

НЕДРА

В.М. Овчаренко, И.А. Брацлавский

В.М. Овчаренко,  
И.А. Брацлавский

ОСНОВЫ  
АВТОМАТИЗАЦИИ  
И КОНТРОЛЬНО-  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ  
ПРИБОРЫ  
НА БУРОВЫХ  
И ГОРНО-  
РАЗВЕДОЧНЫХ  
РАБОТАХ

62.2.002.5

Читальный зал

04

О 35 В. М. ОВЧАРЕНКО, И. А. БРАЦЛАВСКИЙ

# ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И КОНТРОЛЬНО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ НА БУРОВЫХ И ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ

*Издание второе, переработанное и дополненное*

*Допущено Министерством высшего и среднего специального образова-  
ния СССР в качестве учебника для геологоразведочных техникумов*

151313 2



**БИБЛИОТЕКА**  
**М и а с с к о г о**  
**г е о л о г о р а з в е д о ч н о г о**  
**т е х н и к у м а**

МОСКВА «НЕДРА» 1982

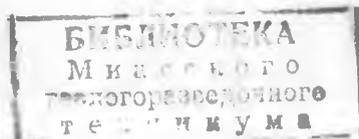
Овчаренко В. М., Брацлавский И. А. Основы автоматизации и контрольно-измерительные приборы на буровых и горно-разведочных работах. 2-е изд., перераб. и доп. М., Недра, 1982. 230 с.

Во втором издании учебника отражены все изменения, которые произошли в области автоматизации буровых и горно-разведочных работ, а также контрольно-измерительных приборов с момента первого издания (1974 г.). Рассмотрена комплексная аппаратура для измерения и регистрации параметров режима бурения. Приведены сведения о методах дефектоскопии инструмента и оборудования. Описаны основные средства автоматизации. Учебник предназначен для учащихся геологоразведочных техникумов по специальности 0106 „Техника разведки полезных ископаемых“ и 0512 „Геологоразведочное оборудование и аппаратура“.

Табл. 9, илл. 119, список лит. — 19 назв.

#### Рецензенты:

- 1) Старооскольский геологоразведочный техникум, инж. Г. М. Василенко;
- 2) канд. техн. наук *С. А. Симкин* (СКБ ВПО „Союзгеотехника“).



0 2502000000—070  
043(01) — 82 115 — 81

© Издательство «Недра», 1982

#### ПРЕДИСЛОВИЕ

Для построения коммунизма в нашей стране решающее значение имеет непрерывный и быстрый рост производительности труда. Одной из главных предпосылок этого роста является комплексная механизация и автоматизация производства — важнейшее направление экономической политики нашего государства.

Под комплексной механизацией и автоматизацией понимают такой производственный процесс, при котором все операции выполняются машинами или механизмами, а их управление специальными устройствами — автоматами, действующими без непосредственного участия человека.

Если при механизации работ облегчается физический труд, то автоматизация к тому же освобождает работника от непосредственного управления машинами и механизмами. Она также позволяет существенно повысить производительность труда и качество продукции, безопасность работ и культуру производства. Однако стоимость средств автоматизации и расходы по их наладке и регулированию в ряде случаев могут оказаться достаточно высокими. Поэтому автоматизация производственных процессов должна применяться только при условии экономической целесообразности, а также для освобождения человека от тяжелого или вредного труда. Предпосылкой для автоматизации производственных процессов является полная механизация всех ручных операций, а также широкое применение контрольно-измерительных приборов (КИП).

Оснащение контрольно-измерительными приборами станков и механизмов на горно-буровых работах позволяет получать информацию о ходе технологического процесса, своевременно вносить коррективы и тем самым положительно влиять на его результат.

Так, при бурении скважин контроль за показаниями и записями приборов позволяет:

- осуществлять поиск и поддерживать оптимальными значения параметров режима бурения;
- обеспечивать рациональную отработку породоразрушающего инструмента;
- определять аварийные ситуации и тем самым своевременно предотвращать аварии;
- анализировать баланс рабочего времени и проводить механический каротаж.

С ростом глубин скважин процесс бурения усложняется, что значительно повышает роль КИП. Для контроля за процессом бурения и параметрами глубоких скважин (забойное и пластовое давления, динамический уровень, температура, расход и другие) помимо приборов наземного контроля начинают применять глубинные приборы. При бурении сверхглубоких скважин важное значение приобретает автоматический контроль глубинных параметров скважины, состояния глубинного оборудования, а также регулирование некоторых параметров режима бурения, т. е. теле-

контроль и автоматическое управление забойными регуляторами.

В соответствии с требованиями, разработанными странами — членами СЭВ, определены средства механизации и автоматизации процессов и операций и приборы для контроля параметров процесса бурения для нового класса буровых установок разведочного бурения.

Степень оснащённости новых установок средствами измерения, регистрации и сигнализации представлена в табл. 1.

Таблица 1

Показатели	Класс буровой установки							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	УКБ-1	УКБ-2	УКБ-3	УКБ-4	УКБ-5	УКБ-6	УКБ-7	УКБ-8
	Глубина бурения, м							
	12,5—25	50—100	200—300	300—500	500—800	800—1200	1200—2000	2000—3000
Усилие на крюке				У	У	УРС	УРС	УРС
Усилие, развиваемое механизмом подачи и нагрузка на породоразрушающий инструмент		У	У	У	У	УР	УР	УР
Частота вращения бурового снаряда*			У	У	У	У	УР	УР
Крутящий момент на вращателе							УРС	УРС
Давление промывочной жидкости	У	У	У	У	У	У	У	У
Расход промывочной жидкости, поступающей в скважину					УС	УС	УРС	УРС
Механическая скорость бурения					У	У	УР	УР

\* Оснащаются при бесступенчатом регулировании.  
Обозначения: У — указатель, Р — регистратор, С — сигнализатор световой и звуковой.

В создание средств измерения и автоматизации вносят большой вклад ученые, инженеры и рабочие как специализированных, так и производственных организаций. Разработкой КИП и средств автоматизации для геологоразведочного бурения заняты Всесоюзный институт техники разведки (ВИТР), специальное конструкторское бюро ВПО «Союзгеотехника» Министерства геологии СССР, Казахский институт минерального сырья (КазИМС) и др.

Главы 4—7, 11—13, 15, 16 и 18, а также § 2, 4 главы 8, § 1—4 главы 9 и § 1, 3 главы 10 написаны В. М. Овчаренко; § 3 главы 8, § 5 главы 9 написаны совместно В. М. Овчаренко и И. А. Брацлавским, остальной материал — И. А. Брацлавским.

## Раздел I

# ИЗМЕРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ В БУРЕНИИ И НА ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ

## Глава 1

### ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ И СРЕДСТВАХ ИЗМЕРЕНИЙ

#### § 1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ, СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

*Измерением* называется нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические<sup>1</sup> свойства, называются *средствами измерений*; к ним относятся меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи и измерительные установки.

*Мера* — средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера; например, *гира* — мера массы, *измерительный резистор* — мера электрического сопротивления, *измерительный генератор* — мера частоты электрических колебаний.

*Измерительный прибор* — средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Измерительные приборы классифицируются по нескольким признакам:

а) по принципу действия (механические, оптические, электрические и др.);

б) по способу образования показаний (показывающие — стрелочные или цифровые, самописные, в которых измеряемая величина записывается в виде диаграммы или отпечатывается в виде чисел, и приборы с наводкой, требующие для получения показаний обязательной настройки человеком, как, например, измерительные мосты);

в) по способу получения числового значения измеряемой величины (приборы непосредственной оценки, и компарирующие, т. е. приборы сравнения, как, например, рычажные весы, потенциометры и т. п.);

<sup>1</sup> Метрология — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

г) по точности — в зависимости от значения предельных допускаемых основных погрешностей;

д) по условиям применения — в зависимости от диапазона рабочих температур, влажности и т. п.;

е) по степени защищенности от влияния внешних электрических и магнитных полей (I категория — лучшая, а II категория — худшая защищенность);

ж) по прочности и устойчивости против механических воздействий и перегрузок.

*Измерительный преобразователь* — средство измерений, предназначенное для преобразования измеряемой величины в величину, воздействующую на измерительный прибор.

*Измерительная установка* — совокупность функционально объединенных средств измерений и вспомогательных устройств, расположенных в одном месте.

Различают четыре способа измерений: прямые, косвенные, совокупные и совместные.

*Прямое измерение* — измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных. Например, измерение длины — линейкой, температуры — термометром, силы тока — амперметром и т. д.

*Косвенное измерение* — измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Например, площадь прямоугольника находится по результатам прямых измерений его сторон.

*Совокупные измерения* — проводимые одновременно измерения нескольких *одноименных* величин, при которых искомое значение величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин. Например, массы отдельных гирь набора находят по известной массе одной из них и по результатам прямых измерений масс различных сочетаний гирь.

*Совместные измерения* — проводимые одновременно измерения двух или нескольких *разноименных* величин для нахождения зависимости между ними. Например, измеряя длину стержня при различных температурах, можно найти коэффициент линейного расширения этого стержня.

В бурении и на горно-разведочных работах в большинстве случаев пользуются прямыми измерениями.

*Единицы физических величин* устанавливаются на базе определенной системы. В СССР действует международная система СИ.

К *основным* единицам этой системы относятся: единица длины — метр (м), единица массы — килограмм (кг), единица времени — секунда (с), единица силы электрического тока — ампер (А), единица термодинамической температуры — кельвин (К), единица количества вещества — моль (моль) и единица силы света — кандела (кд).

*Дополнительными* единицами являются: единица плоского угла — радиан (рад) и единица телесного угла — стерadian (ср).

*Производные* единицы СИ образуются на основании законов, определяющих связь между физическими величинами. Например, единица силы — ньютон — выводится из формулы, выражающей второй закон Ньютона:

$$F = ma.$$

Приняв в этой формуле массу  $m=1$  кг и ускорение  $a=1$  м/с<sup>2</sup>, получим  $F=1$  ньютоны. Следовательно, ньютон (Н) — сила, сообщаящая массе 1 кг ускорение 1 м/с<sup>2</sup>.

Допускаются к применению в виде исключения и другие специальные единицы.

Для образования кратных и дольных значений единиц физических величин пользуются приставками.

## § 2. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

По метрологическому назначению средства измерений подразделяются на эталоны, образцовые средства измерений и рабочие средства измерений.

*Эталон единицы* — это средство измерений, обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единицы. Различают первичные и вторичные эталоны.

*Первичный эталон* обеспечивает воспроизведение единицы с наивысшей в стране точностью. Первичный эталон, официально утвержденный в качестве исходного для страны, называется Государственным эталоном.

*Вторичный эталон* — это эталон, значение которого устанавливают по первичному эталону.

Вторичные эталоны в свою очередь подразделяются на эталоны-свидетели, эталоны сравнения, эталоны-копии и рабочие эталоны.

*Эталон-свидетель* предназначен для проверки сохранности Государственного эталона и для замены его в случае порчи или утраты.

*Эталон сравнения* применяется для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть сличены друг с другом непосредственно.

*Эталон-копия* предназначен для передачи размеров единиц рабочим эталонам.

*Рабочий эталон* применяется для передачи размеров единицы образцовым средствам измерений высшей точности.

*Образцовыми средствами измерений* называются меры, измерительные приборы или измерительные преобразователи, предназначенные для поверки по ним других средств измерений.

*Рабочие средства измерений* применяются для всех измерений, не связанных с передачей размера единиц.

Важнейшим качеством средств измерений, в том числе и изме-

рительных приборов, является их точность. Точность принято оценивать погрешностью, которая может быть выражена в абсолютных или относительных единицах.

**Абсолютная погрешность** измерительного прибора — это разность между показанием прибора  $x$  и действительным значением измеряемой величины  $x_d$ :

$$\Delta x = x - x_d \quad (1.2)$$

причем действительным значением считается показание образцового прибора. Абсолютная погрешность не может полностью характеризовать точность прибора, если неизвестен его верхний предел измерения. Например, абсолютная погрешность  $\Delta n = 1 \text{ мин}^{-1}$  прибора для измерения частоты вращения для предела  $n = 10 \text{ мин}^{-1}$  будет характеризовать низкую, а для предела  $n = 100 \text{ мин}^{-1}$  — высокую точность прибора. Поэтому для оценки точности измерительных приборов пользуются приведенной погрешностью.

