  определяются по показаниям миллиамперметра  $PA2$ .

## § 75. ГИРОСКОПИЧЕСКИЙ ИНКЛИНОМЕТР

Инклинометр ИГ измеряет угол  $\delta$  отклонения скважины от вертикали и видимый дирекционный угол  $\alpha_2$ , который представляет собой проекцию дирекционного угла  $\alpha$  плоскости искривления скважины на плоскость, перпендикулярную к оси СП. Дирекцион-

ный угол  $\alpha$  определяют по данным измерений:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha_2 - \cos \delta. \quad (\text{XIII.1})$$

Основными элементами измерительной системы ИГ (рис. 72) являются измерительная рамка 4 с угловым 6 и дирекционным 2 реохордами и размещенный в карданном подвесе гироскоп, ротор 13 которого вращается с частотой 8,3 об/с и сохраняет неизменным положение своей оси 12 относительно сторон света. На внешней обойме 1 гироскопа, продольная ось вращения которой совпадает с осью СП, укреплен ползунок курсоуказателя 11.

Рамка 4 укреплена на полуосях 8 и 10 и под действием эксцентрично расположенного груза 7 поворачивается относительно кожуха СП так, что ее плоскость всегда совпадает с плоскостью искривления скважины. На верхнем диске 3 рамки смонтирован круговой реохорд 2, нулевая точка которого находится в плоскости рамки. Угол между началом реохорда и ползунком курсоуказателя 11, направление которого неизменно, равен видимому дирекционному углу  $\alpha_2$ . Этому углу пропорционально напряжение на части реохорда, включаемой ползунком курсоуказателя 11. В плоскости рамки 4 смонтированы отвес 5 со стрелкой 9 и дуговой реохорд 6. Стрелка 9 контактирует с реохордом 6 и снимает с последнего напряжение, пропорциональное углу  $\delta$  отклонения скважины от вертикали.

Электродвигатель М гироскопа питается по трем жилам кабеля 1—3 переменным током частотой 400 Гц от генератора G, размещенного на поверхности (рис. 73). Этими же жилами кабеля реохорды угла наклона  $R_\delta$  и дирекционного угла  $R_\varphi$  соединены с наземной частью измерительной схемы, питаемой постоянным током. Разделение цепей постоянного и переменного тока осуществляется фильтром С1—С3, L1—L3 в СП и таким же фильтром С4—С6, L4—L6 в наземном пульте.

Реохорды углов поочередно подключаются к измерительной цепи с помощью поляризованного реле К1 при изменении полярности постоянного тока питания схемы переключателем S1. Схема измерения угла  $\delta$  представляет собой мост сопротивлений, два плеча которого образованы частями реохорда  $R_\delta$ , расположенными по обе стороны от его ползунка, а два другие плеча — потенциометром R, находящимся в наземном пульте. В измерительную диагональ моста между ползунками  $R_\delta$  и R через жилу 1 кабеля включен пульт-индикатор PA. Измерение сводится к уравновешиванию моста путем перемещения ползунка потенциометра R; схема отградуирована так, что угол поворота ползунка равен углу  $\delta$ . Измерение угла  $\alpha_2$  выполняется по такой же схеме при другой позиции переключателя S1.

Перед спуском СП в скважину ему задают наклон в направлении, для которого известен магнитный или истинный азимут, и измеряют углы  $\delta$  и  $\alpha_2$ . После извлечения СП из скважины эти измерения повторяют для контроля стабильности направления оси гироскопа. Результаты этих измерений используют для определения

азимута направления горизонтальной оси гироскопа  $\varphi_1$  и для перехода от дирекционного угла  $\alpha$ , вычисляемого по формуле (XIII.1), к азимуту  $\varphi$  наклона скважины:

$$\varphi = \alpha + \varphi_1. \quad (\text{XIII.2})$$

#### § 76. ИНКЛИНОМЕТР НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ИИИ-721

Инклинометр состоит из скважинного прибора и наземного пульта, питающихся от выпрямителя УВК-2 и генератора УГ-1. Он рассчитан на работу с одножильным бронированным кабелем и при непрерывном подъеме СП со скоростью 0,3 м/с позволяет производить дискретные измерения величин зенитного угла  $\delta$  и азимута  $\varphi$  наклона скважины, усредненных на интервале 1 или 5 м. Диапазоны измерения углов  $\delta$  и  $\varphi$  соответственно 3—100 и 0—360°; регистрация параметров и глубин точек измерения осуществляется в цифровой форме. Диаметр СП 73 мм, масса 60 кг, максимальная рабочая температура СП 120 °С, давление 60 МПа.

Для уменьшения помех, вызванных ударами СП о стенки скважины, кожух блока датчиков угла и азимута заполнен веретенным маслом, установлен на амортизирующих пружинах и снабжен резиновыми сальфонами, заполненными воздухом. Датчики зенитного угла Д $\delta$  и азимута Д $\varphi$  смонтированы на поплавковой измерительной рамке с эксцентричным центром тяжести, обеспечивающим автоматическую установку рамки в плоскости, перпендикулярной плоскости наклона скважины. Датчик Д $\delta$  выполнен на бесконтактном синусо-косинусном трансформаторе БСКТ, включенном с помощью фазосдвигающих цепей ФЦ1 и ФЦ2 в режиме фазовращателя (рис. 74). Маятник датчика Д $\delta$  автоматически устанавливается вертикально в плоскости, перпендикулярной к плоскости наклона скважины, и разворачивает ротор БСКТ на угол  $\delta$  по отношению к статору. При этом отставание сигнала с ФЦ1 и опережение сигнала с ФЦ2 от фазы питающего напряжения пропорционально синусной составляющей  $\delta$ . В результате поступающие на частотные модуляторы ЧМ1 (7,8 кГц) и ЧМ2 (14 кГц) сигналы имеют двойную разность фаз, что обеспечивает повышенную точность измерения  $\delta$ .

С помощью того же маятника датчик Д $\varphi$ , выполненный на феррозондах ФЗ1—ФЗ3, автоматически устанавливается в горизонтальной плоскости. Опорный феррозонд ФЗ1 экранирован от магнитного поля Земли и помещен в постоянное магнитное поле, которое не меняет своего направления относительно феррозонда. Преобразователь азимута, выполненный на взаимно перпендикулярных феррозондах ФЗ2 и ФЗ3, также включен в режим фазовращения с помощью фазосдвигающей цепи ФЦ3. Разность фаз, подаваемая с опорного феррозонда ФЗ1 и цепи ФЦ3, пропорциональна косинусной составляющей  $\varphi$ . Сигналы с феррозонда ФЗ1 и фазосдвигающей цепи ФЦ3 через усилители У1 и У2 подаются на частотные модуляторы ЧМ3 (25,7 кГц) и ЧМ4 (44,5 кГц) телесистемы. С модуля-

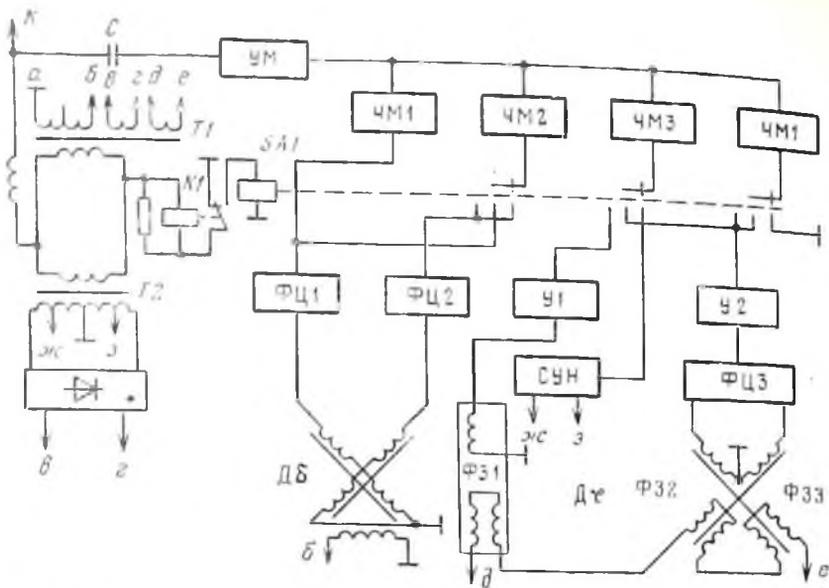


Рис. 74. Принципиальная схема инклинометра непрерывного действия ИИ-721

торов ЧМ1—ЧМ4 через усилитель мощности УМ сигналы по кабелю  $K$  подаются в наземный пульт.

В наземный пульт инклинометра входят блоки управления, частотной демодуляции, цифровой и транскриптор Ф5033. В режиме измерения переменное напряжение с генератора УГ-1 через блок управления поступает на накальный  $T1$  и анодный  $T2$  трансформаторы СП. С выводов «а» и «б» трансформатора  $T1$  подается питание на датчик Дб, а с выводов «д» и «е» — на питание феррозондов ФЗ1—ФЗ3 датчика Дг. Реле  $K1$ , включаемое из блока управления, позволяет управлять переключателем  $SA1$  режима работы СП. В среднем положении  $SA1$  «стандарт-сигнал» сигнал с фазосдвигающей цепи ФЦ1 поступает на модуляторы ЧМ1 и ЧМ2, а сигнал с усилителя У2 — на модуляторы ЧМ3 и ЧМ4. Так как при этом фазовый сдвиг сигналов на входах ЧМ1—ЧМ4 равен нулю, измеряется «нулевая» разность фаз, которая затем вычитается из результатов измерений. В правом положении  $SA1$  «установка напряжения питания СП» сигналы с фазосдвигающих цепей ФЦ1 и ФЦ2 поступают на модуляторы ЧМ1 и ЧМ2, сигнал с выхода схемы установки напряжения СУН — на частотный модулятор ЧМ3, а модулятор ЧМ4 подключается на «землю». В этом режиме устанавливается номинальное напряжение питания СП и измеряется угол  $\delta$  в обсаженных скважинах.

В блоке частотной демодуляции ЧМ-сигналы демодулируются и по ним определяются значения зенитного угла  $\delta$  и азимута  $\varphi$ , которые выдаются на электронные табло цифрового блока. Этот

блок содержит также табло глубины  $Z$  и скорости перемещения СП. Величина  $Z$  корректируется по магнитным меткам на кабеле.

С выхода транскриптора величины  $\delta$  и  $\varphi$  совместно с  $Z$  выдаются на цифровое печатающее устройство ЦПУ и фиксируются им. Вместо ЦПУ может подключаться ленточный перфоратор ПЛ-80 или магнитный регистратор «Триас» (см. гл. III).

### § 77. ПРИНЦИП ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЛЕГАНИЯ ПЛАСТОВ ПЛАСТОВЫМ НАКЛОНОМЕРОМ

Залегание пласта характеризуется его простиранием и падением (рис. 75). Простиранием пласта называется направление горизонтальной линии  $AB$ , лежащей в плоскости напластования ПН. Линией падения пласта является линия  $CD$ , проведенная в плоскости напластования ПН перпендикулярно к простиранию. Направлением падения пласта называется направление падения  $C'D'$  линии падения  $CD$  на горизонтальную плоскость ГП, а углом падения  $\gamma$  — угол между линиями  $CD$  и  $C'D'$ . Направление падения пласта характеризуется азимутом  $\lambda$  — углом между линией  $C'D'$  и линией юг—север в горизонтальной плоскости.

Плоскость напластования выделяется по изменению какого-либо геофизического параметра на границе раздела двух пластов. Если измерять этот параметр тремя центрированными датчиками  $I-3$ , расположенными в плоскости поперечного сечения скважины через  $120^\circ$  друг от друга, они пересекут границу пластов на различных глубинах  $Z_1-Z_3$ , что отразится характерными точками на кривых  $I-III$ . В наиболее простом случае, когда скважина вертикальна и ее диаметр номинальный, для расчета углов  $\gamma$  и  $\lambda$  достаточно измерить азимут одного датчика, принятого за основной (обычно первого), и смещения  $h_{21}$  и  $h_{31}$  глубин  $Z_2$  и  $Z_3$  по отношению к глубине  $Z_1$

$$h_{21} = Z_2 - Z_1; \quad h_{31} = Z_3 - Z_1. \quad (\text{XIII.3})$$

В общем случае скважина не вертикальна и характеризуется углом  $\delta$  отклонения от вертикали и азимутом  $\varphi$  наклона; ее фактический диаметр  $d_c$  отличается от номинального. Следовательно, для вычисления  $\gamma$  и  $\lambda$  необходимо измерить  $\delta$ ,  $\varphi$  и  $d_c$ , а также угол  $\beta$  между плоскостью наклона скважины и направлением на основной датчик  $I$ . Для измерения этих величин комплекс трех геофизических датчиков дополняется инклинометром, каверномером и устройством измерения ориентации датчика азимута относительно основного датчика.

Величины  $h_{21}$  и  $h_{31}$  позволяют определять промежуточный угол  $\psi$  между проекцией падения пласта (см. рис. 75,  $C'D'$ ) и направлением на основной датчик, отсчитываемый против часовой стрелки:

$$\text{tg } \psi = \sqrt{3} (h_{31} - h_{21}) / (h_{31} + h_{21}). \quad (\text{XIII.4})$$

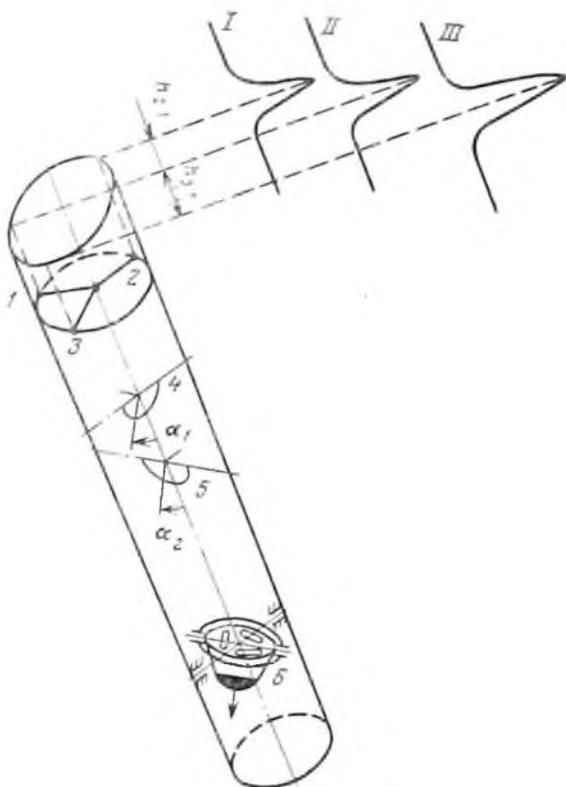


Рис. 76. Схема расположения датчиков в пластовом наклонере

напряжением частотой 400 Гц, а выходные напряжения зондов подаются через платы переключателя  $SA1.1$ ,  $SA1.2$  и  $SA1.4$  на усилители У1—У3 и далее на смесители СМ1—СМ3. Рычаги прижимного устройства связаны с ползунком реохорда  $R_d$ , с помощью которого измеряется средний диаметр скважины. Питается  $R_d$  от источника питания ИП1 (вывод «в»), вырабатывающего напряжение частотой 267 Гц. Выходное напряжение с ползунка  $R_d$  подается на смеситель СМ2.

Устройство измерения азимута ориентации  $\psi$  состоит из трехфазного феррозондового датчика  $\Phi 3$ , питающегося от источника ИП2 напряжением частотой 9 кГц, и следящей системы в виде сельсин-трансформатора  $BE$ , устройства УНР выделения и усиления напряжения рассогласования, микродвигателя  $M$  (питающегося от обмотки «з» трансформатора  $T1$ ) и потенциометра  $R_\psi$ . При повороте продольной оси  $\Phi 3$  на некоторый угол  $\psi$  относительно магнитного меридиана в его выходных обмотках возникают э. д. с., возбуждающие входные обмотки  $BE$ . В результате на выходной обмотке  $BE$  создается напряжение, пропорциональное этому углу.

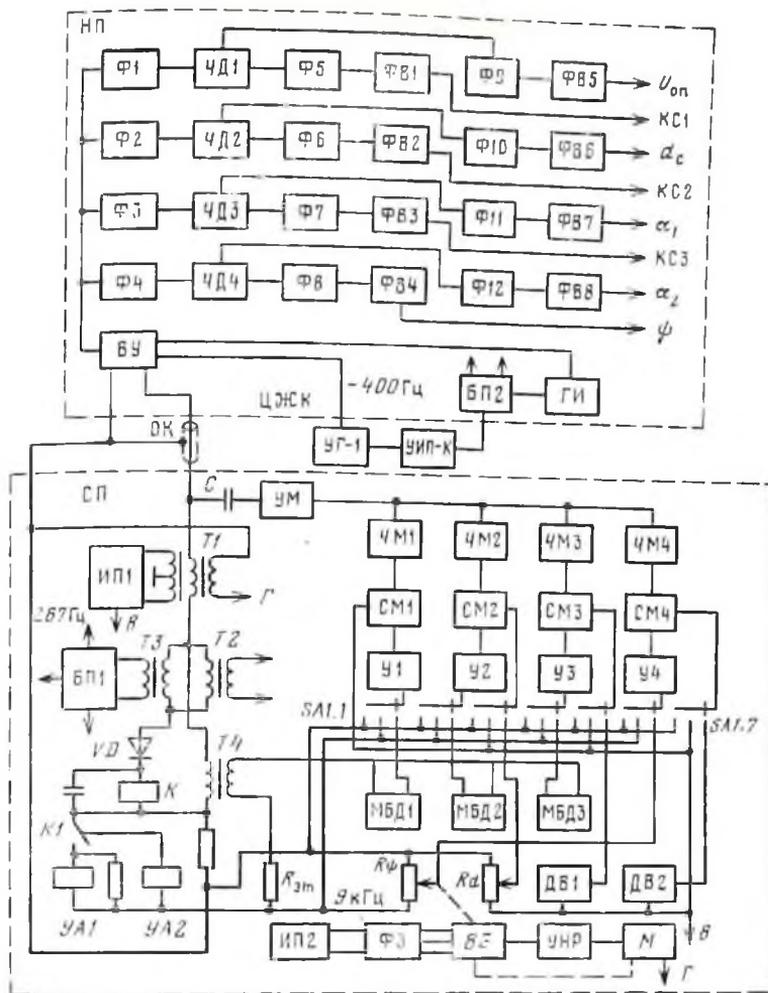


Рис. 77. Функциональная схема пластового накломера НИД-1

Это напряжение фильтруется и усиливается по мощности УНР и подается на двигатель  $M$ , который поворачивает вал  $BE$  до тех пор, пока напряжение на его выходной обмотке не станет равным нулю. На корпусе  $BE$  укреплен реохорд  $R_{\psi}$ , а на валу — ползунок реохорда, положение которого однозначно определяется положением оси  $\Phi 3$  относительно магнитного меридиана, что и позволяет регистрировать азимут  $\psi$ . Питается  $R_{\psi}$  напряжением 400 Гц с калиброванного резистора  $R_{\text{эт}}$ , а выходное напряжение с ползунка реохорда подается на вход усилителя  $У4$  и далее на смеситель  $СМ4$ .