**Приведенная погрешность** — это выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности измерительного прибора к верхнему пределу измерений  $x_T$ :

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{\Delta x}{x_T} 100 \% \quad (1.3)$$

Величина погрешности измерительного прибора зависит от условий его работы, в соответствии с чем погрешности подразделяются на *основные* и *дополнительные*. Основной называется погрешность измерительного прибора, используемого в нормальных условиях, т. е. в условиях, при которых производилась его градуировка. Отличие условий работы от нормальных приводит к дополнительной погрешности.

Все эти погрешности учитываются в обобщенной характеристике средства измерений, которая называется *классом точности*. Классы точности определяются по наибольшим допускаемым основным и дополнительным приведенным погрешностям, а также по другим свойствам средств измерений, влияющим на точность. Например, класс точности электроизмерительных приборов характеризует пределы допускаемой основной приведенной погрешности и допускаемых изменений показаний, вызываемых внешним магнитным полем, изменением температуры, частоты переменного тока и некоторых других влияющих величин.

Классы точности для различных измерительных приборов устанавливаются соответствующими ГОСТами. Например для электроизмерительных приборов установлено одиннадцать классов точности: 0,1; 0,15; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0. Для манометров предусмотрено шесть классов точности и т. д.

Зная класс точности измерительных приборов, можно определять погрешности измерений.

<sup>1</sup> Нормирующим значением может быть также длина шкалы прибора.

### § 3. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Результаты измерений всегда отличаются от истинных значений измеряемых величин. Это объясняется неточностью средств измерений, несовершенством наших органов чувств, воспринимающих сигналы измерительной информации, несовершенством способов измерений, а также различными случайными факторами. Все это приводит к погрешностям.

Погрешность измерения — это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Так как абсолютная погрешность не может полностью характеризовать точность измерения, пользуются понятием относительной погрешности.

Относительной погрешностью измерения  $\gamma_x$  называют отношение абсолютной погрешности  $\Delta x$  к истинному значению измеряемой величины; но так как истинное значение всегда остается неизвестным, вместо него пользуются действительным значением измеряемой величины  $x_d$ . Следовательно,

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x_d} 100 \% \quad (1.4)$$

Например, если при измерении напряжения абсолютная погрешность  $\Delta x = 1 \text{ В}$ , а действительное значение измеряемого напряжения  $x_d = 20 \text{ В}$ , то относительная погрешность измерения составит  $\gamma_x = \Delta x / x_d = 1 \text{ В} / 20 \text{ В} \cdot 100 \% = 5\%$ . На практике для определения относительной погрешности измерения пользуются следующей формулой:

$$\gamma_x = \gamma_{\text{пр}} \frac{x_T}{x} \quad (1.5)$$

где  $\gamma_{\text{пр}}$  — класс точности измерительного прибора, выраженный в процентах;  $x_T$  — верхний предел измерительного прибора;  $x$  — показание прибора при измерении.

**Пример 1.** При измерении напряжения вольтметром, имеющим класс точности 4 и предел измерений 300 В, прибор показал 60 В. Определить относительную погрешность измерения.

$$\gamma_x = \gamma_{\text{пр}} \frac{x_T}{x} = 4\% \frac{300}{60} = 20\%$$

Если этим же вольтметром измерить напряжение 240 В, то относительная погрешность измерения составит всего 5%. Отсюда следует, что чем ближе измеряемая величина к пределу измерения прибора, тем меньше относительная погрешность измерения. Измерительный прибор по возможности должен выбираться так, чтобы измеряемая величина находилась в пределах второй половины его шкалы.

При проведении совместных измерений разноименных величин  $B, G, D$ , с помощью которых вычисляется искомая величина  $A$ , относительные погрешности измеряемых величин определяются так же, как при прямых измерениях, а затем вычисляется относительная погрешность искомой величины. Если искомая и измеряемые величины взаимосвязаны согласно выражению  $A = B^n G^m D^p$ , то относительная погрешность измерения величины  $A$  вычисляется по формуле

$$\gamma_A = n\gamma_B + m\gamma_G + p\gamma_D \quad (1.6)$$

где  $\gamma_B, \gamma_C, \gamma_D$  — относительные погрешности измерений величин  $B, C, D$ ;  $n, m, p$  — показатели степени при величинах  $B, C$  и  $D$ .

*Пример 2.* Измерено напряжение  $U = 100$  В с относительной погрешностью 5%, сопротивление  $R = 200$  Ом с погрешностью 4% и время  $t = 40$  с с погрешностью 2%. По результатам прямых измерений вычислена энергия  $W = \frac{U^2}{R} t = \frac{100^2}{200} 40 = 2000$  Дж. Оценить погрешность измерения.

Запишем условие примера в символах формулы (1.6):

$$n = 2; m = -1; p = 1; \gamma_B = 5\%; \gamma_C = 4\%; \gamma_D = 2\%,$$

Определим погрешность измерения:

$$\gamma_A = n\gamma_B + |m|\gamma_C + p\gamma_D = 2 \cdot 5\% + 1,4\% + 1 \cdot 2\% = 16\%.$$

#### § 4. НАДЗОР ЗА СРЕДСТВАМИ ИЗМЕРЕНИЙ

Метрологический надзор за средствами измерений осуществляется с целью обеспечения единства и достоверности измерений в стране и поддержания средств измерений в постоянной готовности к выполнению измерений. К эксплуатации в народном хозяйстве допускаются средства измерений, признанные по результатам метрологического надзора пригодными к применению.

Ответственность за надлежащее состояние средств измерений несут руководители предприятий (учреждений) и вышестоящих организаций. Метрологический надзор осуществляется путем проведения проверок средств измерений, метрологических ревизий и метрологических экспертиз.

*Проверкой* называется определение погрешностей средств измерений и установление их пригодности к применению.

Проверки средств измерений подразделяются на:

г о с у д а р с т в е н н ы е, проводимые органами Государственной метрологической службы;

в е д о м с т в е н н ы е, проводимые ведомственными органами метрологической службы;

п е р в и ч н ы е, проводимые при выпуске средств измерений из производства или ремонта;

п е р и о д и ч е с к и е, проводимые при эксплуатации и хранении средств измерений через определенные промежутки времени;

в н е о ч е р е д н ы е, проводимые до наступления срока очередной периодической проверки;

и н с п е к ц и о н н ы е, проводимые при ревизии средства измерений.

*Метрологической ревизией* называется проверка состояния средств измерений и выполнения правил их проверки и применения, производимая органом Государственной метрологической службы.

*Метрологическая экспертиза* проводится при возникновении спорных вопросов по способам, методам и средствам проверки, исправности средств измерений и их пригодности к применению.

Метрологический надзор осуществляется Государственной ме-

трологической службой Госстандарта СССР и ведомственными метрологическими службами.

К проведению проверок средств измерений допускаются лица, прошедшие специальное обучение и сдавшие экзамены в учебных заведениях Госстандарта в органах Государственной метрологической службы, или в комиссии, образуемой руководителем предприятия с участием представителя органа Государственной метрологической службы.

Проверка средств измерений должна проводиться в соответствии с требованиями Государственных стандартов на методы и средства поверки. До введения стандартов в действие поверки должны проводиться по инструкциям органов Государственной и ведомственной метрологических служб.

## Глава 2

### ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Для контроля и измерения параметров в бурении и на горно-разведочных работах широко применяется измерение неэлектрических величин, таких, как масса бурового снаряда, расход промысловой жидкости, скорость бурения и т. д., *электрическими методами*. Такие методы хотя и усложняют в некоторых случаях средства измерений, но зато обеспечивают существенные преимущества: непрерывность измерения без нарушения технологического процесса, возможность измерения на расстоянии, более высокую точность и чувствительность измерения. Принцип измерения неэлектрических величин электрическими методами заключается в том, что неэлектрическая величина с помощью *измерительного преобразователя* преобразуется в зависимую от нее электрическую величину, которая измеряется электроизмерительным прибором. Шкала электроизмерительного прибора градуируется в этом случае в единицах измеряемой неэлектрической величины.

Таким образом, для измерения неэлектрической величины электрическим методом в простейшем случае необходимы два элемента: измерительный прибор и измерительный преобразователь.

#### § 1. ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Для измерения параметров бурения чаще всего применяются показывающие электроизмерительные приборы непосредственной оценки. Эти приборы классифицируются по роду измеряемой величины и по системе измерительного механизма. Наибольшее распространение получили приборы магнитоэлектрической системы, основными достоинствами которых являются равномерность шкалы, высокая точность и чувствительность, малая зависимость показаний от внешних магнитных полей и небольшое потребление мощности. Приборы магнитоэлектрической системы при *непосред-*

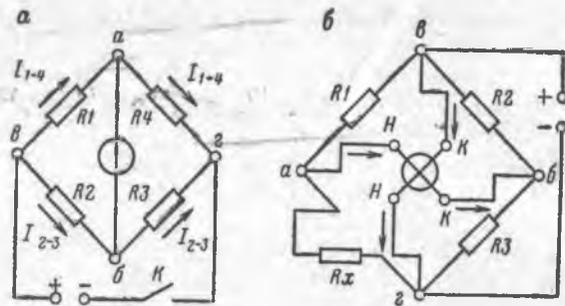


Рис. 2.1. Измерительные мосты постоянного тока:  
 а — уравновешенный мост; б — неуравновешенный мост

ственном включении могут измерять только постоянные токи. Измеряемые ими переменные токи предварительно преобразовываются в постоянные с помощью выпрямителей или термопар.

Для информации о возможностях и особенностях показывающих приборов на их шкалы помимо знака системы наносятся и другие условные знаки.

### Приборы сравнения

К этой группе приборов относятся измерительные мосты и приборы компенсационной системы.

Измерительные мосты постоянного тока даны на рис. 2.1.

Мост постоянного тока (рис. 2.1, а) состоит из четырех сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ , называемых плечами моста, гальванометра, включенного в диагональ  $a-b$ , и источника постоянного тока, включенного в диагональ  $в-г$ . В такой схеме возможны два состояния.

1. Потенциалы точек  $a$  и  $б$  одинаковы, вследствие чего ток через гальванометр не проходит; такое состояние называется равновесием моста.

2. Потенциалы точек  $a$  и  $б$  неодинаковы, вследствие чего через гальванометр проходит ток; в таком состоянии мост считается неуравновешенным.

Плечи моста  $R_1$  и  $R_2$  называют балансными. Обычно в измерительных мостах отношение сопротивлений балансных плеч делают кратным 10; в третье плечо включают магазин сопротивлений<sup>1</sup>, а в четвертое плечо — измеряемое сопротивление  $R_x$ . При измерении регулировкой  $R_1/R_2$  и  $R_3$  добиваются равновесия моста. Если его удалось получить, например, при  $R_1/R_2 = 100$  и  $R_3 = 140$  Ом, то измеряемое сопротивление  $R_x = R_1/R_2 R_3 = 100 \cdot 140 = 14000$  Ом. Погрешность измерения сопротивлений уравновешенным

<sup>1</sup> Магазином сопротивлений называют набор образцовых резисторов, соединяемых по определенной схеме.

мостом определяется главным образом погрешностью подгонки образцовых резисторов  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  и почти не зависит от погрешности измерительного механизма, включенного в диагональ моста. Последнее объясняется тем, что мост уравнивается при отсутствии тока в диагонали  $a-b$ , и поэтому погрешность измерительного механизма, а также изменение напряжения источника питания мало влияет на точность измерения.

Так как образцовые резисторы можно изготовить с большой степенью точности, то погрешность мостов постоянного тока, используемых для технических измерений, обычно находится в пределах 0,05—0,5, что соответствует точности лучших приборов непосредственной оценки.

Для измерения неэлектрических величин электрическими методами довольно широкое применение находят неуравновешенные мосты. В схеме, показанной на рис. 2.1, б, сопротивления трех плеч  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  неизменны, а в четвертое плечо включено сопротивление  $R_x$ . Условие равновесия  $R_1 R_3 = R_2 R_x$  не соблюдается и в измерительной диагонали протекает ток, величина которого при постоянных значениях  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  зависит только от  $R_x$ . Поэтому шкалу прибора можно проградуировать в значениях измеряемого сопротивления или неэлектрической величины, от которой оно зависит (температуры, перемещения и др.). Чтобы уменьшить зависимость результата измерений от колебаний напряжения источника питания, в измерительную диагональ неуравновешенных мостов часто включают магнитоэлектрические логометры.