Маятниковые устройства измерения углов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  (см. рис. 76, 4 и 5) представляют собой поплавки со смещенными центрами тя-

жести, жестко связанные с роторами бесконтактных индукционных датчиков. Индукционные датчики ДВ1 и ДВ2 питаются напряжением частотой 267 Гц, а их выходные напряжения подаются соответственно на смесители СМ3 и СМ4. Суммарные сигналы с частотами 400 и 267 Гц с выходов смесителей СМ1—СМ4 подаются на вход частотных преобразователей ЧМ1—ЧМ4 и после усиления по мощности УМ через разделительный конденсатор С поступают в ЦЖК.

Схема СП переводится из положения измерения в положение калибровки по нуль- и стандарт-сигналу сменой позиций переключателя SA1.1—SA1.7, приводимого в действие электромагнитом УА1. Электромагнит питается с поверхности положительными импульсами от генератора ГИ через диод VD, обмотку реле К и замкнувшийся при этом контакт К1.1. Трансформаторы Т2 и Т3 служат для питания накаливаемых цепей и блока выпрямителей БП1.

В измерительной панели высокочастотные ЧМ-сигналы поступают через входное устройство ВУ на входы полосовых фильтров Ф1—Ф4, где разделяются по несущим частотам 7,8; 14; 25,7; 44,5 кГц, и далее на частотные детекторы ЧД1—ЧД4. С выходов детекторов сигналы подаются на фильтры Ф5—Ф8 и Ф9—Ф12 поднесущих частот 400 и 267 Гц, детектируются фазочувствительными выпрямителями ФВ1—ФВ4 и ФВ5—ФВ8 и далее выводятся на индикаторные приборы пульта и регистратор каротажной лаборатории.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Принцип измерения угла  $\delta$  и азимута  $\varphi$  наклона инклинометром КИТ.
2. Измерение азимута  $\varphi$  гироскопическим инклинометром.
3. Принцип работы инклинометра непрерывного действия.
4. Принцип определения элементов наклона пластов.
5. Устройство СП наклономера НИД-1.

#### ГЛАВА XIV

### АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ СКВАЖИН

#### § 79. КОМПЛЕКС ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И АППАРАТУРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ СКВАЖИН

В действующих эксплуатационных и нагнетательных скважинах основные задачи ГИС заключаются в определении технического состояния обсадной колонны и цементного кольца, контроле за разработкой нефтегазовых пластов (включая определение текущих контактов между пластовыми флюидами), выделении отдающих или поглощающих интервалов и установлении количества и состава жидкостей, движущихся по стволу скважины. Часть этих задач решается с помощью аппаратуры, описанной выше. Акустический телевизор САТ-1 (см. § 68) и профилемер-радиусомер СПР-1 (§ 71)

используются для оценки целостности обсадной колонны, ее порывов, коррозии, выработки от движения насосно-компрессорных труб и ремонтного оборудования. Качество цементного кольца определяется с помощью цементомеров СГДТ-3 и АКЦ-4 (см. § 61 и 67), а заколонные перетоки флюидов — термометрией (см. § 69). Импульсные генераторы нейтронов ИГН-4 и ИГН-6 (см. § 60) служат для установления положений контактов между пластовыми флюидами.

Движение жидкости в стволе скважины изучают комплексом аппаратуры, включающим расходомеры, плотномеры и влагомеры (табл. 9). Притоки газа и нефти фиксируются также высокочувствительными термометрами за счет эффекта дросселирования газа или нефти в пласте (эффект Джоуля-Томпсона). На фоне плавного или незначительного геотермического градиента поступление газа в скважину сопровождается понижением температуры, а притоки нефти — небольшим повышением. По материалам расходомерии и термометрии строят профили притоков или приемистости пластов. Плотномеры применяются для определения наличия нефтеводораздела в стволе скважины, выявления интервалов разгазирования жидкости и обводнения перфорированных пластов минерализованными и пресными водами. Задача влагометрии заключается в измерении содержания воды в жидкости и определении дебитов нефти из отдельных пластов.

Общее требование к измерительным установкам перечисленных приборов состоит в том, чтобы радиус их исследований не превышал радиус обсадной колонны. Обычные диаметры приборов — 25—42 мм (см. табл. 9). Для исследований в скважинах с высоким давлением на устье (фонтанных, компрессорных) приборы опускают через лубрикаторы, обеспечивающие герметизацию устья. Лубрикатор (рис. 78, а) представляет собой, состоящую из двух частей трубу 2, которая одним концом крепится к фланцу 1 фонтанной арматуры. Верхний конец трубы закрыт уплотнительным устройством 3, состоящим из одного-двух сальников, набранных из металлических и резиновых колец. При подготовке к исследованиям СП помещается в трубу 2 и подсоединяется к кабелю 8, предварительно пропущенному через уплотнительное устройство 3. Движение кабеля осуществляется через верхний 4 и нижний 7 ролики, закрепленные на кронштейнах 5 и 6. При больших давлениях на устье приборы снабжаются грузами, а лубрикаторы — устройствами для принудительного проталкивания кабеля.

В скважинах, оборудованных штанговыми насосами 14, прибор 13 опускают в межтрубное пространство между колонной 17 и насосно-компрессорными трубками 16 через отверстие в эксцентричной план-шайбе 15 (рис. 78, б). Верхний направляющий ролик 10 крепится на вертикальной опоре 11, положение которой регулируется болтами 12 так, чтобы кабель 9 свободно проходил через отверстие в план-шайбе.

Измерения в действующих скважинах выполняют с помощью обычного каротажного оборудования или специализированных

Назначение и технические характеристики приборов для исследования действующих скважин

| Прибор  | Назначение  | Диапазон измерения расхода жидкости, м <sup>3</sup> /ч | Диаметр, мм | Длина, м   | Предельная рабочая температура, °С | Предельное рабочее давление, МПа |
|---|---|--|-------------|------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Расходомер РГД-4<br>Расходомер-влажномер «Кобра-36» | Измерение расхода жидкости в нагнетательных скважинах   | 6—100  | 42          | 0,9        | 120                                | 60                               |
| Преобразователь расхода и влажности ПРВС-1          | Измерение расхода и влажности жидкости в фонтанирующих скважинах<br>То же, для скважин со штанговыми насосами | 0,2—25<br>0,2—2,0                                      | 36<br>28    | 1,8<br>1,9 | 80<br>120                          | 30<br>30                         |
| Термокондуктивный расходомер СТД-4                  | Выделение отлающих пластов  | 0,2—8  | 25          | 0,4        | 80                                 | 35                               |
| Индикатор влажности ВВСТ-1                          | Измерение содержания воды в жидкости  | —  | 30          | 1,3        | 150                                | 30                               |
| Термометр ПТС-1                                     | Измерение температуры; опускается через НКТ   | —  | 28          | 1,0        | 120                                | 30                               |
| Преобразователь давления ПДС-1                      | Измерение давления; опускается через НКТ  | —  | 28          | 1,6        | 120                                | 30                               |
| Плотномер ГПП-1М                                    | Измерение плотности жидкости в фонтанирующих скважинах  | —  | 42          | 1,9        | 100                                | 35                               |
| Плотномер ГПП-3                                     | То же, через межтрубное пространство  | —  | 25          | 2,3        | 80                                 | 30                               |
| Плотномер ГПП-П                                     | То же, в глубинно-насосных скважинах  | —  | 32          | 2,5        | 50                                 | 25                               |
| «Поток-5»   | Измерение расхода, давления температуры и влажности жидкости, локация муфт в фонтанирующих скважинах          | 2—100  | 40          | 2,8        | 100                                | 30                               |
| «Фонтан-6»  | То же, и выделение отлающих интервалов  | 3—100  | 42          | 2,2        | 120                                | 40                               |

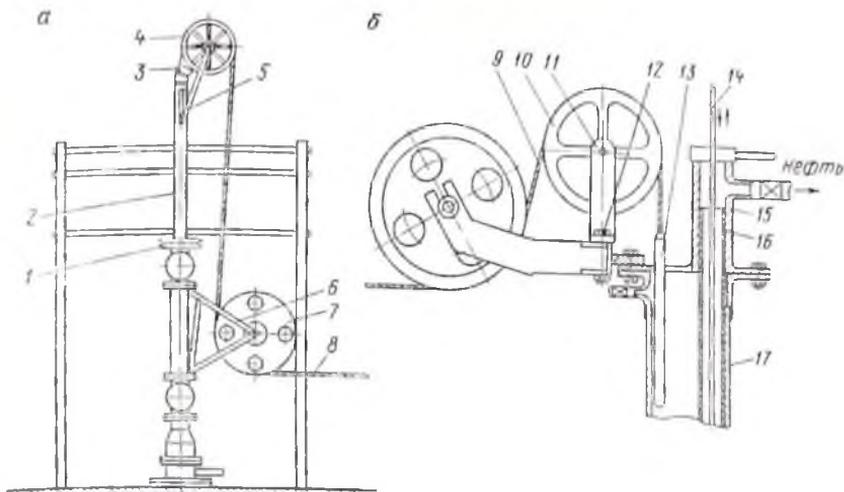


Рис. 78. Оборудование устья фонтанирующей (а) и глубинно-насосной (б) скважины для проведения геофизических измерений

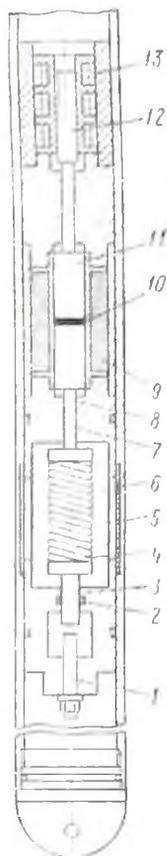
станций «Аист» и «Компас», лаборатория и лебедка которых смонтированы на одной автомашине. Исследования начинают с термометрических измерений во избежание перемешивания жидкости СП и кабелем и нарушения установившегося теплового равновесия в скважине. Затем проводят другие измерения по изучению свойств жидкости или состояния скважины. Для привязки к глубинам кривых, полученных различными СП в разное время, регистрируют кривую ГК и положение муфт обсадной колонны (см. § 85).

#### § 80. СКВАЖИННЫЕ РАСХОДОМЕРЫ, ВЛАГОМЕРЫ И ТЕРМОМЕТРЫ

Различают механические и термокондуктивные расходомеры, которые по условиям измерений делятся на пакерные и беспакерные. Чувствительным элементом механического расходомера, примененного в комплексном приборе ПРВС-1, служит четырехлопастная турбинка 7, установленная на подпятниках в измерительном канале СП (рис. 79). При вращении турбинки и закрепленного на ее валу постоянного магнита 8 приходит в действие герконовое реле 9, частота импульсов которого пропорциональна расходу жидкости через измерительный канал. На поверхности частота импульсов преобразуется в постоянное напряжение, которое фиксируется регистратором.

Вторым измерительным каналом прибора ПРВС-1 является диэлектрический влагомер. Влагометрия основана на зависимости диэлектрической проницаемости водонефтяной смеси от содержания воды (для воды  $\epsilon_{отн} \approx 80$ , для нефти — 2—6). Датчиком влагомера служит проточный конденсатор, образованный патрубком 6

Рис. 80. Конструкция чувствительного элемента преобразователя давления ПДС-1



12 индуктивного датчика 13. Обмотка датчика является элементом частотно-задающей цепи автотензогенератора, частота выходного напряжения которого линейно изменяется с перемещением стержня 7. В наземной аппаратуре измеряется частота этого напряжения и по переходной характеристике определяется величина давления, превышающего начальное (статическое) давление ПЖ.

Для уменьшения коэффициента трения поршня 7 электромагнитом 9 создается постоянная вибрация поршня. Частота вибрации задается элементами блокинг-генератора, трансформатором которого служит катушка 9 с дополнительной обмоткой обратной связи. Сердечник 11 электромагнита состоит из двух частей, между которыми помещен упругий элемент 10, обеспечивающий вибрацию сердечника в динамическом режиме.

## § 82. ПЛОТНОМЕРЫ СКВАЖИННОЙ ЖИДКОСТИ

Изучение плотности жидкости основано на измерении интенсивности поглощения мягкого  $\gamma$ -излучения флюидом, заполняющим скважину. Измерительный зонд плотномера (рис. 81) содержит источник  $\gamma$ -излучения 6 (тулий-170) с энергией менее 100 кэВ и расположенный на расстоянии 0,3—0,4 м от него сцинтилляционный детектор 2. В электронную схему 1 СП входят каскады формирования и усиления импульсов (см. § 55) для передачи их на поверхность.

В пакерном плотномере ГГК-П (рис. 81, а) жидкость направляется во внутреннюю полость зонда 4 через входные окна 7 в пакере 5 и корпусе 8 СП, а выходит через окна 3. Прибор опускается в интервал ниже глубинного насоса через насосно-компрессорные трубы со сложенным пакером; раскрытие пакера производится электродвигателем 10 с передачей 9 винт—гайка. Беспакерный плотномер ГГП-1М (рис. 81, б) применяется для исследования фонтанирующих скважин. Жидкость попадает в полость 4 зонда через вырезы 11, параллельные образующим стенки зонда.

Скважинные плотномеры рассчитаны на измерение плотности в диапазоне (0,7—1,2) г/см<sup>3</sup> с погрешностью  $\pm 0,01$  г/см<sup>3</sup>. Скорость регистрации кривых 0,015—0,03 м/с.

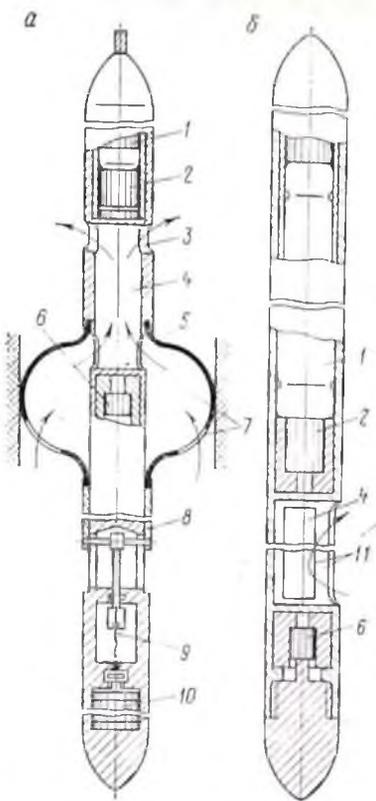


Рис. 81. Схема пакерного (а) и беспакерного (б) плотномеров скважинной жидкости

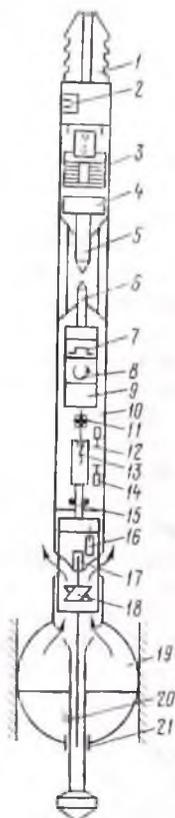


Рис. 82. Схема комплексного прибора «Фонтан»

### § 83. КОМПЛЕКСНЫЙ ПРИБОР «ФОНТАН-6»

Скважинный прибор «Фонтан-6» (рис. 82) содержит шесть чувствительных элементов — давления 2, локатора муфт 3, влажности 5, температуры и термоиндикатора притока 6, расхода 18, помещенных в кожух из немагнитной нержавеющей стали, и предназначен для исследования фонтанирующих скважин, обсаженных колоннами диаметром 146 и 168 мм. Прибор опускается через насосно-компрессорные трубки диаметром 60 и 73 мм. С кабелем СП соединяется стандартной приборной головкой 1.

Принципы работы чувствительных элементов СП в основном те же, что у приборов индивидуального назначения. Датчик давления 2 представляет собой тензорезисторы ПДМТ-40, наклеенные на чувствительную мембрану. Схема измерения давления — измерительный мост постоянного тока, в одном из плеч которого находится преобразователь давления, выполненный по схеме стабилизатора тока, управляемого тензорезисторами. В противоположном плече

моста (на поверхности) находится магазин сопротивлений и источник стабилизированного тока. Датчик локатора муфт — магнито-электрического типа, содержит катушку индуктивности, намотанную на сердечник из электротехнической стали с двумя постоянными магнитами и полюсными башмаками (см. § 85). Датчик влажности образован проточным конденсатором, внутренней обкладкой которого служит стальной изолированный фторопластом стержень 5, а внешней обкладкой — корпус 10 СП. Изменение влажности преобразуется в схеме 4 в изменение частоты RC-генератором (см. § 80). Частотные сигналы влажности и расхода поступают на поверхности на разделительный фильтр, а затем на частотно-аналоговые выходы вычислительной схемы.

Датчик температуры 6 представляет собой терморезистор СТЗ-19, помещенный в герметичном латунном кожухе. На этом же терморезисторе выполнен датчик термондикатора притока, вторым узлом которого является проволочный нагреватель. Схема измерения температуры — измерительный мост постоянного тока, одна из ветвей которого находится в СП, а другая — компенсационная — на поверхности и состоит из магазина сопротивлений и токозадающего резистора. Датчик расхода представляет собой вращающуюся турбину 18, на верхнем конце оси которой укреплен постоянный магнит 17, взаимодействующий с магнитоуправляемым контактом геркона 16, размещенного в герметичном корпусе.

Прибор со сложенным и зачехленным пакером опускают в интервал исследования на трехжильном кабеле. При непрерывном движении СП производят регистрацию сигналов локатора муфт, датчиков температуры, давления, влажности и термондикации притока. Для измерения понтервального расхода жидкости СП останавливают над исследуемым интервалом и раскрывают пакер путем подачи управляющего тока питания на электродвигатель 8. Последний через планетарный редуктор 9 и опорный узел 11 перемещает винтовую передачу 13 блока привода пакера и связанные с ней шток 15, турбинку 18 и тягу 20. В начале движения тяги 20 освобождается защитный чехол пакера, а затем перемещение вверх нижней муфты 21 раскрывается сам пакер 19. Раскрытие пакера заранее регулируется по диаметру обсадной колонны изменением положения упора 12, отключающего концевой выключатель 14. Одновременно с раскрытием пакера раскрываются входные и выходные окна датчика расхода. С этого момента жидкость поступает через пакер в рабочий канал СП и вращает турбинку 18, за каждый оборот которой на поверхность поступает один импульс тока.

По окончании измерения, изменив полярность тока с помощью блока коммутации 7, пакер закрывают и перемещают СП на следующий интервал.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Назначение аппаратуры для исследования действующих скважин.
2. Принцип работы механического и термокондуктивного расходомеров.
3. Устройство скважинного преобразователя давления ПДС-1.
4. Устройство комплексного прибора «Фонтан».

## ПРИХВАТООПРЕДЕЛИТЕЛИ И ЛОКАТОРЫ МУФТ

## § 84. ПРИХВАТООПРЕДЕЛИТЕЛИ И ПРИХВАТОМЕРЫ

Для ликвидации прихватов бурового инструмента необходимо установить интервал и верхнюю границу прихвата бурильных труб. Эти операции выполняют с помощью прихватаопределителей ПО и прихватаомеров ПМТ.