В измерительных приборах компенсационной системы измеряемое напряжение сравнивается с известным напряжением, входящим в измерительную цепь. В процессе сравнения известное напряжение изменяется до тех пор, пока не станет равным по величине и противоположным по знаку измеряемому напряжению. При этом происходит компенсация, результирующее напряжение становится равным нулю, что и фиксируется высокочувствительным измерительным механизмом. Метод компенсации может применяться как на постоянном, так и на переменном токе. При измерении параметров бурения используются компенсационные приборы переменного тока.

Для уравнивания переменного напряжения компенсирующим напряжением должны быть выполнены следующие условия:

- 1) равенство частот измеряемого и компенсирующего напряжений;
- 2) сдвиг фаз этих напряжений на  $180^\circ$ ;
- 3) равенство амплитуд этих напряжений.

Для выполнения первого и второго условий необходимо питать компенсатор переменного тока от того же источника, от которого питается объект измерения или измерительный преобразователь и соответствующим образом включать измерительные обмотки. Для выполнения третьего условия в компенсаторе должна быть предусмотрена возможность регулирования напряжения по амплитуде.

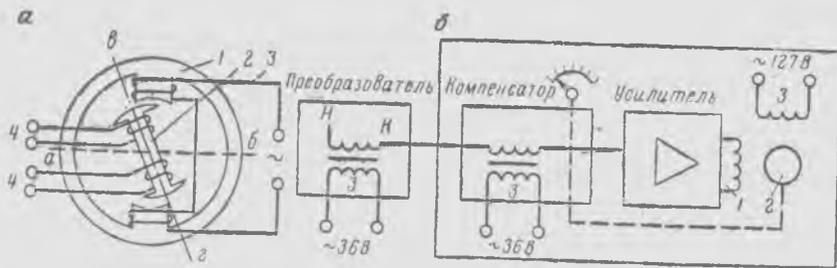


Рис. 2.2. Компенсационный прибор переменного тока:  
 а — бесконтактный индукционный потенциометр; б — структурная схема прибора

Компенсационный прибор переменного тока дан на рис. 2.2. В качестве компенсатора в приборах для измерения параметров бурения применен бесконтактный индукционный потенциометр (рис. 2.2, а). Он состоит из статора 1 и ротора 2, могущего поворачиваться вокруг своей оси на  $80^\circ$ . На статоре размещена обмотка возбуждения 3, а на роторе — две измерительные обмотки 4, одна из которых используется в измерительной схеме, а вторая является дублирующей.

Ток, проходящий по обмотке возбуждения, создает переменный магнитный поток. Когда ротор размещен вдоль оси а—б, площадь, охватываемая витками измерительных обмоток, магнитным потоком не пронизывается, и поэтому э. д. с. в этих обмотках не индуцируется. В другом крайнем положении ротора измерительные обмотки расположены так, что охватываемая ими площадь почти перпендикулярна к магнитным силовым линиям, ее пронизывает максимальный переменный магнитный поток и в измерительных обмотках индуцируется максимальная э. д. с. Следовательно, напряжение, снимаемое с измерительных обмоток потенциометра, пропорционально углу поворота его ротора.

Структурная схема компенсационного прибора переменного тока показана на рис. 2.2, б. Основными частями являются компенсатор, электронный усилитель, реверсивный двигатель с обмоткой возбуждения 3, обмоткой управления 1 и ротором 2 и шкальный механизм; электрические соединения между частями прибора изображены сплошными, а механические передачи — пунктирными линиями.

Ток возбуждения индуцирует в измерительной обмотке компенсатора напряжение, величина которого пропорциональна углу поворота ротора. Напряжение, индуцируемое в измерительной обмотке компенсатора, и напряжение сигнала, поступающего с преобразователя, всегда находятся в противофазе<sup>1</sup>. Поэтому ре-

<sup>1</sup> Этого легко добиться, если преобразователь и компенсатор питаются от одной и той же сети переменного тока. При этом магнитные потоки, создаваемые токами возбуждения и индуцируемые этими потоками напряжения в измерительных обмотках преобразователя и компенсатора, совпадают по фазе. При последовательном соединении обмоток преобразователя и компенсатора (конец одной обмотки с началом другой) их напряжения складываются, а при встречном включении (конец с концом) — вычитаются.

зультатирующее напряжение, поступающее на вход усилителя, равно разности напряжений преобразователя и компенсатора. Если напряжение преобразователя равно напряжению компенсатора, результирующее напряжение на входе усилителя отсутствует, с выхода усилителя в обмотку управления реверсивного двигателя ток не поступает, ротор двигателя и связанный с ним посредством кинематической передачи ротор компенсатора остаются неподвижными. При этом стрелка-указатель отклонена на угол, соответствующий напряжению, создаваемому компенсатором, а следовательно, и напряжению, поступающему в данный момент с преобразователя.

При изменении контролируемого параметра напряжение, поступающее с преобразователя, также изменяется, и на входе усилителя появляется результирующее напряжение. Усиленный сигнал поступает в обмотку управления реверсивного двигателя, ротор которого начинает поворачиваться, причем направление поворота зависит от фазы результирующего напряжения; если напряжение преобразователя превосходит напряжение компенсатора, ротор поворачивается в одном направлении, а в противном случае — в противоположном направлении. Поворот ротора двигателя через кинематическую схему вызывает соответствующий поворот ротора компенсатора, что в свою очередь приводит к изменению напряжения, индуцируемого в его измерительной обмотке. Роторы двигателя и компенсатора и связанная с ними стрелка-указатель будут поворачиваться до тех пор, пока напряжение компенсатора станет равным новому значению напряжения преобразователя. Как только это произойдет, напряжение на входе усилителя, исчезнет, обмотка управления реверсивного двигателя обесточится, роторы, а также стрелка-указатель останутся в положении соответствующем новому значению измеряемого параметра.

### Самопишущие приборы

В некоторых электроизмерительных приборах и установках осуществляется не только измерение, но и регистрация контролируемой величины. Такая регистрация происходит обычно путем записи на диаграммной бумаге. Запись может происходить непрерывно или точками; в последнем случае перо, закрепленное на подвижной части измерительного механизма, периодически прижимается к бумаге специальным приспособлением.

На рис. 2.3 показано устройство самопишущего прибора с непрерывной записью. На кольце 1, заменяющем показывающую стрелку, укреплено капиллярное перо 2; в это перо поступают чернила из неподвижной чернильницы 3. Диаграммная бумага 4 имеет отверстия, в которые входят штифты тянущего барабана 5, вращаемого синхронным электродвигателем. Таким образом обеспечивается равномерное протягивание бумаги с заданной скоростью.

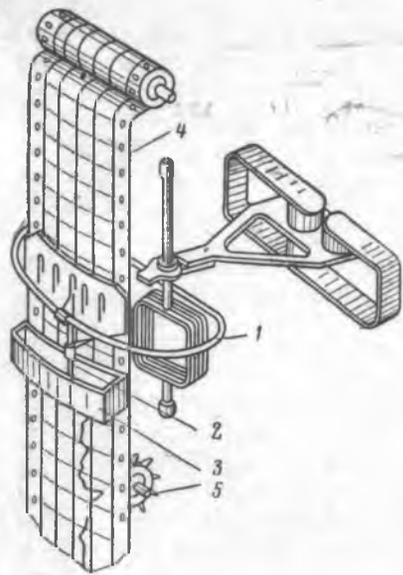


Рис. 2.3. Самопишущий измерительный прибор.

Если во время продвижения бумаги контролируемая величина не изменяется, кольцо с пером остаются неподвижными и на бумаге вычерчивается прямая линия. При изменении контролируемой величины подвижная система электроизмерительного прибора перемещается, что приводит к изменению положения кольца с капиллярным пером, благодаря чему на ленте регистрируются все изменения контролируемой величины.

Измерительный механизм самопишущего прибора с непрерывной записью должен обладать сравнительно большим вращающим моментом

с тем, чтобы трение пера о бумагу не вызывало значительного увеличения погрешности. Наиболее подходящей для самопишущих приборов постоянного тока является магнитоэлектрическая система, а для переменного — ферродинамическая.

В некоторых измерительных установках на одной и той же достаточно широкой диаграммной бумаге производится *одновременная* регистрация нескольких различных параметров, каждый из которых воздействует на соответствующий электроизмерительный прибор, имеющий свою подвижную систему и капиллярное перо.

## § 2. ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Измерительный преобразователь — это средство измерений, предназначенное для преобразования измеряемой величины в величину, воздействующую на измерительный прибор. Подобные преобразователи, называемые раньше датчиками, используются не только для измерений, но также в средствах автоматики, сигнализации, телемеханики и т. д.

Измерительные преобразователи, в которых неэлектрическая величина преобразуется в электрическую, подразделяются на две основные группы: *параметрические* и *генераторные*.

В параметрических преобразователях неэлектрическая величина воздействует на один из электрических или магнитных параметров: активное сопротивление  $R$ , индуктивность  $L$ , емкость  $C$  или магнитную проницаемость  $\mu$ . К этой группе относятся *реостатные, контактные, терморезисторные, индуктивные, емкостные*

и *магнитоупругие* преобразователи, а также преобразователи, использующие *внутренний фотоэффект*.

В генераторных преобразователях неэлектрическая величина преобразуется в электродвижущую силу — э. д. с. К этой группе относятся *тахогенераторы, термоэлектрические, пьезоэлектрические и радиоактивные* преобразователи, а также преобразователи, использующие *внешний фотоэффект*.

### Реостатный измерительный преобразователь

Реостатный преобразователь — это реостат или потенциометр, движок которого перемещается под действием неэлектрической величины.

На рис. 2.4, а показана схема включения реостатного преобразователя и магнитоэлектрического логометра. При изменении неэлектрической величины происходит перемещение движка потенциометра. Это приводит к изменению сопротивлений плеч потенциометра, что вызывает увеличение тока в одной рамке логометра и соответственное уменьшение тока второй рамки. В результате изменяется отношение токов, а следовательно, и угол поворота подвижной части прибора. Шкала логометра градуируется в единицах измеряемой неэлектрической величины.

### Контактный измерительный преобразователь

Контактный преобразователь содержит подвижные и неподвижные контакты, замыкающие или размыкающие электрическую цепь при изменении неэлектрической величины.

На рис. 2.4, б показана схема простейшего двустороннего контактного преобразователя, предназначенного для контроля размера деталей. Если деталь имеет нормальный размер  $h$ , подвижный контакт 1 не касается неподвижных контактов 2 и цепи сигнальных ламп разомкнуты. При отклонении размера  $h$  на величину, равную или большую чем  $+\Delta h$ , замыкаются подвижный и верхний неподвижный контакты и загорается лампа  $BH$  (выше нормы). При отклонении размера  $h$  на величину, равную или большую, чем  $-\Delta h$ , замыкаются подвижный и нижний неподвижный контакты и загорается лампа  $HN$  (ниже нормы).

Контакты этих преобразователей изготавливаются обычно из латуни; для улучшения проводимости и уменьшения окисления рабочие поверхности покрываются тонким слоем благородного металла.

### Терморезисторный измерительный преобразователь

Эти преобразователи обычно изготавливаются из проволоки, материал которой обладает большим температурным коэффициентом электрического сопротивления. Проволоку наматывают на каркас



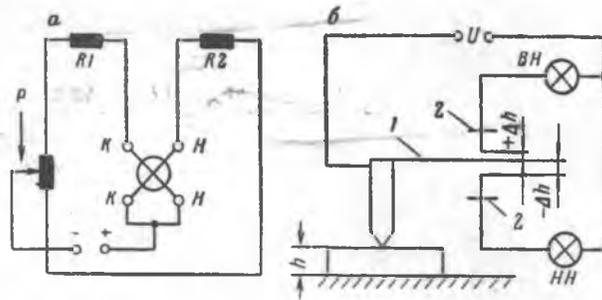


Рис. 2.4. Реостатный (а) и контактный (б) измерительные преобразователи

из пластмассы или слюды, помещаемый в защитную оболочку. Сопротивление терморезистора обычно составляет 50 или 100 Ом. Терморезисторный преобразователь включают в одно из плеч неуравновешенного моста (см. рис. 2.1, б).

С повышением температуры сопротивление терморезистора  $R_x$  возрастает, что приводит к увеличению расстройки моста, т. е. разности потенциалов между точками а и б. Это в свою очередь вызывает увеличение тока в одной из обмоток логометра, а следовательно, и увеличение угла поворота подвижной системы. Шкала прибора градуируется в градусах Цельсия или в кельвинах.

### Индуктивный измерительный преобразователь

Индуктивный преобразователь (рис. 2.5, а) состоит из неподвижного железного сердечника 1, на котором размещена обмотка 2, и укрепленного на пружинах подвижного железного якоря 3. Между полюсами сердечника и якорем имеется воздушный зазор  $\delta$ . Обмотка преобразователя включается в цепь переменного тока. Если пренебречь очень малым активным сопротивлением обмотки  $R$ , то сила тока, протекающего через измерительный прибор, при неизменном напряжении зависит только от индуктивного сопротивления обмотки  $x_L = 2\pi fL$ . Под действием механической силы  $P$  якорь датчика перемещается. При этом изменяется воздушный зазор  $\delta$ , что приводит к изменению магнитного потока  $\Phi$ , а следовательно, индуктивности  $L$  и индуктивного сопротивления обмотки. Например, если сила  $P$  увеличивается, зазор  $\delta$  уменьшается, магнитный поток  $\Phi$ , индуктивность  $L$  и индуктивное сопротивление  $x_L$  увеличиваются, что приводит к уменьшению тока. Таким образом, ток, протекающий через измерительный прибор, обратно пропорционален механической силе, воздействующей на якорь преобразователя.

В отличие от реостатных преобразователей, используемых обычно в цепях постоянного тока, индуктивные преобразователи могут применяться только в цепях переменного тока.

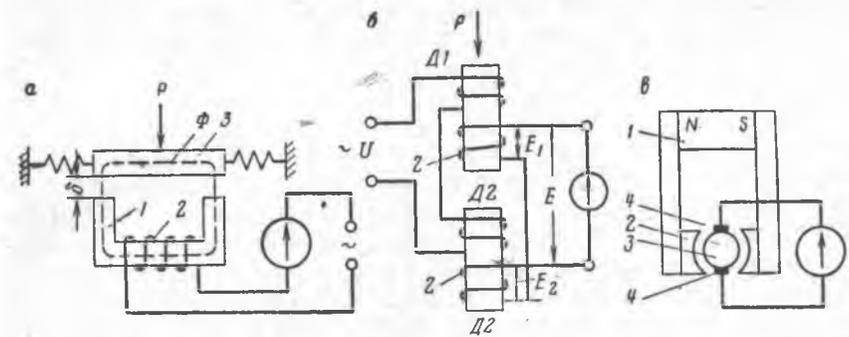


Рис. 2.5. Индуктивный (а), магнитоупругий (б), и индукционный (в) измерительные преобразователи

### Емкостной измерительный преобразователь

Емкостной преобразователь — это конденсатор, емкость которого изменяется под действием неэлектрической величины.

Как известно, емкость конденсатора зависит от площади электродов, их формы, расстояния между ними, а также от диэлектрической проницаемости диэлектрика, находящегося между электродами.

В емкостных преобразователях, применяемых в манометрах и динамометрах, под действием измеряемого давления или силы изменяется воздушный зазор между пластинами плоского конденсатора, что приводит к изменению его емкости. Емкостные преобразователи, как и индуктивные, могут применяться только в цепях переменного тока. При изменении емкости преобразователя изменяется его емкостное сопротивление  $x_C = 1/2\pi fC$ , что приводит к изменению тока, протекающего через измерительный прибор. Так как емкость преобразователя обычно мала, то при его включении в цепь переменного тока промышленной частоты 50 Гц сопротивление преобразователя будет велико, а значит, ток  $I = U/x_C$  мал и может оказаться недостаточным для нормальной работы измерительного прибора. Поэтому емкостные преобразователи питают током высокой частоты, что приводит к уменьшению емкостного сопротивления  $x_C = 1/2\pi fC$ , а следовательно, к увеличению силы тока. Если и это оказывается недостаточным, применяют электронные усилители.

### Магнитоупругий измерительный преобразователь

Работа этих преобразователей основана на изменении магнитной проницаемости ферромагнитного материала в результате возникновения внутренних механических напряжений.

Магнитоупругий преобразователь (рис. 2.5, б) состоит из двух одинаковых дросселей, обмотки возбуждения 2 которых соединены последовательно, а измерительные обмотки — встречно. По обмоткам возбуждения протекает переменный ток, создающий в

сердечниках дросселей магнитные потоки. При отсутствии механического воздействия магнитная проницаемость обоих сердечников одинакова, благодаря чему магнитные потоки, а следовательно, и индуцированные ими э. д. с.  $E_1$  и  $E_2$  также одинаковы и результирующая э. д. с.  $E = E_1 - E_2$ , снимаемая с выходных зажимов измерительной обмотки, в этом случае равна нулю. При механическом воздействии на сердечник дросселя  $D1$  в нем возникают механические напряжения, что приводит к уменьшению магнитной проницаемости. Это в свою очередь вызывает уменьшение магнитного потока и индуцированной им э. д. с.  $E_1$ , благодаря чему возникает результирующая э. д. с.  $E = E_1 - E_2$ , и через прибор протекает ток, пропорциональный измеряемой механической величине (давлению, крутящему моменту и т. п.).

### Фотоэлектронный измерительный преобразователь

Работа этих преобразователей основана на внешнем или внутреннем фотоэффекте.

В приборах с внешним фотоэффектом под действием света из материала фотокатода выбиваются электроны, которые затем перемещаются к положительно заряженному аноду, образуя фототок. Сила фототока пропорциональна измеряемому световому потоку.

В приборах с внутренним фотоэффектом под действием света происходит увеличение числа свободных электронов в полупроводнике, включенном в электрическую цепь. Это приводит к увеличению тока в цепи, которое пропорционально измеряемому свету.

Фотоэлектронные преобразователи применяются в частности в тех случаях, когда зрение человека должно быть заменено автоматически действующими устройствами.

### Тахогенераторы

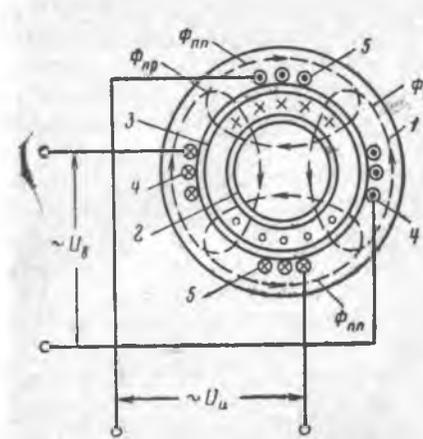
Тахогенераторами называются преобразователи, используемые при измерении частоты вращения. К ним относятся индукционные преобразователи, вырабатывающие напряжение постоянного тока, и асинхронные двигатели переменного тока, работающие в генераторном режиме.

В индукционном преобразователе (рис. 2.5, в) неподвижный постоянный магнит 1 с полюсными башмаками 2 создает магнитное поле, в котором размещен подвижной железный якорь 3. В пазы якоря заложена обмотка, концы которой выведены на пластины медного коллектора, контактирующего с неподвижными угольными щетками 4.

Якорь механически соединяется с валом машины, скорость которого измеряется. При вращении якоря в его обмотке индуцируется э. д. с., пропорциональная частоте вращения:

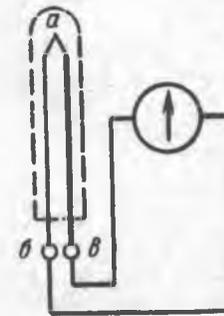
$$E = K\Phi n, \quad (2.1)$$

где  $K$  — постоянная величина, зависящая от конструкции преобразователя;  $\Phi$  — магнитный поток;  $n$  — частота вращения якоря.



← Рис. 2.6. Асинхронный тахогенератор переменного тока

Рис. 2.7. Термоэлектрический измерительный преобразователь



Шкала измерительного прибора, соединяемого со щетками, градуируется в единицах частоты вращения.

Асинхронный тахогенератор переменного тока (рис. 2.6) состоит из наружного статора 1, внутреннего статора 2 и находящегося между ними полого немагнитного ротора 3. На наружном статоре размещены: обмотка возбуждения 4 и измерительная обмотка 5. Внутренний статор обмоток не имеет. Обмотка возбуждения питается переменным током, создающим переменный (но не вращающийся) продольный магнитный поток  $\Phi_{пр}$ , пронизывающий ротор и внутренний статор, но не индуцирующий э. д. с. в измерительной обмотке, так как охватываемая этой обмоткой площадь потоком не пронизывается. Следовательно, пока ротор неподвижен, э. д. с. в измерительной обмотке равна нулю.

Когда ротор вращается с помощью вала, частота которого измеряется, в роторе индуцируется ток. При вращении по часовой стрелке направление индуцируемого тока будет (для одного из полупериодов напряжения возбуждения) таким, как показано крестиками и точками на роторе. В другие полупериоды направление потоков  $\Phi_{пр}$ , а следовательно, и тока ротора будет противоположным. Ток ротора создает переменный поперечный магнитный поток  $\Phi_{пп}$ , пронизывающий площадь, охватываемую витками измерительной обмотки 5, и поэтому индуцирующий в этой обмотке напряжение  $U_{и}$ . Ток ротора, создаваемый им магнитный поток, а следовательно, и напряжение  $U_{и}$  — пропорциональны измеряемой частоте вращения.

### Термоэлектрический измерительный преобразователь

В цепи, составленной из различных металлов, места спаев которых находятся в средах с неодинаковой температурой, возникает термоэлектродвижущая сила. Термоэлектрический преобразователь, или термопара (рис. 2.7), состоит из двух разнородных проволок, помещенных в защитную фарфоровую или стальную

трубку. В точке *a* эти проволоки спаяны, а их свободные концы *b* и *в* выведены на зажимы, к которым присоединяется измерительный прибор. Сочетание магнитоэлектрического измерительного прибора с термопарой, предназначенное для измерения температур, называют термоэлектрическим пирометром.

При измерении спай *a* должен находиться в зоне измеряемой температуры, а свободные концы термопары *b* и *в* — в среде с температурой, при которой градуировался пирометр. Если эти температуры неодинаковы, возникает термо-э. д. с. и через прибор протекает ток, пропорциональный измеряемой температуре. Для повышения точности измерений свободные концы термопары помещают в термостат с постоянной температурой.

Для термопар применяют: медь-константан (до 300° С), медь-копель (до 600° С), железо-копель (до 800° С), хромель-копель (до 800° С), хромель-алюмель (до 1300° С), платину-платинородий (до 1600° С)<sup>1</sup>.

### Пьезоэлектрический измерительный преобразователь

В этом преобразователе используют прямой пьезоэлектрический эффект, имеющий место в некоторых кристаллических материалах (кварц, сегнетовая соль, титанат бария, турмалин). Суть эффекта заключается в том, что при деформации этих материалов на их гранях возникают электрические заряды, пропорциональные деформирующим усилиям. Для пьезоэлектрических преобразователей чаще всего применяются кварцевые пластинки, вырезаемые из кристалла кварца с определенной ориентацией граней относительно осей кристалла. Направление воздействующей на преобразователь силы должно совпадать с так называемой электрической осью кристалла.

В принципе преобразователь может содержать только одну кварцевую пластинку, но для увеличения чувствительности обычно применяют несколько пластинок, соединяемых между собой параллельно с соблюдением полярности зарядов. Разность потенциалов, получаемая под воздействием измеряемой силы, усиливается с помощью электронных усилителей.

Пьезоэлектрические преобразователи хорошо работают при измерении быстро изменяющихся усилий, когда утечка зарядов почти не имеет значения.

### Радиоактивные измерительные преобразователи

Эти преобразователи по сути являются детекторами, обнаруживающими ядерные излучения.

<sup>1</sup>Состав сплавов: константан 60% Cu, 40% Si, копель 56,5% Cu, 43,5% Ni; хромель 90% Ni, 10% Cr; алюмель 78% Ni, 17% Fe, 2% Al, 2% Mn, 1% Si; платинородий 90% Pt, 10% Rh.

Одной из разновидностей радиоактивных преобразователей является *ионизационная камера*, наполненная газом, находящимся в электрическом поле. Под действием радиоактивного излучения газ ионизируется, и ионы газа, передвигаясь по силовым линиям электрического поля, создают ток, который вызывает падение напряжения на сопротивлении нагрузки. Полученный таким образом слабый сигнал в дальнейшем поступает на усилитель.

Ионизационные измерительные преобразователи, в частности, используются для измерения расхода газа и скорости газового потока. При этом трубопровод в некотором сечении подвергается прерывистому радиоактивному излучению. Образовавшиеся в трубопроводе ионизированные участки газа, проходя мимо преобразователя, создают в нем импульсы тока. Расход газа или скорость его движения можно определить по среднему времени переноса ионизированного объема на определенное расстояние.