Принцип работы прихватаопределителя основан на свойстве ферромагнитных материалов размагничиваться под действием механической деформации. Скважинный прибор ПО представляет собой электромагнит, состоящий из катушки и сердечника, помещенных в прочный кожух из немагнитной стали. Головка и наконечник СП изготовлены из магнитной стали и выполняют роль полюсов электромагнита. Катушка электромагнита через штепсельный разъем в головке СП подключена к каротажному кабелю. Прихватаопределитель позволяет намагничивать небольшие участки бурильных труб (ставить на них магнитные метки) и измерять э. д. с. магнитной индукции при перемещении СП вдоль колонны бурильных труб. Наилучшие результаты получают при минимальной разнице между внутренним диаметром бурильных труб и наружным диаметром прибора 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 э. д. с. магнитной индукции производят каротажным осциллографом при подъеме СП со скоростью до 0,8 м/с. Первую кривую э. д. с. 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 э. д. с. магнитной индукции в том же интервале колонны. На этой кривой пики 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 э. д. с., устанавливают верхнюю границу зоны прихвата.

Прихватаомеры ПМТ используют при совместном спуске со взрывной торпедой для определения зоны прихвата бурового инструмента по магнитным меткам и отбивки замков бурильных труб с целью подрыва торпеды в замковом соединении труб. Прихватаомер отличается от прихватаопределителя ПО тем, что имеет полюсные наконечники с увеличенной магнитной напряженностью и диодную схему питания СП постоянными токами различной полярности. При одной полярности производится установка магнитных меток, при другой — подрыв торпеды, соединенной с прихватао-

ром переводником длиной до 1 м. Нанесение магнитных меток в колонне, запись кривых э. д. с. и определение зоны прихвата осуществляются так же, как и при работе с ПО.

Для отстрела прихваченного бурового инструмента в скважину опускают шнуровую торпеду совместно с прихватомером и с помощью последнего фиксируют замки бурильных труб вблизи верхней границы зоны прихвата. Замковые соединения фиксируются по уменьшению э. д. с. магнитной индукции, вызванному попаданием резьбового соединения между полюсами магнитопровода. После выделения необходимого соединения против него устанавливают торпеду и производят ее взрыв, облегчая развинчивание колонны бурильных труб в этом соединении.

## § 85. МАГНИТНЫЕ ЛОКАТОРЫ МУФТ

Магнитные локаторы муфт служат для измерения магнитного поля внутри обсадных труб с целью определения по изменениям этого поля местоположения муфтовых и замковых соединений труб, нарушений колонны (разрывы, утолщения и т. п.), а также выделения нанесенных на трубы магнитных меток. Знание положений муфт, привязанных к разрезу скважины по данным ГИС, необходимо для установки в колонне перфораторов, торпед и другого оборудования. Локаторы муфт применяются вместе с СП радиоактивного каротажа, перфораторами и торпедами или отдельно от них.

Магнитный локатор муфт состоит из скважинного прибора 1 и наземного пульта 2 (рис. 83), соединенных одножильным бронированным кабелем (ДЖК-ОК). В скважинном приборе имеются многослойная катушка-датчик  $L$  с железным сердечником и два постоянных магнита ПМ, которые размещены с обоих торцов катушки и соприкасаются с ее сердечником одноименными полюсами. Магнитная система  $L$  смонтирована в герметичном кожухе из немагнитной стали.

Магниты создают в катушке и вокруг нее постоянное намагничивающее поле, которое остается неизменным, если в окружающей среде (трубе) отсутствуют существенные изменения. Магнитное сопротивление изменяется в муфтах, замках, утолщениях и разрывах труб, что вызывает изменения (ослабление или усиление) магнитного поля катушки. В результате в катушке возникает э. д. с. индукции, ток которой передается по кабелю в измерительную аппаратуру на поверхности. Поперечные перемещения локатора в колонне не вызывают э. д. с., так как в СП применена дифференциальная магнитная система, на полюсах которой создаются две равные, но противоположные по знаку э. д. с.

Магнитный локатор муфт для приборов радиоактивного каротажа (рис. 83, а) содержит магнитный датчик  $L$  и усилитель, помещенные в немагнитный кожух, жестко соединенный с кожухом СП радиоактивного каротажа. Выходные импульсы локатора снимаются на поверхности с трансформатора  $T$ , выделяющего более

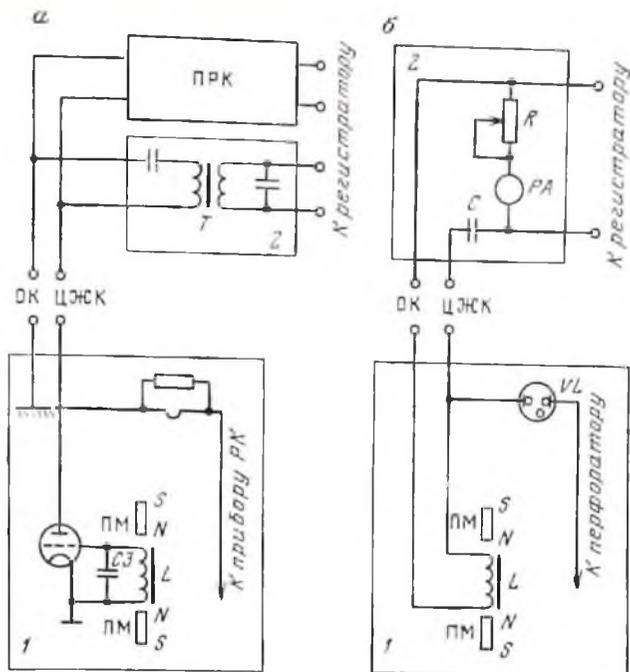


Рис. 83. Принципиальные схемы магнитных локаторов муфт:

а — локатора ЛР для работы с СП радиоактивного каротажа; б — локатора ЛП для работы с перфоратором

мощные низкочастотные импульсы локатора. Импульсы РК из-за большого сопротивления для них обмотки трансформатора поступают непосредственно на пульт радиоактивного каротажа ПРК.

Локатор муфт для перфораторов (рис. 83, б) включает в себя катушку-датчик  $L$  и газовый разрядник  $VL$  в кожухе, который жестко связан с перфоратором. Наземный пульт содержит разделительный конденсатор  $C$ , микроамперметр  $PA$  с переменным резистором  $R$  и клеммы для подключения схемы к кабелю и к регистратору. По микроамперметру  $PA$  производится визуальный отсчет муфтовых соединений. При измерениях локатором газовый разрядник  $VL$  не зажигается и запальная цепь перфоратора не шунтирует импульсы локатора. Для отстрела перфоратора в запальную цепь подается постоянный ток напряжением 350 В, который из-за высокого сопротивления  $L$  поступает непосредственно на разрядник и зажигает его, подключая к источнику питания запальную цепь.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Назначение и принцип действия прихватаопределителей и прихватомеров.
2. Принцип действия и принципиальные схемы магнитных локаторов муфт.

## ОПРОВОБАТЕЛИ И ИСПЫТАТЕЛИ ПЛАСТОВ И СВЕРЛЯЩИЕ КЕРНООТБОРНИКИ

### § 86. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОТБОРЕ ПЛАСТОВОГО ФЛЮИДА

Эффективным средством оценки характера насыщения пласта, вскрытого скважиной, является отбор проб пластового флюида (жидкости или газа) с помощью опробователей на каротажном кабеле и испытателей на бурильных трубах и последующий анализ этих проб. В опробователях пластов на каротажном кабеле баллон, куда отбирается проба флюида, находится под атмосферным давлением. На точке отбора пробы прибор прижимается башмаком к стенке скважины; при этом отверстие в башмаке соединяется с баллоном. Большой перепад давления (пластовое давление минус давление в баллоне) обеспечивает разрушение глинистой корки на стенке скважины, вынос загрязняющих частиц из пор породы и создание высокоскоростного потока пластового флюида, который поступает из пласта в баллон опробователя. В сильно загрязненных и уплотненных пластах дренажное отверстие может создаваться также с помощью кумулятивного заряда. После отбора пробы по электрическому сигналу с поверхности баллон опробователя герметизируется, прибор отжимается от стенки скважины и поднимается на поверхность, где из него извлекается пластовый флюид.

Испытания протяженных интервалов пород с целью оценки характера насыщения пласта и определения его эксплуатационных характеристик производятся с помощью испытателей пластов (ИПТ), спускаемых в скважину на бурильных трубах. Испытатели пластов имеют герметизирующие элементы (пакеры), изолирующие испытываемый интервал от остального ствола скважины, фильтр, устанавливаемый против интервала испытания, и большую емкость для пластового флюида, в качестве которой используются бурильные трубы, заполненные воздухом. Система клапанов обеспечивает сообщение испытываемого интервала с бурильными трубами и вызов притока из пласта, а после испытания — прекращение притока и уравнивание давления в испытывавшейся зоне с гидростатическим.

### § 87. ОПРОВОБАТЕЛЬ ПЛАСТОВ НА КАБЕЛЕ ОПН-7-10

Наибольшее распространение в настоящее время получил опробователь пластов ОПН-7-10, позволяющий при отсутствии притока из пласта последовательно опробовать до восьми точек без подъема СП на поверхность (табл. 10). Опробователь (рис. 84) состоит из головки 17, баллона 12, клапанной коробки, системы управления и компенсатора давления 2. В головке 17 смонтированы разъем для подключения к каротажному кабелю, кран 14 с гнездом, закрытым заглушкой 15, для подключения баллона на поверхности

к устройству, извлекающему из баллона газ, и выходящий в баллон 12 датчик притока 13. В головке опробователя может быть также установлен датчик давления (на рис. 84 не показан). Выводы разьема головки непосредственно подключены проводом 16 к датчику притока 13 и проводами 18 и 19 к кумулятивному заряду 9 и электромагниту 5.

В клапанной коробке смонтированы прижимное устройство, герметизирующий башмак 8, кумулятивный заряд 9, узел клапана и золотниковое устройство системы управления. Прижимное устройство представляет собой лапу 20, связанную с цилиндром двойного действия поршнем 11. При перемещении поршня 11 вниз лапа 20 отклоняется и, упираясь в стенку скважины, прижимает опробователь герметизирующим башмаком 8 к противоположной стенке скважины. Клапанное устройство состоит из цилиндра двойного действия с поршнем-клапаном 10, перекрывающим канал, по которому проба пластового флюида поступает в баллон 12. В начальном положении клапан герметизирует баллон. В положении отбора пробы поршень-клапан соединяет втулку башмака с баллоном и герметизирует ее.

Система управления состоит из электромагнита 5, золотникового переключателя 7 и поршня-демультипликатора 3. Наличие их в приборе приводит к тому, что над поршнем демультипликатором 3 и в соединенных с ним полостях устанавливается гидростатическое давление  $p_{гидр}$ , а под поршнем 3 давление, меньшее  $p_{гидр}$ . Разность этих давлений  $p_p$  — рабочее давление — определяется зависимостью

$$p_p = p_{гидр} (S_{ш}/S_{пд} - S_{ш}), \quad (XVI.1)$$

где  $S_{ш}$  — площадь штока поршня-демультипликатора, входящего в полость компенсатора;  $S_{пд}$  — площадь поршня-демультипликатора.

Соотношение площадей поршня и штока в поршне-демультипликаторе выбрано таким, чтобы рабочее давление  $p_p$ , описываемое (XVI.1), было меньше гидростатического давления  $p_{гидр}$ . В комп-

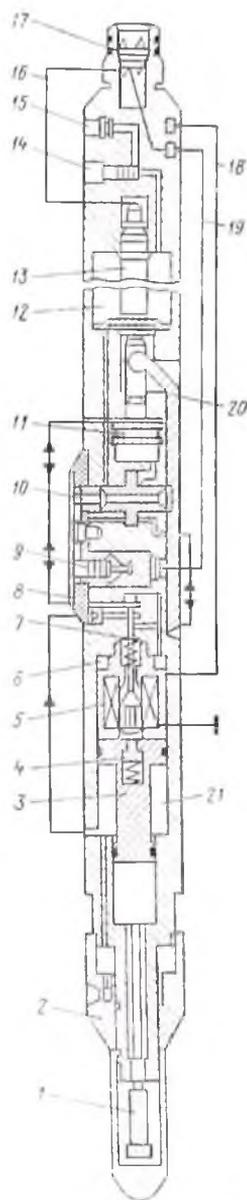


Рис. 84. Опробователь пластов для необсаженных скважин ОПН-7-10

Таблица 10

Технические характеристики опробователей пластов на кабеле

| Показатель   | ОПН-7-10    | ОПН-7-10,<br>ОПД-7-10 | ОПН 5-7     | ОПГ-17 | ОПО-5-6     |
|--|-------------|-----------------------|-------------|--------|-------------|
| Максимальное рабочее давление, МПа                   | 100         | 100                   | 100         | 50     | 60          |
| Минимальное рабочее давление, МПа                    | 4           | 4                     | 6           | 0,5    | 5           |
| Максимальная рабочая температура, °С                 | 150         | 200                   | 200         | 120    | 120         |
| Объем баллона, л                                     | 8           | 8                     | 5           | 6      | 6           |
| Наличие зарыда для создания дренажного канала        | Есть        | Нет                   | Нет         | Нет    | Есть        |
| Число циклов срабатывания без подъема на поверхность | 8           | 3                     | 3           | 10     | 1           |
| Диаметр, мм  | 132         | 135                   | 102         | 95     | 115         |
| Длина, мм  | 3200        | 2800                  | 3000        | 2800   | 2850        |
| Кабель   | Трехжильный | Одножильный*          | Одножильный |        | Трехжильный |

\* С датчиками давления и притока применяется трехжильный кабель.

лект прибора входят две пары поршней-демультипликаторов, что обеспечивает его работу в пределах  $p_{\text{подр}}$  от 5 до 100 МПа при перепаде давления на золотниковом переключателе 7 от 5 до 20 МПа.

После установки опробователя на точку опробования включают с поверхности электромагнит 5. При этом сердечник электромагнита переходит в верхнее положение, перемещая золотник 7. В результате давление в камере поршня 11 начинает повышаться и он перемещается вниз, отжимая лапу 20 и прижимая опробователь башмаком 8 к стенке скважины. Одновременно перемещается поршень-клапан 10, который после прижатия опробователя к стенке скважины перекрывает осевое отверстие и соединяет втулку башмака с баллоном 12. В процессе перемещения поршней 11 и 10 рабочая жидкость (силиконовое масло), находящаяся перед перемещаемыми поршнями, перетекает в камеру компенсатора 2. При соединении втулки башмака 8 с баллоном 12, в котором было атмосферное давление, происходит отбор пробы пластового флюида.

После окончания отбора с поверхности выключают электромагнит 5; под действием пружины сердечник электромагнита вместе с золотником 7 опускаются в первоначальное положение. Давление под поршнем 11 повышается и он начинает подниматься, герметизируя баллон 12, затем убирая лапу 20. После каждого цикла работы часть рабочей жидкости перетекает из полости 21 в полость 6, что ограничивает число рабочих ходов поршней до восьми. Для

обеспечения оперативной подготовки опробователя к следующему спуску в скважину используется зарядочный винт 1, с помощью которого поршень-демультипликатор 3 переводится в исходное положение, вытесняя рабочую жидкость из полости 6 назад в полость 21 через обратный клапан 4.

Кроме приборов ОПН-7-10 получили распространение опробователи пластов ОПН-5-7 и ОПГ-4-7, а также опробователь пластов для обсаженных скважин ОПО-5-6 (см. табл. 10). Опробователь пластов ОПН-5-7 по конструкции аналогичен прибору ОПН-7-10 и предназначен для проведения исследований в глубоких скважинах малого диаметра, а опробователь ОПГ-4-7 — для исследований структурно-поисковых и гидрогеологических скважин диаметром 118—196 мм. Особенностью последнего является наличие электро-механического привода прижимных и клапанных узлов СП, что позволяет использовать прибор на малых глубинах, где  $p_{гидр}$  мало.

Опробователь пластов ОПО-5-6 предназначен для исследования обсаженных скважин диаметром от 125 до 152 мм. Прибор отличается от рассмотренных способом прижатия к колонне и наличием кумулятивного перфоратора ниже отверстия для отбора пробы. Последовательность работы с ним следующая. Прибор устанавливается выше точки отбора на 30—40 см и прижимается гидростатическим давлением к стенке колонны при открытии доступа к малому баллону. В этом положении колонна простреливается. Затем баллон перекрывается, опробователь отходит от стенки колонны и опускается на 30—40 см так, чтобы отверстие отбора остановилось против отверстия, пробитого в колонне. Открывается большой баллон, прибор прижимается к колонне и начинается отбор пластового флюида. Прибор имеет два баллона (большой и малый) и оснащен датчиком давления.

## § 83. АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБ

Анализ проб газа и исследование пластовой жидкости проводят в специальной лаборатории опробования пластов. Для анализа проб газа на содержание УВ лаборатория комплектуется газокротажным хроматермографом ХГ-1Г (см. § 22). Для измерения плотности, вязкости и удельного электрического сопротивления пластовой жидкости лаборатория комплектуется ареометром АГ-2, вискозиметром СПВ-5 и поверхностным резистивиметром ПР-1.

В лаборатории, размещенной в кузове СГК-66 на шасси автомобиля ГАЗ-66, имеются пульт геофизика и пульт геохимика. В пульте геофизика установлены каротажный осциллограф Н017, измерительная и вспомогательная панели, пульт опробователя и блок питания. В пульте геохимика кроме упомянутых приборов (хроматермографа ХГ-1Г и приборов измерения физических свойств пластовой жидкости) смонтированы также дегазатор, компрессор и др. В лаборатории закреплен стол-верстак для оперативного обслуживания и ремонта опробователей пластов.

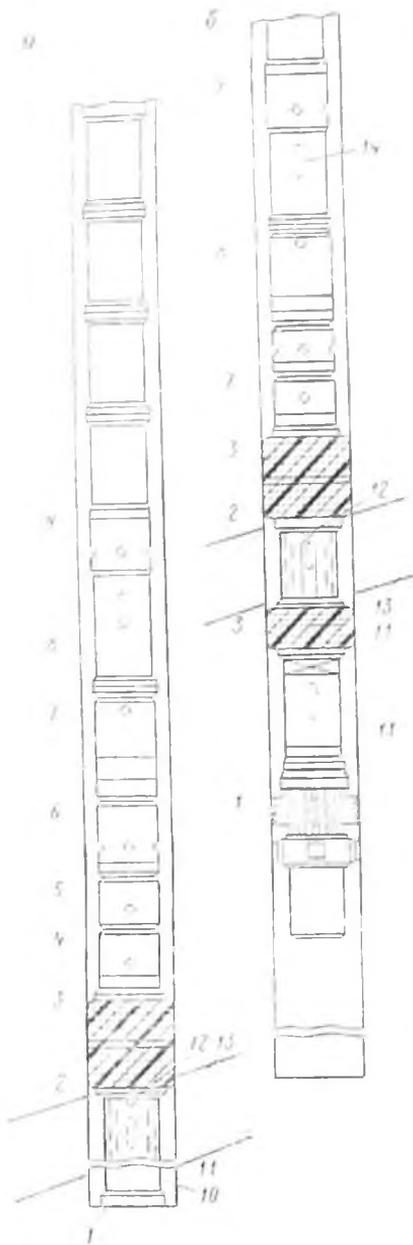


Рис. 85. Компонировка ИПТ для отбора пластового флюида и определения гидродинамических параметров пласта:

а — с опорой на забой скважины; б — с опорой на якорь для проведения селективных исследований

ИПТ содержит следующие основные узлы (рис. 85), обеспечивающие испытание пласта в простейшем случае: узел опоры 1, фильтр 2, пакер (пакеры) 3, гидравлический испытатель 6, запорный поворотный клапан 8, глубинные регистрирующие приборы 11 (манометры) и 14 (термометр) и герметичный автономный пробоотборник 12.

Назначение основных узлов определяется их наименованием. Узел опоры 1 представляет собой башмак 10 — в случае опоры на забой (рис. 85, а) или якорь — при опоре на стенки скважины (рис. 85, б), удерживающие испытатель на заданной глубине и принимающие на себя механические нагрузки во время испытания. Испытуемый пласт 13 изолируется от ствола скважины пакером (пакерами) 3, состоящим из резинового цилиндрического элемента на металлическом корпусе (см. рис. 87, а). В подпакерном или межпакерном пространстве против испытываемого пласта устанавливается фильтр 2, обеспечивающий проход пластовых флюидов к внутренним каналам ИПТ. Фильтр состоит из двухметровых секций толстостенных труб с отверстиями и предохраняет ИПТ от засорения механическими примесями.

Собственно испытание пластов производится с помощью гидравлического испытателя 6 (см. рис. 85), включающего в себя уравнительный и приемный клапаны (см. рис. 87, б, 8 и 11). Он обеспечивает гер-

метизацию полости бурильных труб и выравнивание давления в пространствах под и над пакером в процессе СПО, сообщения полости труб с подпакерным пространством и регулировку депрессии на пласт во время испытания, передачу механических усилий к нижним узлам ИПТ. По окончании испытания полость бурильных труб отсекается от подпакерного пространства запорным клапаном 8, который расположен над испытателем 6 и при спуске ИПТ в скважину находится в открытом состоянии, а закрывается при вращении труб над ИПТ. Контроль за спуском ИПТ, проведением испытания и восстановлением давления в подпакерном пространстве после закрытия запорного клапана 8 осуществляется глубинными манометрами. Основной манометр 11 устанавливается ниже фильтра с целью регистрации забойного давления, второй 14 — над запорным клапаном для регистрации давления долива жидкости в бурильные трубы, прироста давления на притоке и в процессе СПО. Пробоотборник 12 располагается внутри фильтра и предназначен для отбора и извлечения на поверхность герметизированной пробы пластового флюида с сохранением углеводородов в естественном фазовом состоянии.

Вспомогательные узлы ИПТ, входящие в полную компоновку, используются для расширения перечня выполняемых операций, предотвращения осложнений при испытании, облегчения из ликвидации и включают в себя: безопасный переводник 4, гидравлический яс 5, пробоотборник-накопитель 7, циркуляционный 9 и заливочный клапаны, регулятор депрессии и др. С помощью циркуляционного клапана обеспечивается прямая и обратная промывка скважины и замена жидкости в трубах после испытания пласта. Яс гидравлический используется для освобождения прихваченного инструмента; он срабатывает при превышении действующего на инструмент расчетного растягивающего усилия. В приборных патрубках 10 устанавливаются автономные глубинные манометры, термометры и пробоотборники.

Таблица 11

Технические характеристики испытателей пластов на трубах

| Показатель                       | КИИ-65 | КИИ2-95 | КИИ2-146 |
|----------------------------------|--------|---------|----------|
| Наружный диаметр, мм             | 65     | 95      | 146      |
| Общая длина, м                   | 20,0   | 21,6    | 17,8     |
| Максимальная длина узла, м       | 2,6    | 2,5     | 2,3      |
| Общая масса комплекта, кг        | 300    | 910     | 1200     |
| Допустимая нагрузка, кН:         |        |         |          |
| сжатия                           | 150    | 300     | 600      |
| растяжения                       | 100    | 250     | 400      |
| Допустимый крутящий момент, кг·м | 400    | 600     | 800      |
| Допустимое давление, МПа         | 80     | 80      | 70       |
| Максимальная температура, °С:    |        |         |          |
| с обычной резиной                | 130    | 130     | 130      |
| с температуростойкой резиной     | 200    | 200     | 200      |
| Диаметр обслуживаемых скважин    | 76—109 | 109—150 | 190—295  |

| Показатель                       | МИГ-127 | МИГ-146 | КОИС-116Д |
|----------------------------------|---------|---------|-----------|
| Наружный диаметр, мм             | 127     | 146     | 110       |
| Общая длина, м                   | 27,2    | 27,4    | 27,3      |
| Максимальная длина узла, м       | 2,9     | 2,9     | 3,0       |
| Общая масса комплекта, кг        | 5680    | 5440    | 1600      |
| Допустимая нагрузка, кН:         |         |         |           |
| сжатия                           | 1250    | 1500    | 300       |
| растяжения                       | 600     | 700     | 300       |
| Допустимый крутящий момент, кг·м | 750     | 1000    | —         |
| Допустимое давление, МПа         | 100     | —       | —         |
| Максимальная температура, °С:    |         |         |           |
| с обычной резиной                | 130     | 130     | 135       |
| с температуростойкой резиной     | 200     | 200     | 200       |
| Диаметр обслуживаемых скважин    | 195—243 | 190—195 | 140—168   |

Сборка узлов испытателя, длина каждого из которых 2,3—3 м (табл. 11), а масса до 200 кг, начинается с нижнего узла — опоры; по мере сборки ИПТ опускается в скважину. Длина хвостовика для ИПТ с опорой на забой выбирается такой, чтобы в рабочем состоянии фильтр 2 находился против испытываемого пласта 13. Для ИПТ с опорой на стенки скважины места установки якоря и пакеров выбираются в плотных непроницаемых породах на участках с номинальным диаметром ствола.

Испытатель пластов спускается в скважину на бурильных трубах, заполненных ПЖ до уровня, определяющего необходимое противодавление на пласт. В процессе спуска отверстие приемного клапана 1 гидравлического испытателя (рис. 86, а) закрыто, что преграждает путь ПЖ из скважины в бурильные трубы. Открытое отверстие 3 уравнительного клапана обеспечивает переток ПЖ через шток пакера, снижая эффект поршневания. По окончании спуска ИПТ устье скважины оборудуется вертлюжной головкой и manifoldом для отвода пластовых флюидов при длительном испытании (на рис. 85 не показаны).

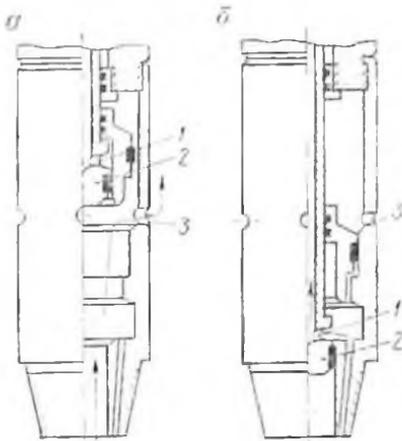


Рис. 86. Схема работы приемного и уравнительного клапанов гидравлического испытателя:

а — во время спуско-подъемных операций (испытатель растянут); б — во время притока (испытатель сжат)

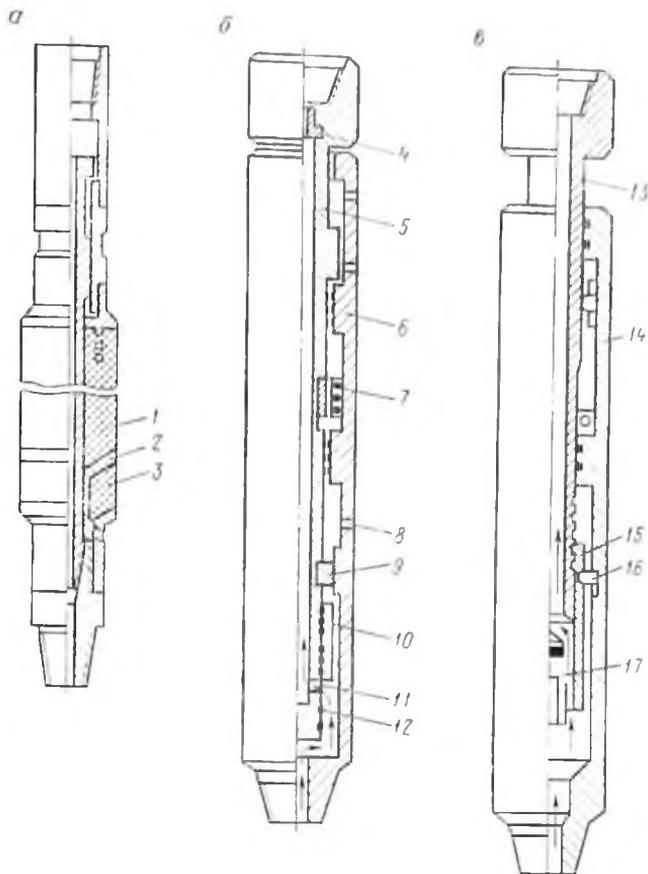


Рис. 87. Основные узлы ИПТ.

*а* — пакер: 1 — уплотняющий резиновый элемент, 2 — ограничитель деформации, 3 — расширяющаяся резиновая опора; *б* — гидравлический испытатель пластов в сжатом состоянии; 4 — штуцер, 5 — подвижный шток с верхним переводником, 6 — корпус, 7 — поршень гидравлического реле времени, 8 — уравнительный клапан, 9 — уплотняющая манжета уравнительного клапана, 10 — гильза приемного клапана, 11 — приемный клапан, 12 — отверстие приемного клапана; *в* — запорный поворотный клапан в растянутом состоянии; 13 — подвижный шток с верхним переводником, 14 — корпус, 15 — втулка, 16 — срезной штифт, 17 — клапан

Испытатель пластов ИПТ приводится в рабочее состояние осевым сжимающим усилием, которое создается за счет разгрузки о забой колонны бурильных труб. Под действием этого усилия расширяется резиновый элемент 3 пакера (рис. 87, *а*) и перекрывает зазор между ИПТ и стенкой скважины, изолируя подпакерное пространство. Одновременно происходит замедленное (за счет тормозного устройства) сжатие гидравлического испытателя (рис. 87, *б*), при котором уравнительный клапан 3 закрывается, а приемный 2 открывается (см. рис. 86, *б*). Подпакерное пространство и через него испытуемый пласт сообщаются с полостью бурильных труб над

ИПТ, давление столба ПЖ в которой меньше пластового, чем вызывается приток флюида из пласта.

По окончании периода притока вращением колонны труб закрывается запорный поворотный клапан 8 (см. рис. 85). Перекрытие отверстия клапана достигается ввинчиванием подвижного штока 13 с верхним переводником в тело втулки 15 (рис. 87, в). При этом полость бурильных труб изолируется от подпакерного пространства, в котором происходит восстановление давления. По окончании этого периода инструменту задают натяжение для отрыва от забоя. Гидравлический испытатель растягивается, закрывая приемный клапан 2 и открывая уравнивательный 3 (см. рис. 86, а). Давление над и под пакером выравнивается и он принимает исходную форму, освобождая ИПТ от механического крепления со стенкой скважины. Подъем инструмента и ИПТ производят с постепенной доливкой ПЖ в затрубное пространство. Через каждые 2—3 свечи бурильных труб отбирается проба флюида из их внутренней полости. По числу и объему заполненных труб определяется объем притока флюида.

Существующий нормальный ряд ИПТ обеспечивает испытания скважин диаметром от 76 до 295 мм при глубине скважин до 7000 м (см. табл. 11). Они могут применяться для испытания пластов в бурящихся скважинах и скважинах, обсаженных обсадной колонной. Испытатель КОИС-116Д предназначен для испытания только обсаженных скважин. Его отличительной особенностью является наличие во всех узлах сквозного отверстия для прохождения в интервал испытания геофизических приборов, спускаемых на кабеле через лубрикатор и позволяющих контролировать процесс испытаний.

#### § 90. СВЕРЛЯЩИЙ КЕРНООТБОРНИК СКТ-1

Термостойкий сверлящий керноотборник СКТ-1 предназначен для выбуривания из стенок скважин за одну спуско-подъемную операцию 12 образцов горных пород диаметром 25 и длиной 30—55 мм, на которых впоследствии выполняется весь комплекс петрофизических исследований. Керноотборник применяется в необсаженных скважинах диаметром 190—240 мм, глубиной до 5000 м при гидростатическом давлении до 100 МПа и температуре до 150 °С. Он работает совместно с серийными каротажными лабораториями и подъемниками с использованием кабеля КГ7-70-180. Масса прибора 130 кг, диаметр 127 мм, длина 3 м. Керноотборник СКТ-1 заменил ранее выпускавшиеся сверлящие керноотборники СКО-8-9 и СКМ-8-9.

Керноотборник СКТ-1 питается трехфазным переменным током частотой 50 Гц и напряжением 380 В от промышленной сети буровой. Две фазы тока передаются по строеным жилам кабеля, третья фаза — по его броне. Седьмая жила кабеля используется для управления СП — пуска и реверсирования электродвигателя. Схема питания представляет собой повышающий трансформатор,

пульт управления, в который входят магнитный пускатель и цепи включения и реверсирования электродвигателя СП, а также автоматический выключатель, срабатывающий, если потребляемая мощность превышает 2,5 кВт.

Керноотборник (рис. 88) состоит из следующих основных узлов: головки прибора 1, компенсатора давления 2, силового электродвигателя 3, блока приводов 4, корпуса СП 5, в котором размещены исполнительные механизмы. Последние включают в себя узел бура 6 с буровой коронкой 7 и кернорвателем 8, вставленным в его торце, поршень 9 подачи ПЖ и копирные линейки 10 и 11. Привод исполнительных механизмов от электродвигателя осуществляется через блок приводов 4, представляющий собой сложнопостроенный редуктор с тремя валами отбора мощности. Узел бура приводится во вращение карданным валом 12. Поступательное движение узла бура 6 и поршня 9 обеспечивается винтом подачи 13, сопряженным с копирными линейками 10 и 11 в верхней их части. Снаружи копирных линеек имеются продольные пазы, в которые входят закрепленные в корпусе 5 оси 14, обеспечивающие перемещение копирных линеек вдоль оси прибора. На внутренних поверхностях копирных линеек имеются косые пазы, по которым перемещаются пальцы 15, впрессованные в корпус бура 6 и заставляющие его выдвигаться из прибора или втягиваться в него при передвижении линеек. С поршнем 9 копирные линейки жестко связаны скобами 16. Полость 17 ниже поршня 9 представляет собой отстойник промывочной жидкости; с узлом бура 6 она связана вертикальным каналом, проходящим вдоль корпуса. Внутри бура 6 вставлен кернорватель 8, который вместе со своим грибком 18, коромыслом 19 и пружиной 20, действующей на коромысло в конце выхода бура из корпуса СП, составляет механизм отрыва керна.

Для удобства монтажа механизмов в корпусе 5 вырезано окно, закрывающееся крышкой 21. На внутренней стороне крышки закреплена керноприемная камера 22. Со стороны крышки на внешней стороне корпуса 5 расположен прижимной башмак 23, приво-

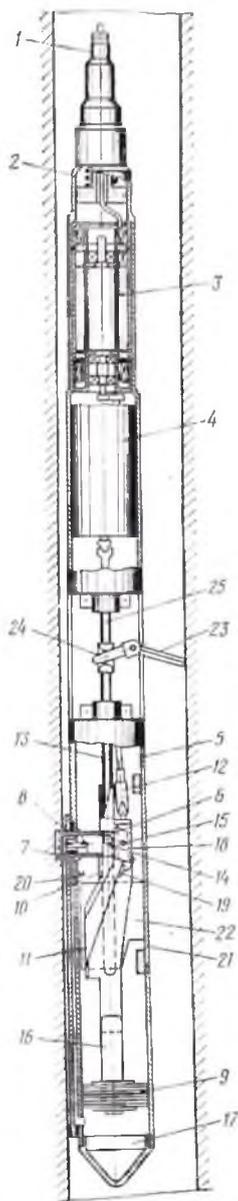


Рис. 88. Сверлящий керноотборник СКТ-1

димый в рабочее состояние системой рычагов и кронштейнов 24 от прижимного вала 25 блока приводов 4 (в показанной на рисунке проекции вал 25 находится за винтом подачи 13).

Керноотборник опускается в скважину с убранным внутрь прибора буром и прижатым к корпусу прижимным башмаком. При достижении точки отбора первого образца спуск прибора прекращается и по команде с поверхности включается электродвигатель 3. Через блок приводов 4 двигатель вращает винт подачи 13 и карданный вал 12; одновременно система рычагов 24 выдвигает прижимной башмак 23, жестко фиксируя СП. Перемещением вверх копирных линеек 10 и 11 узел бура выдвигается из корпуса СП и буровая коронка 7 врезается в стенку скважины. Поршень 9, связанный с копирными линейками, поднимается вверх, выдавливая промывочную жидкость из полости к месту бурения. Время выбуривания образца задано кинематической схемой прибора и равно 180 с. Остановка электродвигателя 3 по окончании бурения производится торцами копирных линеек, включающими тормозное устройство.

В конце бурения коромысло 19, нажимая на пружину 20, перемещает грибок 18 и кернорватель 8 по оси бура, заклинивая и отрывая образец. При реверсировании электродвигателя 3 прибор возвращается в исходное положение. Выбуренный образец выталкивается в керноприемную камеру при выбуривании последующего образца. Последний образец выносится на поверхность в узле бура.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Принцип работы опробователя пластов ОПН-7-10.
2. Назначение и компоновка основных узлов испытателя пластов на трубах.
3. Работа гидравлического испытателя пластов при спуске и подъеме инструмента.
4. Взаимодействие основных узлов сверлящего керноотборника при выбуривании образца.

## СПУСКО-ПОДЪЕМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА КАРОТАЖНЫХ СТАНЦИЙ

## ГЛАВА XVII

### КАРОТАЖНЫЕ КАБЕЛИ

#### § 91. УСТРОЙСТВО КАБЕЛЯ

Спуск и подъем геофизических приборов в скважине производятся с применением геофизического (каротажного) кабеля, выполняющего несколько функций. С его помощью СП доставляются в интервал исследований. Кабель служит линией связи, по которой к СП подается питание, осуществляется управление различными устройствами и передача информации на поверхность. По длине спущенного в скважину кабеля определяются глубина, на которой находится СП, и положение в разрезе геологических объектов. Кабель должен обладать малым диаметром и достаточной гибкостью для намотки его на барабан лебедки небольшого диаметра.

В соответствии с назначением и условиями эксплуатации каротажный кабель должен обладать следующими, часто противоречащими друг другу свойствами: 1) высокой механической прочностью, чтобы выдержать собственную массу, массу СП и дополнительные усилия, возникающие при спуско-подъемных операциях и связанные с трением о стенку скважины, вязкостью ПЖ, затяжками СП; 2) минимальным удлинением и раскручиванием под нагрузкой; 3) малым электрическим сопротивлением и затуханием токопроводящих жил, их геометрической и электрической симметрией; 4) высокой электрической изоляцией жил при высоких температурах и давлении ПЖ, а также при наличии в ней химических активных веществ, нефти и газа; 5) малым диаметром и большой массой, способствующими его погружению в ПЖ; 6) стойкостью внешнего покрытия к истиранию и долговечностью.