## Глава 3

### ЭЛЕМЕНТЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК И СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ

Помимо электроизмерительных приборов и преобразователей в измерительных установках и средствах автоматики применяются также и другие элементы, которые можно классифицировать по выполняемой ими функции и по физическим принципам, лежащим в основе их действия.

По выполняемой функции эти элементы подразделяются на: выпрямители, стабилизаторы и преобразователи напряжения, обеспечивающие электропитание измерительных установок и средств автоматики;

усилители, предназначенные для усиления сигналов; переключающие устройства, предназначенные для переключения электрических цепей; распределительные элементы, обеспечивающие распределение сигналов по различным электрическим цепям (каналам); исполнительные элементы, предназначенные для перемещения управляемых объектов; счетчики электрических импульсов.

По физическим принципам действия элементы измерительных установок и средств автоматики подразделяются на:

электромеханические, в которых электрическая энергия преобразуется в механическую или наоборот;

электротепловые, в которых электрическая энергия преобразуется в тепловую или наоборот;

электромагнитные, работающие на принципе взаимодействия между электрическим током и магнитным потоком;

электронные, в которых используется перемещение электронов в вакууме или в полупроводниках;

ионные (газоразрядные), в которых используется перемещение электронов и ионов в газах;

радиоактивные, в которых электрические сигналы возникают в результате радиоактивного излучения;

пневматические, использующие энергию сжатого воздуха или газа;

гидравлические, в которых используется энергия жидкости под давлением.

## § 1. ВЫПРЯМИТЕЛИ, СТАБИЛИЗАТОРЫ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ

Электропитание измерительных установок и средств автоматики, применяемых в бурении и на горно-разведочных работах, может осуществляться в зависимости от условий эксплуатации от источников переменного или постоянного тока. В то же время отдельные элементы (например, электронные усилители) должны всегда питаться постоянным током, а другие элементы (например, асинхронные двигатели) — переменным током, причем требуемые для них напряжения часто отличаются от напряжения применяемого источника питания.

Источник переменного тока обычно подключается к силовому трансформатору<sup>1</sup>, имеющему несколько вторичных обмоток, с которых снимаются напряжения, требуемые для питания отдельных элементов. К вторичным обмоткам при необходимости подключаются также выпрямители, преобразующие переменный ток в постоянный.

При использовании источника постоянного тока те элементы, для которых требуется напряжение, равное напряжению источника, подключаются к нему непосредственно. Если требуются переменные напряжения или напряжения постоянного тока, отличающиеся от напряжения источника питания, применяются преобразователи. Последние преобразуют напряжение источника постоянного тока в переменное напряжение, которое с помощью трансформатора повышается или понижается до требуемой величины и подается на элементы в зависимости от потребности непосредственно или через выпрямитель.

Для обеспечения постоянства питающих напряжений применяются стабилизаторы.

### Выпрямители

Выпрямитель состоит из трех основных элементов: силового трансформатора, одного из нескольких *вентилей* и *сглаживающего фильтра*. Силовой трансформатор повышает или понижает подаваемое на выпрямитель переменное напряжение до требуемого значения. Вентиль, т. е. элемент, обладающий односторонней

<sup>1</sup> Силowymi эти трансформаторы называются в отличие от слаботочных трансформаторов, применяемых в цепях звуковой и высокой частоты.

Рис. 3.1. Выпрямитель с удвоением напряжения

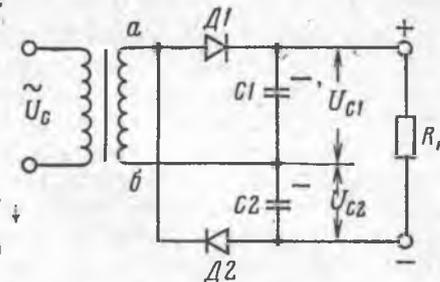
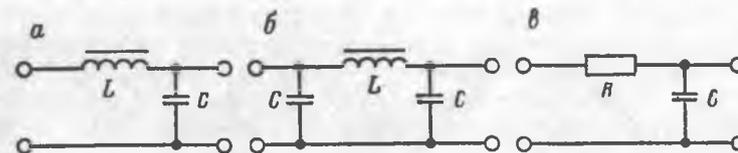


Рис. 3.2. Схемы сглаживающих фильтров:

*a* — Г-образный LC-фильтр; *б* — П-образный LC-фильтр; *в* — Г-образный RC-фильтр



проводимостью, преобразует переменный ток в импульсный. Сглаживающий фильтр уменьшает пульсацию выпрямленного напряжения.

Выпрямители подразделяются на две основные группы: *однополупериодные*, в которых выпрямленный импульсный ток протекает по цепи только в течение одного полупериода выпрямленного напряжения, и *двухполупериодные*, в которых импульсный ток протекает в цепи в течение обоих полупериодов. В свою очередь двухполупериодные выпрямители могут собираться по двум схемам: с выводом средней точки от вторичной обмотки силового трансформатора и мостовой.

Наибольшее применение имеют двухполупериодные выпрямители, собранные по мостовой схеме, в которых обеспечиваются полное использование силового трансформатора и сравнительно небольшая пульсация выпрямленного тока.

В некоторых образцах измерительной аппаратуры применяются выпрямители с умножением напряжения; их используют для повышения выпрямленного напряжения при заданном напряжении на вторичной обмотке трансформатора или при отсутствии повышающего силового трансформатора с необходимым коэффициентом трансформации. Наиболее часто встречается параллельная схема с удвоением напряжения (рис. 3.1).

Напряжение  $U_0$  создает переменный ток в первичной обмотке силового трансформатора, индуктирующий в его вторичной обмотке переменное напряжение. В те полупериоды, когда в точке *a* плюс, а в точке *б* минус, импульс тока, проходящий от точки *a* через диод *D1* к точке *б*, заряжает электролитический конденсатор *C1*.

В другие полупериоды, когда в точке *a* минус, а в точке *б* плюс, заряжается конденсатор *C2* через диод *D2*. Разряд конденсаторов может происходить только через нагрузку, причем в цепи разряда оба конденсатора соединены между собой последовательно и напря-

жения  $U_{c1}$  и  $U_{c2}$  складываются. В результате напряжение на нагрузке  $U_n = U_{c1} + U_{c2}$  удваивается.

Для уменьшения пульсации выпрямленного напряжения применяются сглаживающие фильтры, которые включаются между выходными зажимами выпрямительной схемы и нагрузкой. Сглаживающий фильтр должен отсеивать переменные составляющие выпрямленного импульсного тока, а постоянную составляющую пропускать на нагрузку по возможности без потерь и таким образом обеспечивать снижение пульсации выпрямленного напряжения до заданного уровня.

На рис. 3.2 дана схема сглаживающих фильтров. Этой задаче в наилучшей степени отвечают  $LC$ -фильтры (рис. 3.2 а, б), у которых в последовательные ветви включаются дроссели  $L$ , а в параллельные конденсаторы  $C$ . Действие фильтра основано на зависимости сопротивления его элементов от частоты тока. Сопротивление дросселя постоянному току, равное омическому сопротивлению его обмотки, близко к нулю. В цепях переменного тока возникает индуктивное сопротивление дросселя  $x_L = 2\pi fL$ , которое возрастает с повышением частоты. Поэтому постоянный ток проходит через дроссель почти без потерь, а переменным составляющим импульсного тока дроссель оказывает большое сопротивление. Сопротивление конденсатора постоянному току равно бесконечности, так как заряженный конденсатор постоянный ток не пропускает. Переменному току конденсатор оказывает емкостное сопротивление  $x = 1/(2\pi fC)$ , которое с повышением частоты уменьшается. Поэтому постоянный ток не ответвляется через конденсаторы в параллельные ветви фильтра, а переменные составляющие импульсного тока сравнительно легко проходят через конденсаторы, поэтому не попадают на нагрузку. Для лучшей фильтрации обычно применяют электролитические конденсаторы большой емкости (10—40 мкФ), оказывающие гармоникам импульсного тока сравнительно малое сопротивление.

$LC$ -фильтры в значительной степени снижают пульсацию выпрямленного тока, но обладают двумя недостатками — большой массой дросселя и наличием вокруг дросселя переменных магнитных полей, создающих помехи высокочувствительным элементам электронной аппаратуры. Эти недостатки устранены в  $RC$ -фильтрах (рис. 3.2, в), в последовательные ветви которых вместо дросселей включают резисторы. Резистор оказывает практически одинаковое сопротивление как постоянной, так и переменной составляющим импульсного тока, что приводит, во-первых, к уменьшению коэффициента сглаживания, а во-вторых, к потерям постоянного напряжения. Поэтому несмотря на малые габаритные размеры и массу и отсутствие мешающего влияния  $RC$ -фильтры целесообразно применять только при малых значениях выпрямленного тока (до 10—15 мА).

## Стабилизаторы напряжения

Стабилизаторы предназначены для обеспечения постоянства питающих напряжений. Стабилизация напряжения переменного тока осуществляется обычно с помощью феррорезонансных стабилизаторов, а постоянного тока с помощью электронных стабилизаторов. Основным показателем качества стабилизатора является коэффициент стабилизации, определяющий, во сколько раз относительное изменение напряжения на выходе стабилизатора меньше относительного изменения напряжения на его входе.

Феррорезонансные стабилизаторы напряжения (рис. 3.3) могут быть основаны на явлении феррорезонанса токов или феррорезонанса напряжений. Первые из них применяются чаще, так как обладают более высоким к. п. д. и меньшей зависимостью от характера нагрузки.

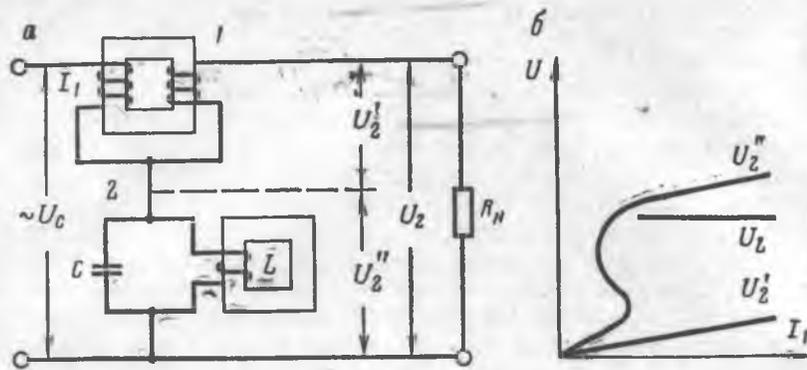
В схеме стабилизатора, приведенной на рис. 3.3, а, общая точка обмоток силового автотрансформатора 1 соединена с параллельным феррорезонансным контуром 2, образованным дросселем  $L$  и конденсатором  $C$ . Под действием напряжения сети  $U_c$  через первичную обмотку трансформатора и контур протекает ток  $I_1$ , индуктирующий во вторичной обмотке трансформатора напряжение  $U_2^*$ , пропорциональное  $I_1$ . Зависимость напряжения на контуре  $U_2^*$  от тока  $I_1$  имеет нелинейный характер, но начиная с некоторого значения тока  $I_1$  наступает магнитное насыщение сердечника дросселя, его индуктивность  $L$ , индуктивное сопротивление  $x_L = 2\pi fL$  и полное сопротивление  $Z_k$  остаются неизменными, и в этих условиях напряжение  $U_2^* = I_1 Z_k$  становится пропорциональным току  $I_1$ .

Элементы стабилизатора подбирают так, чтобы зависимость напряжений  $U_2^*$  и  $U_2$  от тока  $I_1$  была одинаковой, т. е. чтобы в области насыщения наклон кривой  $U_2^*$  был равен наклону кривой  $U_2$ . Обмотки дросселя и трансформатора включают встречно, благодаря чему напряжения  $U_2^*$  и  $U_2$  находятся в противофазе и, следовательно, напряжение на выходе стабилизатора равно их разности  $U_2 = U_2^* - U_2$ .

При колебаниях напряжения питающей сети изменяется ток  $I_1$ , а значит, и напряжения  $U_2^*$  и  $U_2$ . Но так как изменение этих напряжений одинаково, то результирующее напряжение на выходе стабилизатора  $U_2 = U_2^* - U_2$  остается неизменным (кривая  $U_2$ , рис. 3.3, б).

В электронных стабилизаторах используются электронные, газоразрядные или полупроводниковые приборы.