Невозможно одновременно удовлетворить всем перечисленным требованиям, поэтому в практике ГИС применяют кабели различного типа (табл. 12). Они подразделяются на бронированные с грузонесущей оболочкой из стальных проволок, а также оплеточные и шланговые с грузонесущими жилами и оболочкой из пряжи или резинового шланга. Каждому типу кабеля присвоен шифр, характеризующий его основные элементы: первая буква К — кабель, вторая буква Г — геофизический, цифра около букв — число жил, первая группа цифр — разрывное усилие в килоньютонках, вторая группа цифр — теплостойкость в градусах цельсия. Последняя группа букв — характеристика кабеля (III — шланговая оболочка,

Технические характеристики карбожных кабелей

| Тип кабеля                    |                    | Материал изоляции | Число жил | Наружный диаметр, мм | Размещение жил, кВ | Максимальная рабочая температура, °С | Максимальное давление, МПа | Средняя температура жидкостной среды, °С | Средняя температура жидкостной среды, °С | Средняя температура жидкостной среды, °С | Расчетная масса, кг/км | Пролет, км |
|-------------------------------|--------------------|-------------------|-----------|----------------------|--------------------|--------------------------------------|----------------------------|--|--|--|------------------------|------------|
| Новое обозначение             | Старое обозначение |                   |           |                      |                    |                                      |                            |  |  |  |                        |            |
| <b>Бронированные</b>          |                    |                   |           |                      |                    |                                      |                            |  |  |  |                        |            |
| КГ1-30-90                     | КПКО-2             | Полиэтилен        | 1         | 6,3                  | 30                 | 90                                   | 39                         | 21,3                                     | 3 000                                    | 178                                      | 350                    |            |
| КГ1-30-180                    | КОБДФМ-2           | Фторопласт 40Ш    | 1         | 6,3                  | 30                 | 180                                  | 98                         | 21,3                                     | 10 000                                   | 195                                      | 350                    |            |
| КГ1-55-90                     | КПКО-6             | Полиэтилен        | 1         | 9,4                  | 55                 | 90                                   | 78                         | 40,0                                     | 3 000                                    | 361                                      | 600                    |            |
| КГ1-55-180                    | КОБДФМ-6           | Фторопласт 40Ш    | 1         | 8,8                  | 55                 | 180                                  | 98                         | 21,3                                     | 10 000                                   | 315                                      | 600                    |            |
| КГ1-70-250                    | КФКО-6             | Фторопласт 4МБ    | 1         | 10,0                 | 70                 | 250                                  | 147                        | 18,0                                     | 10 000                                   | 420                                      | 600                    |            |
| КГ3-60-90                     | КПКТ-6             | Полиэтилен        | 3         | 10,2                 | 60                 | 90                                   | 78                         | 25,5                                     | 5 000                                    | 422                                      | 600                    |            |
| КГ3-60-90 ПО                  | —                  | »                 | 3         | 12,1                 | 60                 | 90                                   | 80                         | 25,5                                     | 10 000                                   | 415                                      | 1400                   |            |
| КГ3-70-180                    | КТБФ-6             | Фторопласт 40Ш    | 3         | 10,3                 | 70                 | 180                                  | 98                         | 25,5                                     | 10 000                                   | 530                                      | 600                    |            |
| КГ7-70-90                     | КПКС-6             | Полиэтилен        | 7         | 12,5                 | 70                 | 90                                   | 78                         | 25,5                                     | 5 000                                    | 517                                      | 600                    |            |
| КГ7-70-180                    | КСБФ-6             | Фторопласт 40Ш    | 7         | 12,5                 | 70                 | 180                                  | 98                         | 25,5                                     | 10 000                                   | 602                                      | 600                    |            |
| КГ1-50-90К                    | КРК-1              | Полиэтилен        | 1         | 9,8                  | 50                 | 90                                   | 78                         | 24,3                                     | 5 000                                    | 346                                      | 350                    |            |
| <b>Шланговые и оплеточные</b> |                    |                   |           |                      |                    |                                      |                            |  |  |  |                        |            |
| КГ3-3-70 Щ                    | КТШ-0,3            | Резина            | 3         | 12,4                 | 3                  | 70                                   | 29                         | 50,0                                     | 150                                      | 186                                      | 150                    |            |
| КГ3-10-70 ВО                  | КТО-1              | »                 | 3         | 16,0                 | 10                 | 70                                   | 29                         | 56,0                                     | 150                                      | 382                                      | 150                    |            |
| КГ3-18-70 ВО                  | КТО-2              | »                 | 3         | 18,8                 | 18                 | 70                                   | 29                         | 38,0                                     | 150                                      | 480                                      | 150                    |            |
| КГ3-18-70 ШМ                  | КТШН-2             | »                 | 3         | 19,4                 | 18                 | 70                                   | 59                         | 38,0                                     | 150                                      | 567                                      | 150                    |            |
| КГ17-60-180 ШМ                | КЭФ-6              | Фторопласт 40Ш    | 17        | 28,1                 | 60                 | 180                                  | 78                         | 40,0                                     | 5 000                                    | 1400                                     | 250                    |            |
| КГ1-2-50 КШ                   | КРПВ               | Полиэтилен        | 1         | 9,0                  | 2                  | 50                                   | 2                          | 30,0                                     | 5 000                                    | 125                                      | 10                     |            |

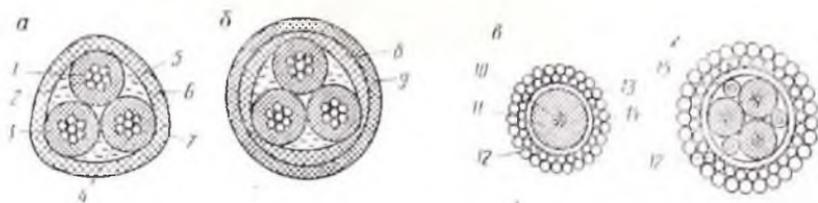


Рис. 89. Конструкция каротажных кабелей:

*a* — оплеточный КГЗ-18-70 ВО; *б* — шланговый КГЗ-18-70 ШМ; *в* — бронированный одножильный КГ1-30-180; *г* — бронированный трехжильный КГЗ-70-180

М — маслостойкий, К — коаксиальный, ВО — в оплетке из волокнистого материала, ПО — полиэтиленовая оболочка по броне). Например, кабель КГ17-60-180 ШМ, применяемый для изготовления зондов электрического каротажа, расшифровывается как кабель геофизический, семнадцатизильный, с номинальным разрывным усилием 60 кН и максимальной рабочей температурой 180 °С, шланговый, маслостойкий.

Оплеточный кабель (рис. 89, *a*) имеет три жилы, которые свиты из нескольких стальных 1 и одной медной 2 проволоки, изолированных резиновой оболочкой 3 и обмотанных прорезиненной хлопчатобумажной лентой 4. Промежутки между жилами заполнены пеньковыми или резиновыми шнурами 5. Жилы скручены с определенным шагом и покрыты слоем прорезиненной ткани 6 и оплеткой 7 из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом. Ткань и оплетка обеспечивают механическую защиту кабеля. Шланговый кабель (рис. 89, *б*) отличается от оплеточного тем, что его жилы после скрутки покрыты прорезиненной лентой 8 и запрессованы в шланг 9 из маслостойкой резины.

Бронированный кабель (рис. 89, *в*) получил наиболее широкое распространение. Жила 10 кабеля состоит из скрученных медных и стальных проволок, покрытых резиновой, полиэтиленовой либо фторопластовой оболочкой 11. Фторопластовые оболочки монолитные (фторопласт 4 ОШ) либо ленточные (фторопласт 4 и 4Д); в последнем случае оболочка имеет наружное герметичное покрытие. Поверх тканевой обмотки 12 в два повыва наложена броня из предварительно напряженных стальных оцинкованных проволок или проволок из стали 65Г. Нижний 13 и верхний 14 повывы имеют различное направление, что уменьшает раскручивание кабеля под нагрузкой. В трехжильном (рис. 89, *г*) и семижильном кабеле скрученные жилы вместе с резиной либо пряжей 15, заполняющей промежутки между ними, образуют круглый жгут, покрытый прорезиненной тканью, на которую наложены повывы брони.

Бронированный кабель наиболее полно удовлетворяет требованиям, предъявляемым при проведении ГИС. При равном разрывном усилии он имеет меньший диаметр, большую плотность и больший срок службы, чем оплеточный и шланговый кабели. Меньший диаметр кабеля позволяет намотать на ту же лебедку более длинный отрезок, что вместе с большей плотностью кабеля обеспечивает

возможность работы в глубоких скважинах с тяжелыми и вязкими ПЖ. Натяжение и удлинение бронированного кабеля под действием температуры и механических нагрузок меньше, чем у кабелей других типов, благодаря чему увеличивается точность определения глубин. Бронированные кабели характеризуются также более высокими электрическими свойствами: меньшим сопротивлением токопроводящих жил и большим сопротивлением их изоляции.

## § 92. ПРАВИЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ КАБЕЛЯ

При СПО каротажный кабель подвергается воздействию комплекса разнообразных факторов. Часть кабеля, находящаяся в скважине, вытягивается под действием собственной массы, массы СП и температуры, возрастающей примерно на  $1^{\circ}\text{C}$  на каждые 30 м. При подъеме растяжению кабеля способствуют затяжки и прихваты СП, трение кабеля о стенки скважины и высокая вязкость ПЖ. Растяжение кабеля по этим причинам составляет несколько метров в скважинах глубиной 2—5 км и может достигать десятков метров в сверхглубоких скважинах. Бронированные кабели подвергаются в скважине процессам коррозии под суммарным воздействием ПЖ с щелочными и кислотными свойствами и температуры.

Часть кабеля, намотанная на барабан лебедки, испытывает обжимающее воздействие, вызванное натягом выпущенной части кабеля и сокращением длины нагретого в скважине кабеля при его остывании. Усилия сжатия слоев кабеля по этим причинам достигают 5—10 кН при глубинах скважин 3—5 км и 10—20 кН при исследовании сверхглубоких скважин.

Нормальная работа каротажных кабелей в перечисленных условиях обеспечивается строгим соблюдением правил их эксплуатации. Кабель должен наматываться на барабан лебедки виток к витку под первоначальным натягом, приблизительно равным натягу в скважине и предотвращающим образование петель, «фонарей» из-за скручивания кабеля вследствие высокого крутящего момента брони. Особое внимание необходимо обращать на места перехода от одного слоя намотки к другому: здесь не должно быть вдавливания верхних витков кабеля в промежутки между нижними, перехлестывания витков между собой, так как это вызовет повреждение изоляции токопроводящих жил. При спуске СП нельзя допускать перепуск кабеля во избежание образования петель, снижающих механическую прочность кабеля.

Срок службы кабеля характеризуется общим пробегом через мерный ролик, включая спуски и подъемы. Фактический срок службы больше гарантийного (см. табл. 12) и определяется техническим состоянием кабеля. Бронированный кабель допускается эксплуатировать, если число порывов отдельных проволок верхнего пояса брони не превышает 10 на рабочем интервале и проволоки стерты не более чем на 25 %. Кабели с резиновой изоляцией, а также бронированные, рассчитанные на рабочую температуру

250 °С, допускается эксплуатировать при температуре воздуха на поверхности от -40 до 50 °С, остальные кабели — от -50 до 50 °С. Скорость СПО не должна превышать 2,8 м/с, а диаметр мерного ролика не должен быть меньше сорока диаметров кабеля. При подъеме СП необходимо на устье скважины облить кабель струей воды для очистки от следов ПЖ.

Электрическое сопротивление изоляции жил кабелей, составляющее при изготовлении 150—10 000 МОм на 1 км при 20 °С (см. табл. 12), уменьшается в скважине при предельных давлениях и температуре до 2 МОм на длину 3,5—7 км. Сопротивление брони 3,5—4 Ом/км изменяется незначительно. При использовании брони в качестве обратного провода из-за стекания с нее тока она эквивалентна двум заземлениям с малым сопротивлением: одним заземлением является верхний, другим — нижний конец брони. Из-за конечного сопротивления брони между отдельными ее участками существует разность потенциалов ПС, медленно изменяющаяся при движении кабеля. Обычно ее значение между концами кабеля не превышает 0,3 В, а амплитуда изменения — 0,1 В.

Вследствие индуктивной и емкостной связи жил кабеля, между собой и землей кабель имеет реактивное сопротивление, изменяющееся при его движении. Индуктивность жилы оплеточного и шлангового кабелей, намотанных на барабан лебедки, составляет 0,05—1,2 Гн в зависимости от длины кабеля на лебедке; для полностью выпущенного в скважину кабеля она равна сотым долям Гн/км. Индуктивность бронированного кабеля составляет единицы миллигенри и мало изменяется при СПО. Емкость между жилами бронированных кабелей 0,06—0,1 мкФ/км, а между жилой и броней примерно в 2 раза больше. У оплеточных и шланговых кабелей эти параметры примерно вдвое выше. Коэффициенты затухания бронированных кабелей, измеренные между жилой и броней, составляют 1,1—1,7 м<sup>-1</sup>/км, а волновое сопротивление 70—75 Ом при частоте тока 50 кГц.

### § 93. РЕМОНТ КАБЕЛЕЙ

Пригодность кабелей к эксплуатации определяется сопротивлением изоляции токонесущих жил, а у бронированных кабелей — и состоянием брони. Пониженное сопротивление изоляции обычно вызвано одним или несколькими нарушениями изоляционного покрытия жил (проколы, порывы, инородные включения), которые могут быть обнаружены и устранены. Разрывы отдельных проволок брони верхнего пояса защищают бандажками из изоляционной ленты для предотвращения дальнейшего разрывания проволок.

Выявление мест нарушения изоляции производится несколькими способами для кабелей разного типа. Оплеточный и шланговый кабели смачивают соленой водой и между жилой с уменьшенным сопротивлением изоляции и землей прикладывают высокое (до 3 кВ) напряжение. Место нарушения определяют по искре и бурному выделению газов. Для бронированных кабелей при та-

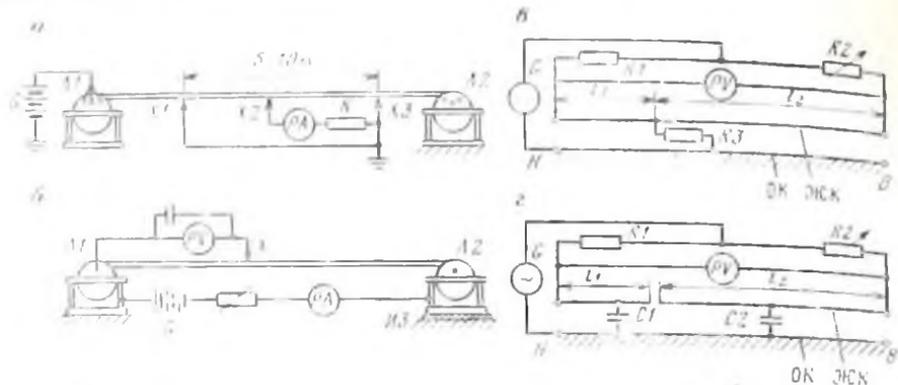


Рис. 90. Схемы выявления мест нарушения изоляции и обрывов жил кабеля: а — по падению напряжения на предохранительных контактах; б — по падению напряжения, мостовые элементы изоляции, в — утечки; г — обрывы жил

ком способе выявления нарушения изоляции увеличивается утечка, уменьшающаяся при обсыхании кабеля. Место нарушения изоляции выявляют другими способами.

При проверке оплеточного и шлангового кабелей применяют способ предохранительных контактов (рис. 90, а). Для обнаружения утечки увлажненный кабель перематывают с одной лебедки  $L1$  на другую  $L2$ , изолировав концы жил от корпуса лебедки. К выводам жил на одной лебедке подключают источник  $G$  постоянного тока (30—60 В), второй полюс которого заземлен. С оплеткой соприкасаются три расположенных через 5—10 м контакта  $X_1—X_3$  (рольки, увлажненная ветвь), крайние из которых подключены на землю непосредственно, а средний  $X_2$  — через микроамперметр  $PA$  и балластный резистор  $R$  (около 10 кОм). Если нарушение изоляции находится за пределами интервала  $X_1—X_3$ , токи утечки замыкаются через контакты  $X_1$  и  $X_3$  и не попадают на индикатор  $PA$ . Если же нарушение изоляции расположено в интервале  $X_1—X_3$ , ток утечки протекает через контакт  $X_2$  и стрелка  $PA$  отклонится тем больше, чем ближе место нарушения к контакту  $X_2$ .

Для выявления мест нарушения изоляции бронированного кабеля его перематывают с лебедки  $L1$  на изолированную от земли изолятором  $ИЗ$  лебедку  $L2$  (рис. 90, б). По броне кабеля от корпуса одной лебедки к корпусу другой от источника  $G$  пропускают постоянный ток силой 2—8 А, вызывающий падение напряжения на участке брони длиной 15—25 м. Индикация мест нарушения, в том числе нескольких, производится с помощью высокоомного милливольтметра  $PV$ , подключенного между жилой кабеля и участком брони между лебедками (контакт  $X$ ). При такой схеме измеряется падение напряжения на участке брони между контактом  $X$  и местом утечки тока из жилы на броню. При перемещении места нарушения изоляции с одной лебедки на другую оно отмечается отклонением стрелки  $PV$  сначала в одну, затем в другую сторону;

минимальные показания  $PV$  наблюдаются при нахождении места утечки под контактом  $X$ .

Для выявления нарушения изоляции в одном месте наиболее эффективна мостовая схема с источником  $G$  постоянного или переменного тока (рис. 90, в). Два плеча моста образованы постоянным  $R1$  и переменным  $R2$  резисторами, а двумя другими плечами служат сопротивления жилы кабеля от места нарушения изоляции до нижнего  $H$  и верхнего  $B$  концов. Источник  $G$  оказывается подключенным к диагонали моста через сопротивление утечки  $R3$ ; в измерительную диагональ моста включен нуль-индикатор (милливольтметр  $PV$ ). При уравнивании моста расстояния  $l_1$  и  $l_2$  от концов кабеля до места утечки определяются выражениями:

$$l_1 = IR1 / (R1 + R2), \quad (XVII.1)$$

$$l_2 = IR2 / (R1 + R2), \quad (XVII.2)$$

где  $l$  — длина кабеля.

Для выявления обрыва жилы кабеля измеряют емкости  $C1$  и  $C2$  жилы относительно брони с каждого конца кабеля. Для измерения применяют мостовую схему на переменном токе (рис. 90, г) с частотой питания 50—1000 Гц. В качестве нуль-индикатора  $PH$  используют осциллограф, телефон или электронный милливольтметр. Расстояния от места обрыва до концов кабеля при уравнивании моста

$$l_1 = IR2 / (R1 + R2); \quad (XVII.3)$$

$$l_2 = IR1 / (R1 + R2). \quad (XVII.4)$$

Способ неприменим при обрыве жилы в нескольких местах.

Ремонт поврежденных участков производится различным образом у кабелей разного типа. У оплеточного и шлангового кабелей снимают наружное покрытие, очищают изоляцию жилы от грязи и остатков покрытия и последовательно накладывают на поврежденный участок 3—4 слоя резиновой ленты под натягом. Затем покрывают изолированное место одним-двумя слоями изоляционной ленты. Намоткой этой же ленты заменяют снятый участок наружного покрытия.

В бронированном кабеле поврежденный участок вырубает и сращивают неповрежденные части. Вначале соединяют концы жил кабеля, переплетая их проволочки между собой и скрепляя соединения бандажом. Места соединений разносят на 10—15 см по длине кабеля и изолируют фторопластовой, а поверх нее нефтестойкой резиновой лентой, стремясь выполнить жгут в месте соединения близким по диаметру к номинальному. Соединение жил без пайки обеспечивает подвижность проволочек и предотвращает обрывы жил при натяжении кабеля.