На рис. 3.4 приведена схема простейшего параметрического электронного стабилизатора. В состав схемы входят кремниевый стабилитрон  $D$ , балластный резистор  $R_6$  и сопротивление нагрузки  $R_n$ . Кремниевые стабилитроны отличаются от обычных полупроводниковых диодов малой шириной  $n - p$  перехода. Нормальным режимом для этих приборов является работа при обратном



↑ Рис. 3.3. Феррорезонансный стабилизатор напряжения:  
а — схема; б — кривые зависимости напряжения от тока

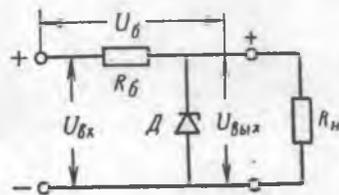


Рис. 3.4. Параметрический стабилизатор напряжения

напряжении, соответствующем начальной стадии пробоя. На этом участке вольт-амперной характеристики диода при значительном изменении тока, проходящего через прибор, падение напряжения на последнем почти не изменяется.

▼ Принцип работы параметрического стабилизатора заключается в следующем. При изменении входного напряжения  $U_{вх}$  изменяется сила тока, проходящего через балластный резистор  $R_6$  и стабилитрон  $D$ . При этом падение напряжения на стабилитроне остается постоянным, а падение напряжения на балластном сопротивлении  $U_6 = IR_6$  изменяется пропорционально току.

Если входное напряжение увеличивается, например на 2 В, то напряжение на балластном сопротивлении также увеличивается на 2 В, а так как напряжение на стабилитроне остается все время постоянным, то выходное напряжение не изменится.

▼ Поскольку электрический пробой наступает при сравнительно низком напряжении (порядка нескольких вольт), мощность, выделяющаяся на  $n - p$  переходе, даже при значительных обратных токах будет небольшой. Это предохраняет стабилитрон от необратимого теплового пробоя. Превышение предельно допустимого обратного тока приводит, как и в обычных диодах, к выходу прибора из строя.

Недостатками схемы, показанной на рис. 3.4, являются сравнительно низкий коэффициент стабилизации и большое выходное сопротивление стабилизатора (за счет резистора  $R_6$ ). Поэтому в тех случаях, когда к стабилизированному напряжению предъяв-

ляются высокие требования, применяют более сложные схемы, основанные на компенсационном методе.

Полупроводниковые компенсационные стабилизаторы обладают высоким коэффициентом стабилизации (до 1000) и низким выходным сопротивлением (десятые доли ома); они применяются для стабилизации сравнительно низких напряжений порядка 10—30 В. Для стабилизации более высоких напряжений используются работающие по такому же принципу стабилизаторы на газоразрядных приборах.

### Преобразователи напряжения

Преобразователи напряжения применяются при питании аппаратуры от источника постоянного тока в тех случаях, когда для отдельных элементов аппаратуры требуются питающие напряжения более высокие, чем напряжение источника питания.

Основными элементами транзисторного преобразователя напряжения являются *электронный генератор* и *трансформатор*. Электронный генератор, питающийся от источника постоянного тока, вырабатывает переменный ток частотой 1—2 кГц. Выработанное генератором напряжение переменного тока подается на первичную обмотку силового трансформатора. Трансформатор может иметь одну или несколько понижающих или повышающих вторичных обмоток, с которых снимаются требуемые питающие напряжения *переменного тока*. Если необходимо получить питающие напряжения *постоянного тока*, то соответствующие вторичные обмотки трансформатора подключаются к выпрямителям. Преобразователи мощностью более 20—30 Вт имеют в своем составе также электронные усилители, усиливающие мощность колебаний, вырабатываемых генератором.

### § 2. УСИЛИТЕЛИ

Сигналы, возникающие на выходе преобразователей, обычно недостаточны для приведения в действие электроизмерительных приборов или исполнительных элементов и поэтому предварительно усиливаются с помощью усилителей.

Усилителем называется устройство, в котором происходит увеличение энергии входного сигнала за счет энергии внешнего источника. В зависимости от физических явлений, лежащих в основе их действия, усилители подразделяются на электронные, магнитные, электромашинные, механические, гидравлические и пневматические. Наибольшее распространение получили электронные усилители.

Важнейшим параметром каждого усилителя является *коэффициент усиления*, показывающий, во сколько раз усиливается сигнал на выходе усилителя больше, чем на его входе. Например, коэффициент усиления по напряжению  $K_u = U_{вых}/U_{вх}$ , коэффициент усиления по мощности  $K_p = P_{вых}/P_{вх}$  и т. д.

## Электронные усилители

Электронными называются такие усилители, которые усиливают электрические сигналы с помощью электронных приборов.

Эти усилители классифицируются по нескольким признакам.

В зависимости от применяемых электронных приборов различают ламповые и полупроводниковые (транзисторные) усилители.

В зависимости от диапазона частот усиливаемых электрических сигналов различают:

усилители низкой частоты (УНЧ), предназначенные для усиления непрерывных периодических сигналов частотой от 20 Гц до 20 кГц;

усилители высокой частоты (УВЧ), предназначенные для усиления непрерывных периодических сигналов частотой выше 20 кГц;

широкополосные усилители, предназначенные для усиления сигналов широкой полосы частот от сотен герц до десятков мегагерц и выше;

усилители постоянного тока (УПТ), предназначенные для усиления медленно изменяющихся напряжений и токов.

По назначению различают усилители напряжения или тока и усилители мощности, в зависимости от того, какая из этих величин на выходе усилителя должна быть значительно больше, чем на его входе.

Различают также апериодические, резонансные и полосовые усилители. Апериодические усилители, в свою очередь, подразделяются на резистивные, в которых нагрузкой служат резисторы, и трансформаторные; эти усилители не обладают избирательными свойствами и усиливают все частоты своего диапазона примерно одинаково. В резонансных и полосовых усилителях нагрузкой служат одиночные или связанные резонансные контуры; такие усилители усиливают сигналы в границах сравнительно узкой полосы частот, а сигналы всех остальных частот, как более низких, так и более высоких, не только не усиливают, но даже ослабляют.

В отдельную группу выделяются *катодные и эмиттерные повторители* (рис. 3.5), предназначенные для согласования сопротивлений соединяемых между собой элементов аппаратуры. В отличие от усилителей напряжения нагрузочный резистор здесь включен не в цепь анода (или коллектора), а в цепь катода (или эмиттера). Можно доказать, что в повторителях  $U_{\text{вых}}$  и  $U_{\text{вх}}$  совпадают по фазе; другими словами, выходное напряжение повторяет фазу входного, этим и объясняется название каскада.

Действительно, пусть в какой-то полупериод входной сигнал подается на сетку со знаком плюс. При этом анодный ток увеличивается и его переменная составляющая, протекая в том же направлении, что и постоянная составляющая, проходит от катода через  $R_{\text{н}}$  и  $C_{\text{бл}}$  к аноду и создает на нагрузке напряжение с полярностью: плюс в точке *a*, минус в точке *б*. В другие полупериоды, когда на сетку подается минус, анодный ток уменьшается,

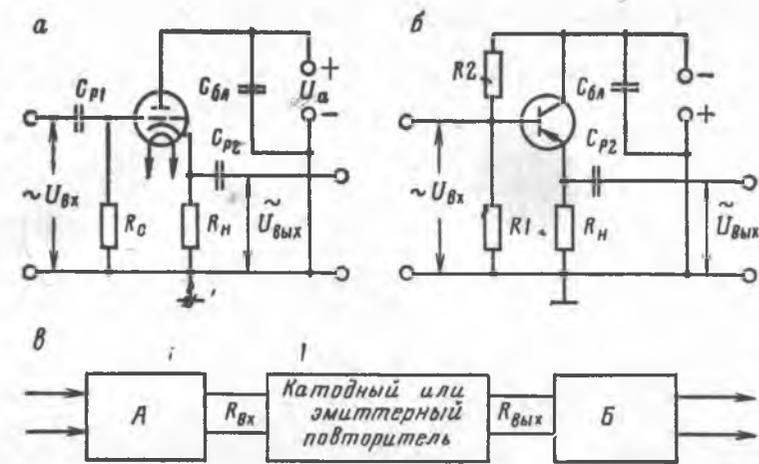


Рис. 3.5. Катодный и эмиттерный повторители:

*a* — катодный повторитель; *б* — эмиттерный повторитель; *в* — схема включения повторителей

его переменная составляющая протекает по той же цепи в обратном направлении и полярность напряжения на резисторе  $R_{\text{н}}$  изменяется. Сравнивая полярность выходного и входного напряжений по отношению к корпусу, видим, что они одинаковы, т. е.  $U_{\text{вых}}$  и  $U_{\text{вх}}$  совпадают по фазе. Аналогично работает и эмиттерный повторитель (рис. 3.5, б).

Коэффициент усиления повторителей всегда меньше единицы. Объясняется это тем, что в цепи сетка-катод (или база-эмиттер) входное и выходное напряжения в любой момент времени включены навстречу друг другу, хотя и имеют одинаковую полярность по отношению к корпусу. Поэтому результирующее напряжение в цепи сетка-катод (или база-эмиттер) равно разности входного и выходного напряжений. Если в процессе работы выходное напряжение приблизится по своему значению к входному, результирующее напряжение в цепи сетка-катод уменьшится, что приведет к уменьшению переменной составляющей одного тока, а следовательно, и к уменьшению создаваемого этим током выходного напряжения:  $U_{\text{вых}} = I_{\text{н}} R_{\text{н}}$ . Именно поэтому выходное напряжение никогда не может стать равным или большим, чем входное, коэффициент усиления повторителей всегда меньше единицы и естественно, что для усиления напряжения эти каскады не используются.

Особенностью повторителей является высокое входное сопротивление при сравнительно малом сопротивлении со стороны выходных зажимов. Объясняется это тем, что вследствие малого значения результирующего напряжения в цепи сетка-катод ток в этой цепи также мал, а следовательно, входное сопротивление  $R_{\text{вх}} = U_{\text{вх}} / I_{\text{вх}}$  велико. В то же время выходное сопротивление  $R_{\text{вых}}$ , величина которого зависит от  $R_{\text{н}}$ , может быть сделано достаточно малым. Эта особенность повторителей позволяет исполь-

зовать их для согласованного включения элементов аппаратуры, сопротивления которых значительно отличаются одно от другого.

На рис. 3.5, в показаны элемент аппаратуры А, обладающий высокоомным выходом, и элемент аппаратуры Б с низкоомным входом, которые должны быть соединены друг с другом. Если соединение произвести непосредственно, т. е. без повторителя, то выход элемента А будет зашунтирован низкоомным входом элемента Б, что приведет к уменьшению напряжения и, следовательно, к увеличению потерь энергии сигнала. Если же между А и Б включить катодный или эмиттерный повторитель, условия прохождения сигналов улучшатся, так как высокоомный выход элемента А будет соединен с высокоомным же входом повторителя, а низкоомный выход повторителя — с таким же входом элемента Б.

### Усилители мощности

В этих усилителях основным показателем является мощность сигнала, выделяемая на заданной нагрузке. Каскады усиления мощности подразделяются на *однотактные*, применяемые при выходной мощности до 3—5 Вт, и *двухтактные*, применяемые при большей выходной мощности.

Схемы *однотактных* усилителей мощности представлены на рис. 3.6. Оконечные устройства (измерительные приборы, реле, громкоговорители и др.), на которые работают усилители, обладают обычно небольшим сопротивлением порядка десятков или сотен ом и требуют для своей работы сравнительно больших токов. Если такую нагрузку включить непосредственно в анодную цепь лампы, обладающей большим внутренним сопротивлением  $R_i$ , то ток в цепи будет значительно меньше требуемого, что приведет к существенному уменьшению мощности выходного сигнала.

Для получения максимально возможной при данных лампах или транзисторах мощности выходного сигнала низкоомная нагрузка подключается к усилителю через понижающий трансформатор. Подбором числа витков первичной и вторичной обмоток этого трансформатора можно получить требуемый для нагрузки ток даже при большом внутреннем сопротивлении лампы  $R_i$ . Таким образом, с помощью трансформатора обеспечиваются наилучшие условия передачи сигнала с выхода усилителя на нагрузку.