Для сращивания брони ее предварительно развивают на каждой части кабеля на 2—3 м. После этого проволоки каждого повива накладывают на поврежденный участок так, чтобы сохранилось

их взаимное расположение, существующее в целом куске кабеля, а каждая проволока одного куска кабеля служила продолжением проволоки другого. Лишние концы проволоки обрезают таким образом, чтобы не было стыков проволок внутреннего повива против мест соединения жил. Для увеличения механической прочности соединения необходимо, чтобы стыки нечетных проволок находились на одном куске кабеля, стыки четных — на другом. Проволоки верхнего повива на стыках сплавляют специальной горелкой или сваривают точечной электросваркой. При исследовании неглубоких скважин места стыков можно защищать бандажами; в глубоких скважинах такие бандажи быстро разрушаются при трении кабеля о стенки скважины.

#### § 94. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИН

Положение в разрезе скважины изучаемых объектов (границ пластов нефтегазонасыщенных интервалов и т. п.) устанавливают по длине кабеля, спущенного в скважину. При этом учитывают удлинение кабеля под действием механических нагрузок и температуры. Так как геофизические исследования проводят преимущественно при подъеме СП, натяжение кабеля  $T$  под действием механических нагрузок определяется выражением

$$T = (M_n + M_k - M_{ж})g + T_{т} + T_{у} + T_{и}, \quad (\text{XVII.5})$$

где  $M_n$ ,  $M_k$  и  $M_{ж}$  — массы соответственно прибора, кабеля и вытесненной ими ПЖ;  $g$  — ускорение свободного падения;  $T_{т}$  — сила трения кабеля о стенки скважины;  $T_{у}$  — сила, затрачиваемая на сдвиг частиц ПЖ у поверхности кабеля;  $T_{и}$  — сила инерции при изменении скорости его движения.

Из (XVII.5) следует, что натяжение непропорционально длине спущенного кабеля и зависит от состояния стенок скважины, свойств ПЖ, скорости движения кабеля, а также от температуры. При одинаковой длине кабеля натяжение его различно в разных условиях. Так как удлинение пропорционально натяжению, оно также зависит от условий проведения СПО.

Длина спущенного в скважину кабеля измеряется путем нанесения на него через определенные расстояния (20—40 м) магнитных меток и их последующего считывания. Разметка проводится так, чтобы учесть неравномерное удлинение кабеля и тем самым обеспечить достаточно точное определение глубин при различных операциях в скважине. Существуют три способа разметки: с помощью стационарной разметочной установки; с помощью переносного разметочного устройства и вручную с использованием мерной ленты.

Стационарная разметочная установка УРС-10 предназначена для автоматической разметки бронированных кабелей диаметром от 4 до 16 мм, длиной до 7000 м и состоит из мерной базы и измерителя длины. Разметка производится с учетом переменного натяжения кабеля в скважине. Погрешность измерения  $\pm 0,02\%$ , скорость разметки 1,4 м/с.

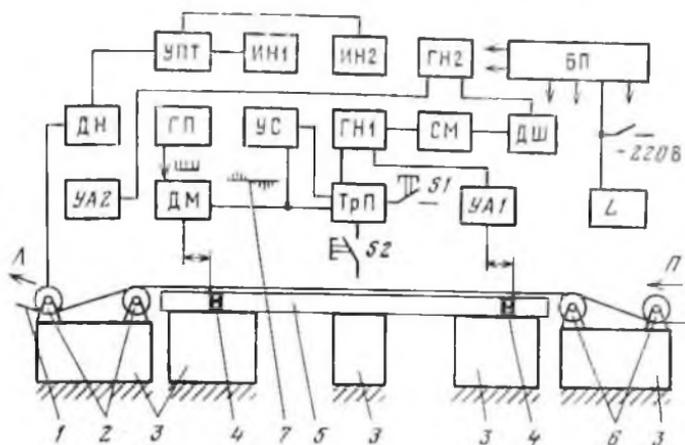


Рис. 91. Стационарная установка УРС-10 для автоматической разметки кабеля

Для проведения разметки подъемник П с измеряемым кабелем устанавливается на расстоянии 10 м от мерной базы и затормаживается. Кабель 1 заправляется в мерную базу, состоящую из установленных на тумбах 3 направляющих роликов 2 и 6 и эталона длины 5, и закрепляется на барабане стационарной лебедки Л (рис. 91). Предварительное размагничивание кабеля производится дросселем Л, установленным между направляющими роликами 6, при подаче на его обмотку переменного напряжения частотой 50 Гц. Счетчик меток СМ и индикаторы натяжения кабеля ИН1 и ИН2 переводятся в нулевые положения и на кабель с помощью электромагнита УА1, установленного в начале эталона 5, наносится первая метка последовательным нажатием кнопок S1 «Подготовка» и S2 «Метка». При дальнейшем движении кабеля по направлению стрелок первая метка перемещается к датчику меток ДМ, где происходит ее считывание. На выходе ДМ, возбуждаемого импульсным током от генератора подмагничивания ГП, появляется двуполярное напряжение 7. Положительным полупериодом этого напряжения триггер подготовки ТрП переводится в положение «Подготовка», а от отрицательного полупериода срабатывает сравнивающее устройство УС переводящее ТрП в положение «Метка». В этот момент генератор намагничивающего тока ГН1 подает в обмотку УА1 импульс тока и на кабель наносится следующая метка. Далее процесс повторяется автоматически.

Расстояние между УА1 и ДМ, установленными рядом с концевыми упорами 4, равно 10 м. Поэтому определение длины измеренного отрезка кабеля производится умножением на 10 числа меток, зарегистрированных счетчиком СМ. Для облегчения определения числа меток, нанесенных на каротажную диаграмму, после каждой десятой метки на удаление 1,3 м от нее наносится дополнительная сигнальная метка с помощью электромагнита УА2 и генератора

тока ГИ2. Команды на постановку сигнальных меток подаются из счетчика СМ через дешифратор ДШ, выделяющий каждую десятичную метку.

Натяжение кабеля при разметке регулируется торможением лебедки подъемника. Для измерения натяжения примерно десятая часть прикладываемого усилия отводится на силовизмерительный датчик натяжения ДН, установленный в полуоси выходного ролика 2. Сигналы датчика усиливаются схемой УПТ и подаются на индикаторы ИИ1 и ИИ2, размещенные в пультах подъемника и стационарной лебедки.

Более точные результаты, учитывающие фактически действующие натяжения, получают при разметке кабеля с помощью переносного разметочного устройства во время подъема СП из скважины. Принцип действия устройства такой же, как у стационарной установки. Устройство с мерной базой длиной 20 м крепится на буровой вышке между подвешенным и направляющим роликами спуско-подъемного оборудования.

При необходимости кабель размечается непосредственно на скважине с помощью стальной мерной ленты длиной 20 м. Разметка выполняется при остановках кабеля намагничивающим устройством каротажной лаборатории. Способ трудоемкий и характеризуется большей погрешностью, чем автоматическая разметка.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Требования, предъявляемые к каротажным кабелям.
2. Устройство бронированного кабеля.
3. Способы выявления места нарушения изоляции кабелей и разрывов жил.
4. Способы разметки кабеля с натяжением.

#### ГЛАВА XVIII

### **КАРОТАЖНЫЕ ЛЕБЕДКИ, ПОДЪЕМНИКИ И СПУСКО-ПОДЪЕМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

#### **§ 95. КАРОТАЖНЫЕ ЛЕБЕДКИ**

Спуск и подъем приборов в скважине осуществляется с помощью лебедки, на которую намотан каротажный кабель. В зависимости от предельной глубины исследований применяют лебедки различной конструкции: переносные либо транспортируемые в кузове автомобиля общего назначения при глубине скважин до 0,3 км, установленные на специальных автомобилях при глубинах от 0,3 до 10 км, стационарные на сверхглубоких скважинах. Переносные лебедки различаются по типу кабеля, на работу с которым рассчитаны. Остальные лебедки рассчитаны на работу с любым кабелем.

Основными частями лебедки являются рама, барабан, на который намотан кабель, привод для вращения барабана, укладчик

кабеля и коллектор (см., например, рис. 93). Барабан лебедки выполняется из немагнитной стали для предотвращения намагничивания кабеля и состоит из цилиндра, на который наматывается кабель, и двух щек, усиленных ребрами жесткости. Каждая щека имеет ступицу, вал которой вращается в роликовом подшипнике. Обойма подшипника закреплена на раме, служащей основанием лебедки. На одной из щек барабана смонтировано колесо цепной передачи, которая соединяет барабан с приводом лебедки. На другой щеке закреплено храповое колесо, фиксирующее барабан при остановках лебедки с помощью защелки, расположенной на раме. При спуске кабеля защелка отводится от храпового колеса. Ленточные тормоза лебедки охватывают щеки барабана по ободу. Тормоза включаются с помощью ручного рычага, связанного тягой с тормозными лентами.

Равномерная укладка кабеля на барабан при подъеме СП осуществляется специальным кабелеукладчиком, ролики которого перебегают синхронно с вращением барабана с помощью двух ходовых винтов, из которых один имеет правую, а другой левую резьбу. Для коррекции укладки кабеля укладчик снабжен ручным штурвалом.

Коллектор лебедки предназначен для подключения жил и брони намотанного на лебедку кабеля к измерительной схеме каротажной лаборатории. Коллектор состоит из вращающейся части, связанной с валом барабана лебедки, и корпуса, закрепленного на раме. На вращающейся части коллектора смонтированы изолированные от вала, корпуса и друг от друга кольца, к которым подведены жилы и броня кабеля. При вращении барабана по кольцам скользят закрепленные в корпусе неподвижные щетки, соединенные с выводами измерительной схемы лаборатории специальным кабелем. На всех лебедках, за исключением переносных, устанавливается маслonaполненный коллектор с восемью кольцами, позволяющий использовать лебедку для работы с одно-, трех- и семижильным кабелем.

От технического состояния коллектора зависит передача информации от СП к лаборатории и, следовательно, качество материалов ГИС. Поэтому контактные щетки и кольца должны хорошо прилегать друг к другу; сопротивление изоляции колец друг от друга и корпуса лебедки должно быть не ниже 50 МОм.

## **§ 96. СПУСКО-ПОДЪЕМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КАРОТАЖНЫХ СТАНЦИЙ. КАРОТАЖНЫЕ ПОДЪЕМНИКИ**

Спуско-подъемное оборудование монтируется на одном грузовом автомобиле вместе с измерительной аппаратурой либо на отдельном автомобиле. В первом случае это будет собственно автоматическая каротажная станция АКС, во втором — АКС состоит из самоходной лаборатории и подъемника, размещенных на двух автомобилях. В обоих случаях в спуско-подъемное оборудование помимо каротажной лебедки входят блок-баланс с мерным роли-

Таблица 13

## Каротажные подъемники и их основные технические характеристики

| Марка | Глубина исследуемой скважины, м                     | Область применения   | Скорость подъема, м/с | Тяговое усилие, кН       |                           |
|-------|---|--|-----------------------|--------------------------|---------------------------|
|       |   |  |                       | при минимальной скорости | при максимальной скорости |
| ПК-1  | 1000  | Спуско-подъемные операции в угольных, рудных, гидрогеологических и инженерно-геологических скважинах | 0,01—1,1              | 20                       | 10                        |
| ПК-2  | 2000<br>со шланговым и 4500 с бронированным кабелем | Спуско-подъемные операции в нефтегазовых, угольных и рудных скважинах                                | 0,03—2,2              | 30                       | 15                        |
| ПК-2В | 3500<br>с бронированным кабелем                     | Спуско-подъемные операции в труднодоступных нефтегазовых скважинах (доставляется вертолетом)         | 0,02—2,2              | 30                       | 15                        |
| ПК-4  | 4000<br>со шланговым и 7000 с бронированным кабелем | Спуско-подъемные операции в нефтегазовых, опорных и параметрических скважинах                        | 0,03—2,2              | 60                       | 25                        |
| ПК-С  | 10 000 с бронированным кабелем                      | Спуско-подъемные операции в нефтегазовых, опорных и параметрических скважинах                        | 0,03—3,0              | 80                       | 35                        |
| ПК-15 | 15 000 с бронированным кабелем                      | Спуско-подъемные операции в сверхглубоких скважинах  | 0,03—3,0              | 250                      | 120                       |

ком, подвесной и направляющий ролики, служащие для передачи движения кабеля от лебедки к устью скважины, и органы управления лебедкой и ее приводом. Геофизические исследования нефтегазовых скважин выполняются преимущественно АКС, в которые входят самоходные подъемники ПК-1, ПК-2, ПК-4 и ПК-С (табл. 13). Наиболее распространенными подъемниками являются ПК-2 и ПК-4, смонтированные на автомобилях ЗИЛ-131 и Урал-375 соответственно и обеспечивающие исследования скважин глубиной до 4,5 и 7 км при использовании бронированного кабеля. Для исследования скважин в труднодоступных районах применяется подъемник ПК-2В, выполненный на облегченной раме и доставляемый на скважину на внешней вертолетной подвеске. Его приводом служит двигатель автомобиля ГАЗ-53, установленный в кузове подъемника.

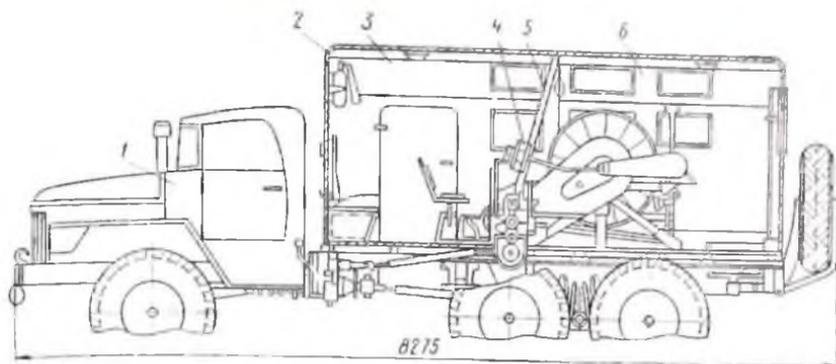


Рис. 92. Самоходный каротажный подъемник ПК-4

Кузов 2 подъемника ПК-4 (рис. 92) смонтирован на шасси автомобиля 1 и разделен застекленной перегородкой 5 на две части: кабину лебедчика 3 и лебедочное отделение 6. Из кабины лебедчика осуществляется управление СПО. Здесь установлены контрольная панель 4 лебедчика, органы управления лебедкой, дублиеры органов управления двигателем автомобиля, выведен штурвал для корректировки укладчика кабеля.

Привод барабана 27 лебедки (рис. 93) производится от двигателя 1 автомобиля через коробку передач 3, которая карданным валом 4 связана с раздаточной коробкой 7. С помощью раздаточной коробки привод от двигателя автомобиля через карданный вал 9 передается на задний и через карданный вал 5 на передний мосты автомобиля во время движения подъемника на скважину или на барабан 27 (через коробку отбора мощности 8 и карданный вал 10) во время СПО. Включение или выключение раздаточной коробки 7 производится рычагом 6. С коробкой отбора мощности 8 связан двухскоростной редуктор 12. Включение большой *Б* или малой *М* скоростей редуктора производится рычагом 11. Выходной вал редуктора 12 двухрядной цепной передачей 13 связан с цепным колесом 17, свободно вращающимся на валу барабана 27. Привод барабана осуществляется с помощью кулачковой муфты 16, включаемой пневмоприводом 15 по команде лебедчика.

Коробка передач 3 автомобиля имеет пять скоростей переднего и одну скорость заднего хода. Поэтому с помощью рычага 2 коробки передач автомобиля и рычага 11 двухскоростного редуктора 12 при заданном числе оборотов двигателя можно получить десять скоростей подъема и две скорости спуска кабеля в скважину. Дополнительная регулировка скоростей производится изменением оборотов двигателя. С учетом всех регулировок подъемник ПК-4 обеспечивает подъем СП со скоростями в диапазоне 0,3—2,2 м/с.

Укладчик 25 кабеля 26 с дифференциальным корректором 21 выполнен в виде двух ходовых винтов 23 с правой и левой резьбой, на гайках 24 которых смонтирована каретка укладки кабеля. При-



вод укладчика осуществляется от вала барабана 27 через цепную передачу 18, шестеренчатую передачу 19 со сменными шестернями, учитывающими изменение диаметра кабеля, и дифференциал 20. Штурвал 14 для ручной корректировки положения кабелеукладчика 25 связан с дифференциалом 20 конической передачей 22.

Для исследования скважин глубиной 2—3 км используется подъемник ПК-2. Его кузов также разделен на кабину лебедчика и лебедочное отделение. Кинематическая схема ПК-2 содержит те же основные узлы, что и схема подъемника ПК-4. Скорость подъема кабеля подъемником ПК-2 изменяется в диапазоне 0,3—2,2 м/с.

## § 97. ПРОВЕДЕНИЕ СПУСКО-ПОДЪЕМНЫХ ОПЕРАЦИЙ

При исследовании скважины ~~самоходный~~ подъемник или карогазную станцию устанавливают так, чтобы с кабины лебедчика хорошо просматривался весь путь движения кабеля до устья скважины. Надежно закрепив автомобиль во избежание его движения при натяжках кабеля, производят спуск и подъем СП в следующем порядке:

а) включают нейтральную передачу в раздаточной коробке автомобиля;

б) включают коробку отбора мощности;

в) пользуясь дублерами зажигания и стартера в кабине лебедчика, запускают двигатель автомобиля;

г) первые витки кабеля сматывают вручную, установив рычаг коробки передач автомобиля в положение «задний ход». Затем включают привод лебедки на двухскоростном редукторе (см. рис. 93, 12) с помощью кулачковой муфты 16 привода лебедки и производят спуск прибора и кабеля в скважину под действием их массы, регулируя скорость спуска тормозами барабана лебедки. Скорость спуска не должна превышать 3 м/с. При полном спуске СП на барабане лебедки должно оставаться не менее одного ряда витков кабеля во избежание его соскальзывания с барабана;

д) для подъема кабеля с заданной скоростью устанавливают необходимые передачи в коробке передач автомобиля и двухскоростном редукторе. Отрыв СП от забоя производят на скорости 0,1 м/с; в интервале исследований скорость подъема определяется типом СП, дифференцированностью разреза по излучаемому свойству и решаемыми геологическими задачами — обычно она находится в пределах 0,03—1 м/с. По окончании измерений поднимают СП со скоростью до 2 м/с, контролируя натяжение кабеля по стрелочному индикатору на контрольной панели лебедчика;

е) при прохождении СП интервалов с резко изменяющимся диаметром скважины (каверны в пластах глин и солей, сальники) и башмака обсадной колонны скорость подъема кабеля уменьшают до 0,1 м/с, непрерывно контролируя натяжение кабеля;

ж) при приближении СП к устью скважины, что определяется при появлении над ротором предупредительной стоп-метки, вклю-

чают привод лебедки и дальнейший подъем СП на поверхность производят на самой малой скорости или вручную.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Основные элементы каротажной лебедки и их назначение.
2. Кинематическая схема привода лебедки от автомобильного двигателя в самоходном подъемнике.
3. Основные операции, выполняемые при спуске и подъеме прибора с помощью самоходного подъемника.

## ГЛАВА XIX

### ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КАРОТАЖНЫХ СТАНЦИЙ

Кроме измерительной аппаратуры и спуско-подъемного оборудования АКС содержат вспомогательные устройства, обеспечивающие нормальную работу станций: силовые, предназначенные для питания измерительных, токовых и вспомогательных цепей переменным и постоянным током различного напряжения; для передачи движения СП в скважине контрольным приборам и лентопротяжным механизмам регистраторов; для разметки каротажных диаграмм по глубине; для контроля перемещения СП в скважине; для контроля СПО; сигнально-переговорные, обеспечивающие связь лаборатории с подъемником и буровой.

#### § 98. СИЛОВЫЕ УСТРОЙСТВА КАРОТАЖНЫХ И ГАЗОКАРОТАЖНЫХ 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, входящие в станцию. УИП-К состоит из двух основных блоков — силового, установленного в отдельном каркасе, и стабилизиро-

ванного — 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 до 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.

#### **§ 99. УСТРОЙСТВА ПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПРИБОРА ИЛИ БУРИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА В СКВАЖИНЕ РЕГИСТРАТОРУ КАРОТАЖНЫХ И ГАЗОКАРОТАЖНЫХ СТАНЦИЙ**

Для записи кривых ГИС в функции глубины скважины и контроля СПО необходимо непрерывно измерять длину спущенного в скважину кабеля или глубину забоя скважины и передавать перемещение кабеля или бурильного инструмента регистраторам и контрольным приборам АКС или АГКС. Соответствующие устройства АГКС рассмотрены в § 28. В АКС такие измерения выполняются 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  $\pm 5$ —10 м; поэтому результаты измерений используются только для визуального контроля за СПО. 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 пахождения СП в скважине и протяжки ленты регистратора в функции глубины принято, что один оборот ролика соответствует опреде-

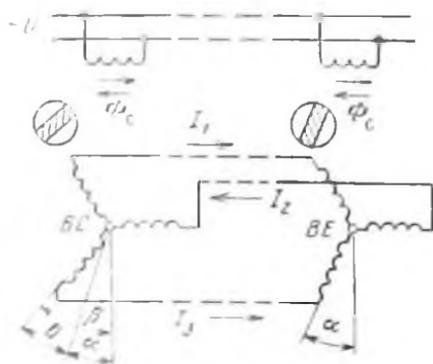


Рис. 94. Электрическая схема сельсинной передачи

метичный 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 сельсинны. Схема соединения сельсин-датчика *BC* с сельсин-приемниками *BE*, число которых может доходить до шести, показана на рис. 94.

Переменный ток частотой 50 Гц и напряжением 110 В, пропускаемый через обмотки статоров сельсиннов, создает в них пульсирующие магнитные потоки  $\Phi_c$ , направления которых совпадают с направлениями осей обмоток статоров. При этом в обмотках роторов индуцируются э. д. с., величины которых зависят от расположения осей роторных обмоток относительно осей обмоток статоров. Если положения роторов *BC* и *BE* одинаковы ( $\alpha = \beta$ ), эти э. д. с. 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  $\beta$  равна углу  $\theta$ , называемому углом рассогласования, то э. д. с. в обмотках ротора не равны между собой и в роторных цепях возникают уравнительные 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 от угла рассогласования  $\theta$  имеет вид

$$M_c = M_{\max} \sin \theta, \quad (\text{XIX.2})$$

ленной длине  $l$  кабеля (например, 2 м для бронированных кабелей). Отсюда расчетный радиус  $r$  по дну желоба мерного ролика

$$r = (l - \pi d_k) / 2\pi, \quad (\text{XIX.1})$$

где  $d_k$  — диаметр кабеля.

Для дистанционной передачи вращения мерного ролика на буровой к приборам АКС используется сельсинная синхронная передача. При проведении ГИС сельсин-датчик *BC* помещенный в гер-

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

$$M_d = M_c \cos \pi n / 2n_c = M_{\max} \sin \theta \cos \pi n / 2n_c, \quad (\text{XIX.3})$$

где  $n$  — частота вращения ротора сельсина в об/с;  $n_c$  — синхронная частота вращения ротора 50 об/с.

Из (XIX.3) 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 статистический синхронизирующий момент  $M_c$ , так как даже при максимальных скоростях (0,3 м/с) перемещения кабеля  $n = 1,2$  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.

В качестве датчиков применяют сельсины ДИ-511, НД-511, БД-511, с которыми связаны несколько сельсин-приемников СС-501, НС-501 или БС-501. Так, если в АКС входят лаборатория и подъемник, то от  $BC$ , смонтированного в датчике глубин, приводятся  $BE$  в лаборатории (в каротажном осциллографе, пульте управления осциллографом, контрольной панели) и в контрольной панели лебедчика на подъемнике. В АГКС, в которых используется один  $BE$ , применяют сельсины СС-501 и БС-501.

Для считывания магнитных меток используется магнитный меткоуловитель. Магнитный меткоуловитель ДМГ-1 представляет собой магнитомодуляционный датчик (рис. 95, а), 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 э. д. с. в измерительной катушке.

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  $U_1 = U \sin \omega t$ .

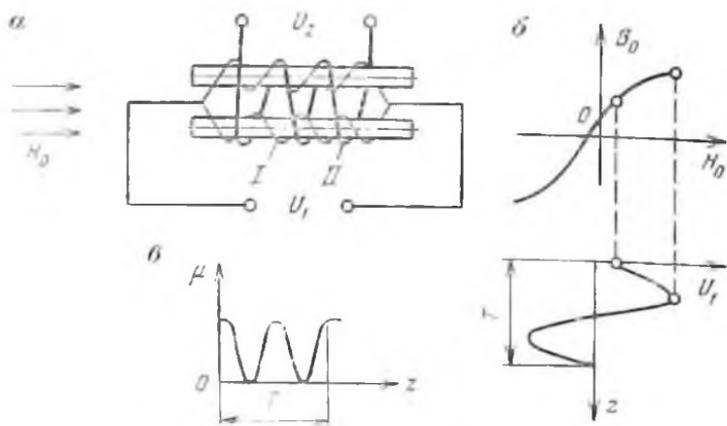


Рис. 95. Схема магнитомодуляционного меткоуловителя (а), характеристика  $B_0 = f(H_0)$  (б) и кривая изменения магнитной проницаемости пермалловых стержней зонда (в)

Так как пермаллой насыщается в относительно слабых магнитных полях, угол наклона характеристики  $B_0 = f(H_0)$  магнитной индукции в стержне меткоуловителя (рис. 95, б) 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 (рис. 95, в). Вследствие того, что магнитная проницаемость не меняется по знаку, за период  $T$  изменения напряжения  $U_1$  пройдут два периода изменения  $\mu$ .

Напряжения  $U_2$  в измерительной обмотке меткоуловителя меняется по закону

$$U_2 = KH_0 \sin 2\omega t, \quad (\text{XIX.4})$$

где  $K$  — коэффициент, зависящий от конструкции меткоуловителя.

Из (XIX.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 осциллографа.

## § 100. ДАТЧИКИ 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 5, наклеенных на стальной упругий стержень 4 вдоль и перпендикулярно к его оси (рис. 96). Стержень 4 закреплен в стальных жестких пробках 2

и 6, соосное положение которых обеспечивается корпусом 3. На верхний конец корпуса навинчена проушина 1 для соединения с опорой и корпусом подвесного ролика. Пустота внутри корпуса герметизирована уплотнительными кольцами.

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.

Электротензометрический каротажный динамометр 1762ДЭК построен аналогично датчику ДНТ-033. Динамометр используется при проведении исследований в глубоких скважинах и работает в диапазоне нагрузок от 0 до 200 кН. Преобразование выходных сигналов динамометра в напряжение постоянного тока производится двухканальным преобразователем 1762ТКП с автоматическим переключателем диапазонов измерения. В первом канале измеряется полная нагрузка; измеряемое усилие определяется суммой дискретных показаний светового табло в диапазоне нагрузок 10,2—190 кН и дополняющих их в диапазоне 0—10 кН показаний стрелочного индикатора с ценой метки 0,1 кН. Во втором канале текущая нагрузка измеряется в процентах от номинальной нагрузки датчика; цена деления шкалы — 0,05 номинальной нагрузки.

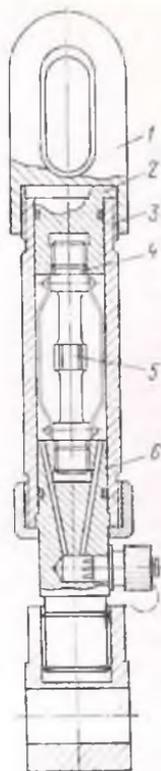


Рис. 96. Датчик натяжения кабеля

#### § 101. УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ЗА ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ПРИБОРА В СКВАЖИНЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

При спуске и подъеме СП на бронированном кабеле прибор медленно вращается вокруг своей оси, делая один оборот в интервале 15—30 м. Оснащение СП центрирующими или прижимными устройствами затрудняет их вращение. Поэтому в кабеле накапливается крутящий момент, под действием которого он собирается в петли даже при незначительном перепуске. Для безаварийного проведения СПО необходимо соответствие скоростей спуска кабеля и СП и независимое вращение кабеля относительно СП.

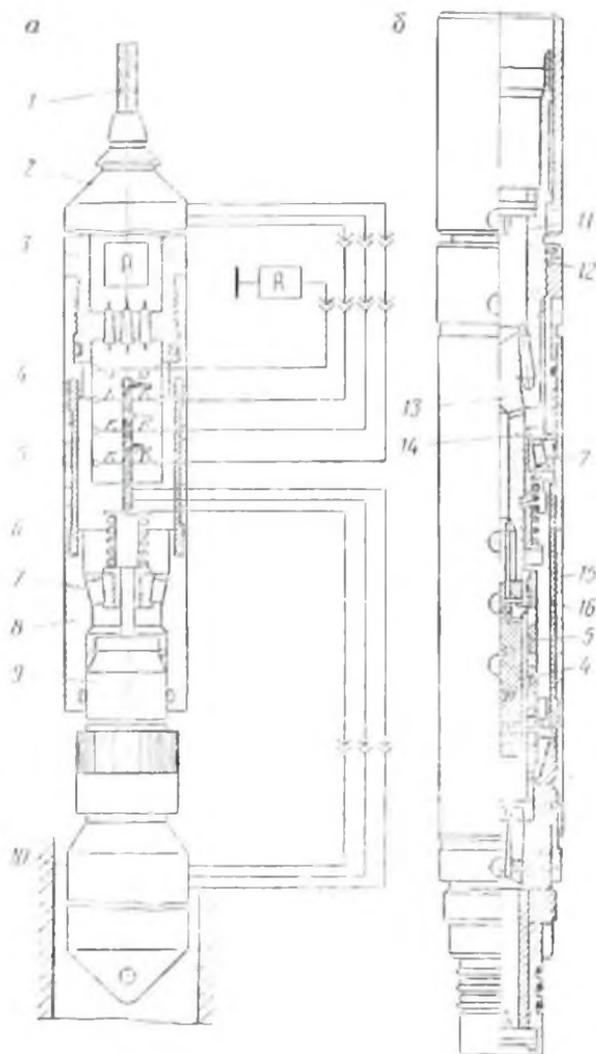


Рис. 97. Устройство контроля за движением прибора в скважине

Выполнение этих условий гарантируется устройством вращения кабеля ВКС-60, устанавливаемым между стандартным кабельным наконечником и СП. Устройство обеспечивает свободное вращение наконечника и кабеля относительно СП; механическое и электрическое соединение наконечника с СП; выдачу электрического сигнала при замедлении движения или остановке СП. Контроль за перемещением СП осуществляется включением в разрыв одной из жил кабеля дополнительной нагрузки  $R$  (рис. 97, а), которая перемыкается при синхронном движении кабеля и СП и включается в цепь при замедленном движении СП. Две другие жилы кабеля постоянно замкнуты через контакты 4 и 5 коллектора.

Устройство работает следующим образом. При равенстве скоростей спуска кабеля 1 и СП 10 масса последнего воздействует на нижний мост 9 со стержнем, сжимает пружину 6 и через радиально упорный подшипник 7 передает нагрузку на корпус 8, жестко связанный с верхним мостом 3 и кабельным наконечником 2. При этом контактная обойма 5 занимает верхнее крайнее положение относительно щеток 4, нагрузка  $R$  отключается и питание СП осуществляется в рабочем режиме. При замедлении или остановке СП натяжение кабеля исчезает. Под действием пружины 6 и массы кабельного наконечника 2 верхний подвижный узел вместе с контактной обоймой 5 занимает крайнее нижнее положение относительно щеток 4. Переключающий контакт подключает нагрузку  $R$  к СП или переключает свободные жилы при работе с одножильным прибором на трехжильном кабеле. В результате появляется сигнал, по которому наземный пульт устройства выдает аварийный сигнал. Лебедчик замедляет спуск кабеля, останавливает его движение или начинает подъем до исчезновения аварийного сигнала.

По мере накопления крутящего момента в кабеле 1 связанный с кабельным наконечником верхний подвижный узел устройства вращается относительно нижнего узла, соединенного с прибором 10.

Устройство ВКС-60 (рис. 97, б) имеет два независимо вращающихся и ограниченно подвижных вдоль оси узла 11 и 12, электрически соединенных через коллектор 13, 14. Внутренняя полость устройства заполнена электроизоляционной жидкостью, на которую давление ПЖ передается через компенсатор 16, выполненный в виде встроенной в кожу 15 резиновой оболочки.

Наземный пульт устройства ВКС-60 содержит блок коммутации, датчики тока и напряжения, пороговое устройство и генератор. Блок коммутации обеспечивает выбор режима работы, соответствующего виду питания СП. Датчики контролируют изменение тока и напряжения в жиле кабеля, в которую включена нагрузка  $R$ . На основе сигналов датчиков пороговое устройство формирует управляющий сигнал для генератора, вырабатывающего аварийные световой и звуковой сигналы. Пульт устанавливается в каротажной лаборатории. К нему подключается внешний громкоговоритель, обеспечивающий подачу звукового сигнала машинисту подъемника.

Оперативный визуальный контроль за движением кабеля осуществляется с помощью счетчиков глубины нахождения СП в скважине и датчиков скорости движения кабеля. Механические счетчики глубины, связанные с сельсин-приемниками, смонтированы в контрольной панели каротажной лаборатории и в пульте лебедчика. Указатель скорости движения кабеля представляет собой тахогенератор, приводимый в движение сельсин-приемником. К обмотке возбуждения тахогенератора подводится переменный ток промышленной частоты. При вращении ротора в его обмотке наводится э. д. с., пропорциональная скорости вращения оси или скорости перемещения кабеля. Измерительные приборы указателя скорости также установлены в контрольной панели лаборатории

и в пульте лебедчика. В каротажной лаборатории ЛКС-7-02 применены электронные, а не механические устройства для измерения скорости перемещения кабеля.

Сигнально-переговорное устройство служит для поддержания в процессе СПО громкоговорящей связи между лабораторией, подъемником и рабочим на буровой. Для этой цели в каротажных станциях используется унифицированный блок, обеспечивающий двустороннюю переговорную и сигнальную связь между лабораторией и подъемником и передачу через динамик команд на буровую.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Назначение вспомогательной аппаратуры и оборудования каротажной станции.
2. Принцип работы сельсинной передачи.
3. Принцип работы магнитного меткоуловителя.
4. Принцип работы устройства ВКС-60.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геофизические методы исследования нефтяных и газовых скважин.* Под общ. ред. Л. И. Померанца. М., Недра, 1981.
2. *Мухер А. А., Шакиров А. Ф.* Геофизические и прямые методы исследования скважин. М., Недра, 1981.
3. *Померанц Л. И., Чукин В. Т.* Аппаратура и оборудование для геофизических методов исследования скважин. 2-е изд., перераб. М., Недра, 1978.
4. *Ремонт* промысловой геофизической аппаратуры. А. Е. Зерщников, В. П. Луков, И. Н. Ковальчук и др. М., Недра, 1978.

# ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Автоматизированная геохимическая информативная система АГКС-5/АГИС-2 — 101
- Автоматическая газокаротажная станция АГКС-1АЦ — 94
- Автоматический шламоотборник — 87
- Азимут наклона скважины — 62
- Акустическая цементметрия (АКЦ) — 182
- Акустический каротаж (АК) — 182
- скважинный телевизор САТ-1 — 192
- цементмер АКЦ-4 — 191
- Аналоговая информация (АИ) — 12, 43
- Аналоговый регистратор (АР) — 28, 88
- Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) — 40
- Апериодический режим работы гальванометра — 10
- Аппаратура бокового каротажа
- АБКТ — 150—153
- диэлектрического каротажа АДК-1 — 140
- импульсного нейтронного каротажа ИНН-1 — 177
- цифровой регистрации АЦРК-2 «Тюмень» — 40
- электрического каротажа — 117
- ядерно-магнитного каротажа АЯМК-1 — 144
- Бензоэлектрический агрегат — 254
- Блок гальванометров каротажного осциллографа — 13
- логарифмических преобразователей БЛ — 154
- сумматора станции АГКС-1АЦ — 87
- Боковой каротаж (БК) — 148
- микрокаротаж (БМК) — 160
- Бортовой управляющий вычислительный комплекс — 45
- Величина отставания по времени — 83
- — по глубинам — 83
- — по объему промывочной жидкости, эвакуированной из скважины — 85
- Влагомер диэлектрический — 219
- Внешнее критическое сопротивление гальванометра — 11
- Волновой диэлектрический каротаж (ВДК) — 134
- Вращающийся трансформатор (ВТ) — 33—35
- Время выделения *n*-го анализируемого компонента хроматографом — 70
- удерживания *n*-го анализируемого компонента хроматографом — 70
- цикла анализа хроматографа — 70
- Вычислительный центр (ВЦ) — 39
- Газовоздушная линия (ГВЛ) — 64
- смесь (ГВС) — 61
- Газовый каротаж в процессе бурения — 62, 63, 77
- — после бурения — 63, 77
- Газовый хроматограф — 68
- Газокаротажный преобразователь — 37
- Газоразрядный детектор — 167
- Гальванометр-вставка — 14
- Гамма-гамма-каротаж (ГГК) — 165
- Гамма-каротаж (ГК) — 165
- Геологический контроль — 61
- Геофизический метод исследования скважин (ГИС) — 3
- Герметизирующие элементы скважинного прибора — 115
- Глубина скважины — 83
- Глубиномер — 81
- Головка зонда — 114
- скважинного прибора — 113
- Градунравнивший компенсатор поляризации (ГКП) — 51
- Датчик веса (ДВ) — 79
- глубин (ДГ) — 79
- натяжения кабеля — 258
- Дегазатор непрерывного действия (ДНД) — 64
- эпизодического действия — 64
- Дифференциальный расход промывочной жидкости в скважине — 62
- Диэлектрическая проницаемость — 140
- Диэлектрический каротаж (ДК) — 133
- Жила кабеля — 241
- Зенитный угол наклона скважины — 106, 203
- Зонд акустического каротажа — 182