Схема *двухтактного* лампового усилителя мощности представлена на рис. 3.7, а. В состав схемы входят две одинаковые по своим параметрам лампы Л1 и Л2, сеточный трансформатор СТ, имеющий вывод средней точки вторичной обмотки, и анодный трансформатор АТ с выводом средней точки первичной обмотки. При отсутствии входного сигнала в анодных цепях ламп протекают одинаковые по величине постоянные анодные токи  $I_{a1}$  и  $I_{a2}$ , которые, как видно из схемы, проходят через первичную обмотку АТ в противоположных направлениях, благодаря чему ре-

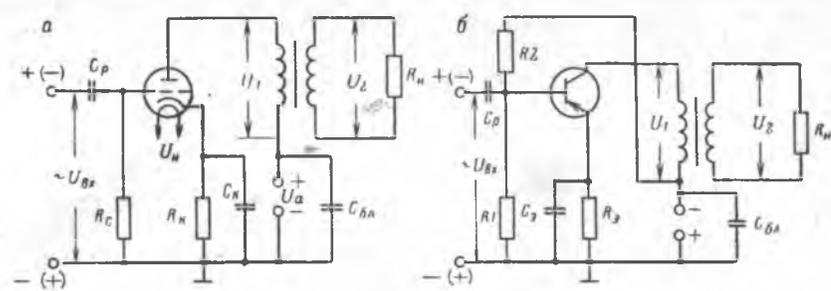


Рис. 3.6. Однотактные усилители мощности: а — ламповый; б — транзисторный

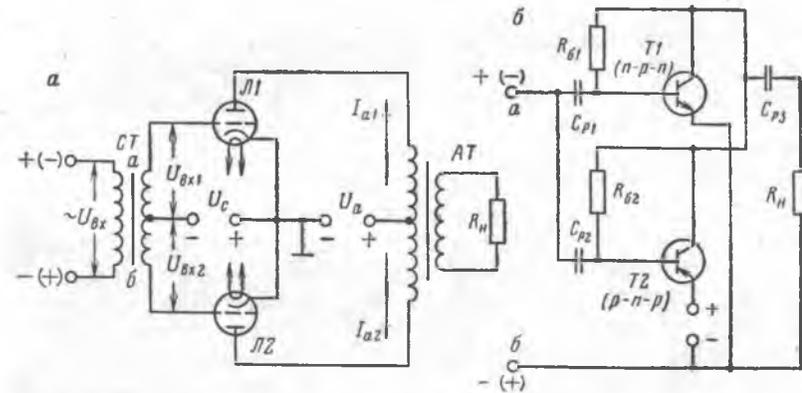


Рис. 3.7. Двухтактные усилители мощности: а — ламповый; б — транзисторный

зультатирующий магнитный поток в сердечнике трансформатора равен нулю. Отсутствие подмагничивания выходного трансформатора улучшает его работу, что является одним из преимуществ двухтактной схемы.

При поступлении сигнала во вторичной обмотке СТ индуцируется переменное напряжение. Так как катоды обеих ламп соединены со средней точкой вторичной обмотки, то к участкам сетка-катод ламп прикладываются одинаковые по величине, но противоположные по фазе напряжения  $U_{вх1}$  и  $U_{вх2}$ . Пусть в какой-то полупериод напряжение на вторичной обмотке СТ имеет полярность плюс в точке а и минус в точке б. При этом на лампу Л1 входное напряжение подается плюсом на сетку, минусом на катод, а на лампу Л2 минусом на сетку, а плюсом на катод. Анодный ток лампы Л1 увеличивается, и его переменная составляющая протекает в том же направлении, что и постоянная составляющая, т. е. от катода через источник анодного питания и верхнюю половину первичной обмотки АТ к аноду. В это же время анодный ток лампы Л2 уменьшается, и его переменная составляющая протекает в направлении,

противоположном постоянной составляющей, т. е. от анода через нижнюю половину первичной обмотки  $AT$  и источник питания к катоду. В другие полупериоды полярность напряжения на сетках ламп и направления переменных составляющих анодных токов изменяются. Как видно из схемы, через первичную обмотку трансформатора переменные составляющие анодных токов обеих ламп в каждый данный момент времени протекают в одном и том же направлении. Поэтому магнитные потоки, создаваемые этими токами в сердечнике трансформатора, складываются, и мощность сигнала, поступающего в нагрузку, удваивается по сравнению с одноконтурной схемой. Помимо указанных преимуществ двухтактные схемы отличаются меньшими искажениями и возможностью работы в более экономичных режимах.

По такому же принципу работают и трансформаторные двухтактные усилители на транзисторах (рис. 3.7, б). Но при использовании транзисторов чаще применяют двухтактную схему другого типа, называемую бестрансформаторной.

Схема состоит из двух разнотипных транзисторов ( $p-n-p$  и  $n-p-n$ ), резисторов и конденсаторов. Нагрузка подключается к выходным зажимам непосредственно или (если это необходимо) через согласующий выходной трансформатор. Входной трансформатор с выводом средней точки здесь не нужен.

Транзисторы  $T1$  и  $T2$  соединены между собой по постоянному току последовательно, а по переменному току — параллельно. Постоянный ток проходит по цепи: плюс, эмиттер-база, коллектор транзистора  $T2$  типа  $p-n-p$ , коллектор-база — эмиттер транзистора  $T1$  типа  $n-p-n$ , минус. Переменное напряжение входного сигнала поступает через разделительные конденсаторы  $C_{p1}$  и  $C_{p2}$  на базы обоих транзисторов с одинаковой фазой. Пусть в какой-то полупериод в точке  $a$  плюс, а в точке  $b$  минус. Для транзистора  $T2$  типа  $p-n-p$  напряжение такой полярности вызывает уменьшение эмиттерного и коллекторного токов, и поэтому переменная составляющая коллекторного тока протекает в направлении, противоположном постоянной составляющей: эмиттер  $T2$ , батарея, нагрузка, разделительный конденсатор  $C_{p3}$ , коллектор  $T2$ . Для транзистора  $T1$  типа  $n-p-n$  напряжение, поданное плюсом на базу, приводит к увеличению эмиттерного и коллекторного токов, и поэтому переменная составляющая коллекторного тока этого транзистора протекает в том же направлении, что и постоянная составляющая: эмиттер  $T1$ , нагрузка,  $C_{p3}$ , коллектор  $T1$ . В другие полупериоды полярность  $U_{вх}$  и направление переменных составляющих коллекторных токов будут противоположными.

Таким образом, переменные составляющие коллекторных токов обоих транзисторов проходят через нагрузку в каждый момент времени в одном и том же направлении, благодаря чему выходная мощность по сравнению с одноконтурной схемой удваивается.

## Магнитные усилители

Магнитными называются усилители, предназначенные для усиления электрических сигналов с помощью ферромагнитных элементов.

Как известно, магнитная индукция  $B$  прямо пропорциональна магнитной проницаемости  $\mu$  и напряженности магнитного поля  $H$ :

$$B = \mu H. \quad (3.1)$$

Если при намагничивании сердечника увеличивать напряженность магнитного поля, то магнитная индукция возрастает, но только до определенного значения, после которого наступает магнитное насыщение. Дальнейшее увеличение напряженности магнитного поля не приводит к увеличению магнитной индукции. Отсюда на основании формулы (3.1) следует, что начиная с некоторого значения при увеличении напряженности магнитного поля магнитная проницаемость ферромагнитного материала уменьшается. Это явление и положено в основу действия магнитных усилителей (рис. 3.8).

Простейший магнитный усилитель (рис. 3.8, а) состоит из ферромагнитного сердечника 1, выходной обмотки 2, обмотки управления 3 и сопротивления нагрузки  $R_n$ . Питание усилителя осуществляется от источника переменного напряжения. При отсутствии тока в обмотке управления магнитная проницаемость  $\mu$  сердечника высокая, благодаря чему индуктивность  $L$  выходной обмотки и ее индуктивное сопротивление  $x_L = 2\pi fL$  большие, и поэтому ток в цепи выходной обмотки и выделяемая на  $R_n$  начальная мощность  $P_0$  незначительны.

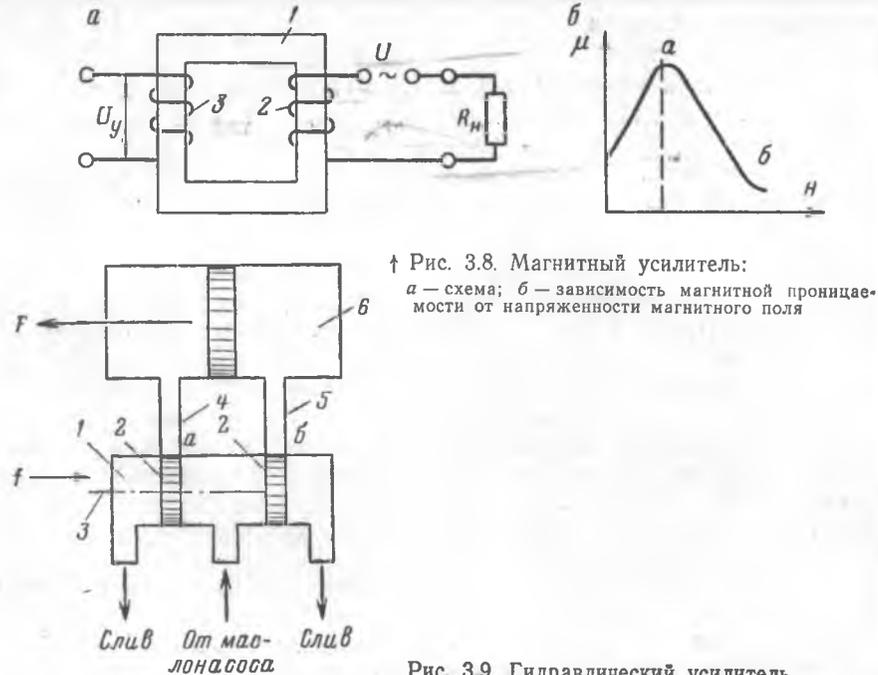
При поступлении усиливаемого сигнала ток, протекающий через обмотку управления, увеличивает напряженность магнитного поля, благодаря чему магнитная проницаемость сердечника уменьшается, что приводит к уменьшению индуктивности, а следовательно, и индуктивного сопротивления выходной обмотки. В результате увеличивается сила тока и мощность, выделяемая на нагрузке, возрастает до значения  $P_{вых}$ .

Коэффициент усиления по мощности

$$K_P = \frac{P_{вых} - P_0}{P_{вх}} \quad (3.2)$$

Для улучшения работы магнитных усилителей схему, показанную на рис. 3.8, а приходится значительно усложнять.

Магнитные усилители по сравнению с электронными обладают большим коэффициентом усиления и к. п. д., но применение их ограничено из-за того, что частота выходного сигнала не может изменяться в соответствии с частотой входного сигнала, а также из-за большой инерционности, объясняемой индуктивностью обмотки управления.



↑ Рис. 3.8. Магнитный усилитель:  
а — схема; б — зависимость магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля

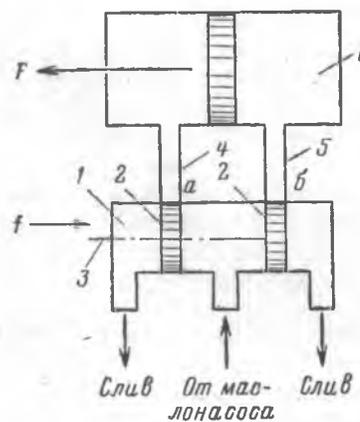


Рис. 3.9. Гидравлический усилитель

### Электромашинные усилители (ЭМУ)

Этот усилитель состоит из генератора постоянного тока, якорь которого приводится во вращение асинхронным двигателем.

Усиливаемый электрический сигнал подается в неподвижную обмотку возбуждения генератора и создает магнитный поток, пронизывающий вращающуюся обмотку якоря. Индуцированная в этой обмотке э. д. с. через щетки подается на выходные зажимы усилителя. При изменении тока входного сигнала изменяется магнитный поток возбуждения и соответственно изменяются э. д. с. и ток в обмотке якоря, причем мощность в цепи якоря во много раз превосходит мощность в цепи возбуждения, т. е. происходит усиление сигнала. Усиление осуществляется за счет энергии, получаемой от приводного двигателя.

ЭМУ применяются в тех случаях, когда усиленный сигнал постоянного тока должен обладать значительной мощностью (до 100 кВт). Наиболее часто встречаются ЭМУ с поперечным магнитным полем, в которых генератор имеет обмотку якоря, две обмотки возбуждения, компенсационную обмотку, обмотку дополнительных полюсов и две пары щеток на коллекторе.