- извлечения  $n$ -го компонента УВ из ПЖ — 66
- видукионного зонда — 135
- разбавления — 62
- зонда резистивметра — 132
- успокоения гальванометра — 9
- Критический режим работы гальванометра — 10
- Критическое сопротивление гальванометра — 10
- Лаборатория автоматической каротажной станции АКС/Л-7 — 48, 49
- — — ДКС-7-02 — 52
- опробования пластов (ОПЛ) — 231
- цифровой автоматической каротажной станции (ЛЦК) — 54
- Линия падения пласта — 211
- Магнитный локатор муфт — 226
- Магнитный меткоуловитель (ММУ) — 55, 257
- регистратор цифровой (МРЦ) — 23, 40
- Масштаб глубин — 20
- объема промывочной жидкости, эвакуированной из скважины — 79
- Мерный ролик — 255, 256
- Механический каротаж — 61
- Микрокаротаж (МК) — 158
- Многоэлектродный зонд — 121
- Накопитель на магнитной ленте, (НМЛ) — 41
- Направление падения пласта — 211
- Напряжение небаланса — 27
- Нейтронный гамма-каротаж (НГК) — 165
- каротаж по надтепловым нейтронам (ННК-НТ) — 165
- — — тепловым нейтронам (ННК-Т) — 165
- Опробователи пластов на кабеле ОПН-7-10 — 228, ОПГ-7-10, ОПД-7-10, ОПН-5-7, ОПГ-4-7, ОПО-5-6 — 230
- Оптический рычаг каротажного осциллографа — 8
- Охранный кожух — 115
- Переносная автоматическая каротажная станция АКС/П-65 — 57
- Периодический режим работы гальванометра — 11
- Пламенно-ионизационный детектор (ПИД) — 71
- Пластовый наклономер НИД-1 — 213
- Постоянная гальванометра в измерительном канале по напряжению — 12
- — — — — току — 12
- — — — — по напряжению — 8
- Постоянная гальванометра по току — 8
- квернметра — 202
- реохорда потенциометра по напряжению — 27
- термометра — 198
- Предел измерения — 50
- Преобразователь «диаграмма-код» — 32
- «напряжение-код» — 33
- «отклонение-напряжение» — 33
- Приведенные газопоказания — 92
- Прихватомер ПМТ — 225
- Прихватоопределитель ПО — 225
- Промыслово-геофизические исследования (ПГИ) — 3
- Программно-управляемая автоматическая каротажная станция (ПУАКС) — 56
- Продолжительность бурения 1 м скважины — 88
- Пропорциональный счетчик — 168
- Простирание пласта — 211
- Пульсатор — 58
- Пульт глубины и расхода (ПГР) станции АГКС-4АЦ — 95
- запоминающего устройства (ПЗУ) станции АГКС-4АЦ — 85
- измерительный для приборов акустического каротажа АНК-М — 184
- — — радиоактивного каротажа ИПРКУ-А — 172
- — — с частотно-модулированным телеизмерительным каналом ИПЧМ-2А — 125
- параметров бурения (ППБ) станции АГКС-4АЦ — 88
- суммарного газоанализатора (ПГА) станции АГКС-4АЦ — 67
- управления каротажным осциллографом (ПУО) — 22
- — регистрацией параметров III группы (ПУIII) станции АГКС-4АЦ — 78
- Радиоактивный каротаж (РК) — 165
- Расходомер механический — 219
- Резистивметр переносный ПР-1 — 131
- Ремонт каротажного кабеля — 243
- Реохорд потенциометра — 27
- Самходный каротажный подъемник — 250
- Сверлящий керноотборник СКТ-1 — 236
- Светолучевой каротажный осциллограф — 7
- Свечной ввод скважинного прибора — 116

- Сельсинная передача — 256  
 Сигнал свободной прецессии (ССП) — 144  
 Сигнально-переговорное устройство 262  
 Скважинный гамма-плотномер-толщиномер СГДТ-3 — 180  
 Скважинные каверномеры КМФ, СКС, СКО, КС-1, КС-3, КСУ-1 — 199  
 — плотномеры ГПП-1М, ГПП-3, ГПП-П — 218  
 — приборы акустического каротажа СПАК-4, СПАК-8, АКН-1 — 183  
 — расходомеры РГД-4 — 218  
 — резистивметры индукционные ИК-26, РИС-42\* — 131  
 Скважинный каверномер-профилемер СКП-1 — 199  
 — микрозонд МДО-3 — 158  
 — преобразователь влажности ВБСТ-1 — 221  
 — — давления ПДС-1 — 221  
 — — расхода и влажности ПРВС-1 — 219  
 — — температуры ПТС-1 — 221  
 — прибор (СП) — 112  
 — — акустического каротажа СПАК-6 — 183, 187  
 — — гамма-гамма-каротажа РГП-2 — 166, 167  
 Скважинный прибор диэлектрического каротажа АДК-1 — 143  
 — — индукционного каротажа АИК-4 — 135  
 — — — — ПИК-1М — 119  
 — — — — многозондового нейтрон-нейтронного каротажа МНК-1 — 175  
 — — — — РКС-2 — 166  
 — расходомер-влажномер «Кобра-36РВ» — 218  
 — резистивметр зонда КСП — 131  
 Собственная частота гальванометра — 10  
 Спуско-подъемное оборудование — 249  
 Спуско-подъемные операции — 253  
 Стандартный каротаж (СК) — 13, 117, 119, 120  
 Start-стопный режим регистрации — 78  
 Статистическая флуктуация — 170  
 Стационарная разметочная установка УРС-10 — 246  
 Степень успокоения гальванометра — 10  
 Суммарные газопоказания  $G_{\text{сум}}$  — 64
- Суммарный газоанализатор — 67  
 — газовый анализ — 64  
 Сцинтилляционный счетчик — 169  
 Счетчик Гейгера — Миюллера — 167
- Теленмерительная система — 117  
 Термокондуктивный дебитомер СТД-4 — 220  
 Технологический контроль — 61
- Углеводородные газы (УВ) — 61  
 Удельный противодействующий момент растяжек гальванометров — 8  
 Унифицированный генератор — 52  
 — источник питания — 52  
 Устройство вращения кабеля — 260
- Фоторегистратор — 7  
 Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) — 169
- Хроматермограф ХГ-1Г — 71  
 Хроматограф «Геохром-275» — 76  
 Хроматограмма — 68
- Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) — 40  
 Цифровая информация (ЦИ) — 43  
 Цифровой регистратор «Триас» — 40, 42
- Частотный модулятор — 124  
 Чувствительность гальванометра по напряжению — 9  
 — — — — току — 9  
 — измерительного канала каротажной станции по эквивалентному сопротивлению — 50
- Шаг квантования по глубине заданный — 77  
 — — — — переменный — 78  
 — — — — объему промысловой жидкости заданный — 77  
 — — — — — переменный — 78
- Шаговый искатель — 89
- Электрический каротаж (ЭК) — 117  
 — корректор нуля — 15  
 Электрод зонда — 121  
 Электромашинный усилитель — 48  
 Электронная вычислительная машина (ЭВМ) — 30  
 Электронный самопишущий потенциометр — 27  
 — термометр ТЭГ-60 — 196  
 Электротермометр скважинный ЭТС-2У — 197
- Ядерно-магнитный каротаж (ЯМК) — 144

|  |           |
|--|-----------|
| Предисловие  | 3         |
| <b>ЧАСТЬ ПЕРВАЯ</b>  |           |
| <b>ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ, ОБРАБАТЫВАЮЩАЯ И РЕГИСТРИРУЮЩАЯ<br/>АППАРАТУРА АВТОМАТИЧЕСКИХ КАРОТАЖНЫХ<br/>И ГАЗОКАРОТАЖНЫХ СТАНЦИЙ И СИСТЕМ</b> |           |
| <b>Глава I. Светолучевые каротажные осциллографы</b>   | <b>7</b>  |
| § 1. Зеркальный гальванометр, принцип действия, основные параметры   | 7         |
| § 2. Основы теории зеркального гальванометра   | 9         |
| § 3. Включение зеркального гальванометра в измерительный канал каротажного осциллографа  | 12        |
| § 4. Каротажный осциллограф Н015   | 13        |
| § 5. Каротажный осциллограф Н028А  | 20        |
| § 6. Работа с осциллографом  | 25        |
| <b>Глава II. Электронные самопишущие потенциометры</b>   | <b>27</b> |
| § 7. Принцип действия  | 27        |
| § 8. Электронные самопишущие потенциометры автоматических газокаротажных станций   | 28        |
| <b>Глава III. Цифровые каротажные преобразователи и регистраторы, бортовые каротажные мини-ЭВМ</b>                                   | <b>30</b> |
| § 9. Общие сведения о представлении и регистрации параметров в цифровой форме  | 30        |
| § 10. Каротажные преобразователи «диаграмма—код» Ф001 и Ф014   | 32        |
| § 11. Газокаротажные преобразователи   | 37        |
| § 12. Цифровые каротажные регистраторы с записью на магнитной ленте  | 39        |
| § 13. Бортовые УВК для автоматических каротажных и газокаротажных станций и систем исследования скважин в процессе пробурения        | 45        |
| § 14. Экспедиционные вычислительные каротажные мини-центры   | 47        |
| <b>Глава IV. Автоматические каротажные станции с фотозаписью</b>   | <b>48</b> |
| § 15. Принцип измерения на многожильном кабеле   | 48        |
| § 16. Лаборатория автоматической каротажной станции ЛКС-7-02   | 52        |
| § 17. Лаборатория цифровой автоматической каротажной станции   | 54        |
| § 18. Переносная автоматическая каротажная станция ЛКС'П-65  | 57        |
| § 19. Проведение электрического каротажа на многожильном кабеле  | 59        |
| <b>Глава V. Автоматические газокаротажные станции и системы исследования скважин в процессе бурения</b>                              | <b>61</b> |
| § 20. Комплекс измеряемых и определяемых параметров при газовом каротаже и исследованиях скважин в процессе бурения                  | 61        |

|  |     |
|--|-----|
| § 21. Аппаратура для суммарного газового анализа . . .   | 64  |
| § 22. Аппаратура для компонентного газового анализа . . .  | 68  |
| § 23. Аппаратура для регистрации результатов компонентного анализа . . .   | 77  |
| § 24. Аппаратура для определения глубин скважин и расхода промысловой жидкости . . .   | 79  |
| § 25. Аппаратура для привязки геохимических параметров и шлама к исправленным глубинам . . .                                   | 83  |
| § 26. Аппаратура для определения параметров бурения . . .  | 87  |
| § 27. Аппаратура для определения приведенных газопотребностей . . .  | 92  |
| § 28. Автоматическая газокоротажная станция АГКС-4АЦ . . .   | 94  |
| § 29. Автоматизированная геохимическая информационная система АГКС-5/АГИС-2 . . .  | 101 |
| § 30. Комплексные системы геолого-технологического контроля и исследований нефтяных и газовых скважин в процессе бурения . . . | 105 |
| § 31. Проведение измерений с автоматическими газокоротажными станциями . . .   | 110 |

## ЧАСТЬ ВТОРАЯ

### АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН И СКВАЖИННЫЕ ПРИБОРЫ

|   |            |
|---|------------|
| <b>Глава VI. Элементы конструкций скважинных приборов и аппаратура обычного электрического каротажа . . .</b> | <b>112</b> |
| § 32. Общие элементы и узлы скважинных приборов . . .   | 112        |
| § 33. Аппаратура электрического каротажа . . .  | 117        |
| § 34. Комплексный прибор электрического каротажа на одножильном кабеле КСП-2 . . .                            | 121        |
| § 35. Измерительный пульт ИПЧМ-2А . . .   | 125        |
| § 36. Комплексный прибор электрического каротажа Э1 . . .   | 129        |
| § 37. Резистивиметры . . .  | 130        |
| § 38. Проведение измерений прибором КСП-2 с измерительным пультом ИПЧМ-2А . . .                               | 133        |
| <b>Глава VII. Аппаратура индукционного, диэлектрического и ядерно-магнитного каротажей . . .</b>              | <b>133</b> |
| § 39. Назначение аппаратуры . . .   | 133        |
| § 40. Прибор индукционного каротажа АИК-4 . . .   | 135        |
| § 41. Проведение измерений с аппаратурой АИК-4 . . .  | 138        |
| § 42. Комплексный прибор ЭЗМ . . .  | 138        |
| § 43. Аппаратура диэлектрического каротажа АДК-1 . . .  | 140        |
| § 44. Проведение измерений с аппаратурой АДК-1 . . .  | 143        |
| § 45. Аппаратура ядерно-магнитного каротажа АЯМК-1 . . .  | 144        |
| § 46. Проведение измерений с аппаратурой АЯМК-1 . . .   | 147        |
| <b>Глава VIII. Аппаратура бокового каротажа . . .</b>   | <b>148</b> |
| § 47. Принцип действия и назначение аппаратуры . . .  | 148        |
| § 48. Аппаратура бокового каротажа АБКТ . . .   | 150        |
| § 49. Зонд бокового каротажа аппаратуры Э1 и блок логарифмических преобразователей Б4 . . .                   | 154        |
| § 50. Проведение измерений с аппаратурой АБКТ . . .   | 157        |
| <b>Глава IX. Аппаратура микрокаротажа . . .</b>   | <b>158</b> |
| § 51. Аппаратура микрокаротажа МДО-3 . . .  | 158        |
| § 52. Аппаратура бокового микрокаротажа МБКУ . . .  | 160        |
| § 53. Комплексная аппаратура микрокаротажа Э2 . . .   | 162        |
| <b>Глава X. Аппаратура радиоактивного каротажа . . .</b>  | <b>165</b> |

|   |            |
|---|------------|
| § 54. Общие сведения о видах радиоактивного каротажа и типах аппаратуры . . . . .                     | 165        |
| § 55. Детекторы радиоактивного излучения . . . . .  | 167        |
| § 56. Прибор радиоактивного каротажа ДРСТ-3 . . . . .   | 170        |
| § 57. Измерительный пульт ИПРКУ-А . . . . .   | 172        |
| § 58. Аппаратура многозондового нейтронного каротажа МНК-1 . . . . .                                  | 175        |
| § 59. Аппаратура гамма-гамма каротажа РКС-1 . . . . .   | 175        |
| § 60. Аппаратура импульсного нейтронного каротажа ИГН-4 . . . . .                                     | 177        |
| § 61. Гамма-плотномер-толщиномер СГДТ-3 . . . . .   | 180        |
| § 62. Калибровка аппаратуры радиоактивного каротажа. Проведение измерений . . . . .                   | 181        |
| <b>Глава XI. Аппаратура акустического каротажа . . . . .</b>  | <b>182</b> |
| § 63. Принцип действия и назначение аппаратуры . . . . .  | 182        |
| § 64. Измерительный пульт АНК-М . . . . .   | 184        |
| § 65. Скважинный прибор акустического каротажа СПАК-6 . . . . .                                       | 187        |
| § 66. Проведение измерений с прибором СПАК-6 и пультом АНК-М. Калибровочное устройство ПАУК . . . . . | 190        |
| § 67. Акустический цементомер АКЦ-4 . . . . .   | 191        |
| § 68. Акустический телевизор САТ-1 . . . . .  | 192        |
| <b>Глава XII. Скважинные термометры и каверномеры . . . . .</b>                                       | <b>195</b> |
| § 69. Скважинные термометры . . . . .   | 195        |
| § 70. Градуировка термометров, проведение измерений с ними . . . . .                                  | 197        |
| § 71. Каверномеры и профиломеры . . . . .   | 199        |
| § 72. Проведение измерений каверномерами . . . . .  | 202        |
| <b>Глава XIII. Инклинометры и пластовые наклонометры . . . . .</b>                                    | <b>202</b> |
| § 73. Назначение и технические характеристики аппаратуры . . . . .                                    | 203        |
| § 74. Инклинометр КИТ . . . . .   | 204        |
| § 75. Гироскопический инклинометр . . . . .   | 207        |
| § 76. Инклинометр непрерывного действия ИН-721 . . . . .  | 209        |
| § 77. Принцип определения элементов залегания пластов пластовым наклономером . . . . .                | 211        |
| § 78. Пластовый наклономер НИД-1 . . . . .  | 213        |
| <b>Глава XIV. Аппаратура для исследования действующих скважин . . . . .</b>                           | <b>216</b> |
| § 79. Комплекс геофизических исследований и аппаратуры для контроля действующих скважин . . . . .     | 216        |
| § 80. Скважинные расходомеры, влагомеры и термометры . . . . .  | 219        |
| § 81. Скважинный преобразователь давления ПДС-1 . . . . .   | 221        |
| § 82. Плотномер скважинной жидкости . . . . .   | 222        |
| § 83. Комплексный прибор «Фонтан-6» . . . . .   | 223        |
| <b>Глава XV. Прихватоопределители и локаторы муфт . . . . .</b>                                       | <b>225</b> |
| § 84. Прихватоопределители и прихватометры . . . . .  | 225        |
| § 85. Магнитные локаторы муфт . . . . .   | 226        |
| <b>Глава XVI. Опробователи и испытатели пластов и сверлящие керноотборники . . . . .</b>              | <b>228</b> |
| § 86. Общие сведения об отборе пластового флюида . . . . .  | 228        |
| § 87. Опробователь пластов на кабеле ОПН-7-10 . . . . .   | 228        |
| § 88. Аппаратура для исследования проб . . . . .  | 231        |
| § 89. Испытатель пластов на бурильных трубах . . . . .  | 232        |
| § 90. Сверлящий керноотборник СКТ-1 . . . . .   | 236        |

## ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

### СПУСКО-ПОДЪЕМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА КАРОТАЖНЫХ СТАНЦИЙ

|  |     |
|--|-----|
| Глава XVII. Каротажные кабели . . . . .  | 239 |
| § 91. Устройство кабеля . . . . .  | 239 |
| § 92. Правила эксплуатации кабеля . . . . .  | 242 |
| § 93. Ремонт кабелей . . . . .   | 243 |
| § 94. Определение глубин . . . . .   | 246 |
| Глава XVIII. Каротажные лебедки, подъемники и спуско-подъемное<br>оборудование . . . . .   | 248 |
| § 95. Каротажные лебедки . . . . .   | 248 |
| § 96. Спуско-подъемное оборудование каротажных стан-<br>ций. Каротажные подъемники . . . . .   | 249 |
| § 97. Проведение спуско-подъемных операций . . . . .   | 253 |
| Глава XIX. Вспомогательное оборудование каротажных станций .   | 254 |
| § 98. Силовые устройства каротажных и газокаротажных<br>станций . . . . .  | 254 |
| § 99. Устройства передачи перемещения прибора или бу-<br>рильного инструмента в скважине регистратору каротаж-<br>ных и газокаротажных станций . . . . . | 255 |
| § 100. Датчики натяжения кабеля . . . . .  | 258 |
| § 101. Устройства контроля за перемещением прибора в<br>скважине и вспомогательная аппаратура . . . . .  | 259 |
| Список литературы . . . . .  | 263 |
| Предметный указатель . . . . .   | 264 |

ЛЕВ ИЗРАЙЛЕВИЧ ПОМЕРАНЦ, ДМИТРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ  
БЕЛОКОНЬ, ВАЛЕРИЙ ФЕДОРОВИЧ КОЗЯР

**АППАРАТУРА И ОБОРУДОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ  
МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН**

Редактор издательства И. П. Иночкина  
Переплет художника Л. Н. Курьерова  
Художественный редактор В. В. Шутько  
Технический редактор А. В. Трофимов  
Корректор К. И. Савенкова

ИБ № 5230

---

Сдано в набор 11.01.85. Подписано в печать 07.06.85. Т-12926. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага  
типографская № 1. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл.-печ. л. 17,0. Усл.  
кр.-отт. 17,0. Уч.-изд. л. 18,32. Тираж 5300 экз. Заказ 120/9110-3. Цена 85 коп.

---

Ордена «Знак Почета» Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,  
Третьяковский проезд, 1/19

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского  
объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Го-  
сударственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.  
191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.

НЕДРА