### Гидравлические усилители

В гидравлических усилителях усиление осуществляется с помощью рабочей жидкости. На рис. 3.9 показана схема гидравлического усилителя, в которой в качестве усилительного элемента используется золотник. Золотник состоит из цилиндра 1, внутри которого могут передвигаться поршни 2, закрепленные на штоке 3. Полость цилиндра золотника через окна а и б и трубопроводы 4 и 5 соединена с полостью цилиндра исполнительного механизма б. Цилиндры и трубопроводы заполнены маслом.

При отсутствии входного усилия на штоке золотника поршни 2 закрывают оба отверстия, давление масла в обеих полостях цилиндра исполнительного механизма одинаково и его шток не перемещается.

Когда под действием входного усилия  $f$  шток золотника перемещается вправо, поршни 2 открывают окна а и б. При этом под действием насоса давление масла в правой полости цилиндра исполнительного механизма увеличится, а в левой полости уменьшится, так как эта полость при перемещении поршней вправо оказалась соединенной со сливным отверстием. В результате под действием разности давлений шток исполнительного механизма переместится влево. Если же под действием входного усилия шток золотника перемещается влево, то левая полость цилиндра исполнительного двигателя соединяется с насосом, а правая со сливом, и шток исполнительного механизма переместится вправо.

Усилие  $F$ , развиваемое штоком исполнительного механизма, пропорционально разности давлений в верхней и нижней полостях его цилиндра. Это усилие во много раз больше усилия  $f$ , необходимого для перемещения поршня золотника, и поэтому золотник является усилителем. Усиление в данном случае происходит за счет энергии, получаемой от маслонасоса.

### Пневматические усилители

В пневматических усилителях усиление происходит с помощью очищенного сжатого воздуха под давлением 20—100 кПа.

Основным элементом пневматических усилителей (рис. 3.10) является сопло-заслонка. Металлический цилиндр 1, соединенный трубкой 2 с камерой исполнительного механизма 3, имеет два отверстия; отверстие 4 диаметром около 0,2 мм называется дросселем, а отверстие 5 диаметром 0,6—0,8 мм — соплом.

Сжатый компрессором воздух поступает в цилиндр 1 и оттуда через трубку 2 в камеру исполнительного механизма 3 и частично через сопло 5 — в атмосферу. Перемещая заслонку 6, можно изменять расход воздуха через сопло. Если приближать заслонку к соплу, расход воздуха, выходящего в атмосферу, уменьшается, благодаря чему давление в камере исполнительного механизма увеличивается и поршень со штоком 7, преодолевая сопротивление пружины 8, перемещается вправо. При удалении заслонки от сопла

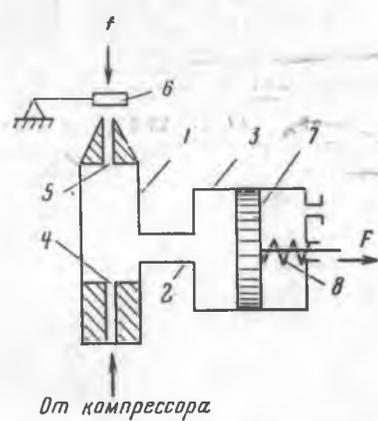


Рис. 3.10. Пневматический усилитель

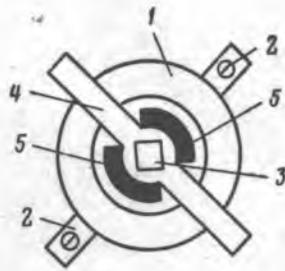


Рис. 3.11. Пакетный выключатель

расход воздуха, выходящего в атмосферу, увеличивается, давление в камере исполнительного механизма уменьшается и пружина перемещает поршень со штоком влево.

Так как усилие  $F$ , развиваемое штоком, во много раз больше усилия  $f$ , необходимого для перемещения заслонки, то элемент сопло-заслонка является усилителем. Усиление в данном случае осуществляется за счет энергии, получаемой компрессором.

### § 3. ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

К этим элементам относятся рубильники, пакетные выключатели, командоаппараты, контакторы, а также электромеханические и электронные реле.

#### Пакетные выключатели

Пакетные выключатели (рис. 3.11) применяются при ручном включении и выключении электрических цепей постоянного и переменного тока напряжением до 400 В и длительном токе до 400 А.

На рис. 3.11 показана одна из трех неподвижных шайб 1, которые расположены одна над другой; каждая шайба имеет по два неподвижных контакта 2, к которым присоединяются провода. На четырехгранный валик 3 с насаженной на нем пластмассовой ручкой укреплены три двойных подвижных контакта 4 — по одному контакту на каждую шайбу. Подвижные контакты могут занимать два положения со сдвигом на  $90^\circ$ . В одном положении ручки каждая пара неподвижных контактов замыкается через свой подвижный контакт, а в другом положении (как показано на рис. 3.11) неподвижные контакты разомкнуты. Таким образом, при повороте ручки одновременно замыкаются или размыкаются три однопроводных цепи.

Для уменьшения искрообразования служат фибровые шайбы 5, находящиеся в одной плоскости с подвижными контактами и поворачивающиеся вместе с ними. Если при размыкании контактов возникает электрическая дуга, она разлагает фибру с выделением водорода, углекислого газа и воды, что способствует гашению дуги. Этой же цели служит находящийся под крышкой выключателя пружинный механизм, уменьшающий время размыкания.

#### Командоаппараты

Командоаппараты — это устройства, с помощью которых осуществляется дистанционное управление электрическими машинами и аппаратами в схемах автоматизации электропривода. В зависимости от устройства и действия включающих и переключающих контактов командоаппараты подразделяются на кнопочные и вращающиеся. К командоаппаратам относятся кнопки управления, контроллеры, путевые и конечные выключатели.

**Кнопки управления** предназначены для дистанционного управления электромагнитными аппаратами. В кнопочный элемент входят металлические контакты и пластмассовая кнопка; кнопки снабжаются надписями и окрашиваются в различные цвета (кнопка «Стоп» — обычно в красный). Кнопки управления подразделяются по способу защиты (открытые, защищенные, пыленепроницаемые, взрывозащищенные), по величине допустимого продолжительного тока нагрузки (не более 15 А), допустимого тока, разрываемого в цепи с индуктивностью (не более 20 А), и допустимого тока включения (не более 60 А).

**Контроллеры** — это устройства, служащие для включений и переключений резисторов при пуске, регулировании в изменении направления вращения электродвигателей. В отличие от многополюсных рубильников и пакетных выключателей, контроллеры замыкают и размыкают разные цепи не одновременно, а в установленной последовательности.

**Путевые и конечные выключатели** — это контакты, замыкаемые и размыкаемые каким-либо передвигающимся объектом (например, подъемным сосудом в шахтном подъемнике).

#### Контакторы

Контактор (рис. 3.12) — это электромагнитное устройство, предназначенное для частых (до 1500 раз в 1 ч) включений и выключений под нагрузкой силовой электрической цепи при напряжении до 1000 В. Контактор осуществляет также нулевую защиту двигателя, т. е. отключает его от сети, когда напряжение падает до 50—60% своего номинального значения; при повторной подаче выключенного напряжения сам не включается.

При замыкании кнопки «Пуск» через обмотку электромагнита 4 проходит ток, якорь 3 притягивается к сердечнику 7 и поворачивает изолированный валик 1, на котором укреплены подвиж-

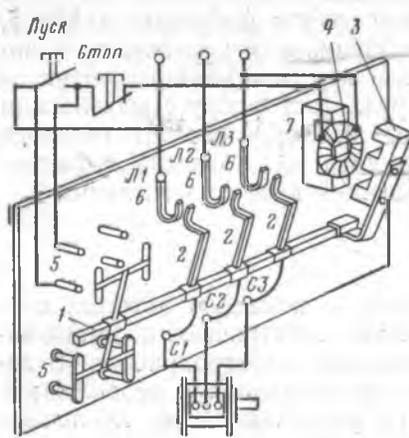
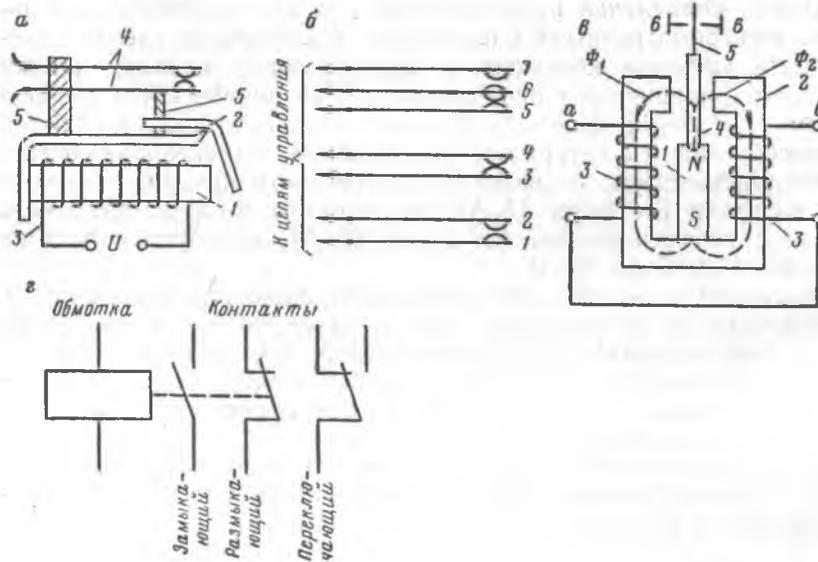


Рис. 3.13. Электромагнитное реле:  
 а — принцип устройства неполяризованного реле; б — контактные пружины; в — принцип устройства поляризованного реле; г — условные обозначения



ные контакты 2; последние замыкаются с неподвижными контактами 6, и на двигатель подается трехфазное напряжение. Одновременно замыкаются блок-контакты 5, благодаря чему пусковая кнопка может быть опущена. При нажатии на кнопку «Стоп» ток в обмотке электромагнита исчезает, якорь отпадает, контакты 6 размыкаются, и двигатель отключается от сети. То же происходит при уменьшении напряжения сети до 50—60% своего номинального значения. При восстановлении напряжения двигатель не запускается, пока не будет нажата пусковая кнопка.

## Реле

Электромагнитные реле в зависимости от принципа работы подразделяются на электромагнитные, магнитоэлектрические, электродинамические, индукционные и тепловые. Наибольшее распространение получили электромагнитные реле.

*Неполяризованное электромагнитное реле* (рис. 3.13, а) состоит из неподвижного железного сердечника 1, подвижного железного якоря 2, обмотки 3, контактных пружин 4 и изоляционных штифтов 5. При отсутствии тока в обмотке сердечник размагничивается, якорь к нему не притянут, и контактные пружины разомкнуты. При поступлении тока в обмотку сердечник намагничивается и притягивает к себе якорь. Когда сила притяжения превысит оттягивающую силу пружины, реле срабатывает, т. е. якорь переместится к сердечнику, замыкая при этом контактные пружины. При прекращении тока сердечник размагничивается, и в определенный момент реле отпускает якорь, и контактные пружины возвращаются в исходное положение. Работа неполяризованного реле не зависит от направления тока, проходящего через его обмотку.

Реле может иметь несколько групп контактных пружин (рис. 3.13, б). При срабатывании реле пружины 1—2 замыкаются, пружины 3—4 размыкаются, а пружины 5—6—7 переключаются: пружина 6 размыкается с 5 и замыкается с 7.

*Поляризованное электромагнитное реле* (рис. 3.13, в) состоит из постоянного магнита 1, создающего магнитные потоки  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , железного сердечника 2, двух обмоток 3, подвижного железного якоря 4 с гибким медным язычком 5 и неподвижных контактов 6. Поляризованные реле обычно регулируются нейтрально, контакты удалены от линии, проходящей посередине между полюсами сердечника, на одинаковые расстояния. При нейтральной регулировке и отсутствии тока в обмотке язычок реле может находиться у любого из контактов. Если язычок перевести, например, к левому контакту, то воздушный зазор между якорем и левым полюсом сердечника уменьшится, а зазор между якорем и правым полюсом увеличится, что приведет к увеличению магнитного потока  $\Phi_1$  и уменьшению потока  $\Phi_2$ . В результате сила притяжения левого полюса увеличится, а правого — уменьшится, и якорь переместится до упора язычка в левый контактный винт. В этом положении якорь останется, пока его не переведут к правому контакту.

Работа поляризованного реле зависит от направления тока, проходящего через его обмотки. Если ток проходит в направлении от зажима а к зажиму б, то, пользуясь правилом правой руки, можно определить, что магнитный поток, созданный током в левом стержне сердечника, направлен против постоянного магнитного потока  $\Phi_1$ , а в правом стержне сердечника — в том же направлении, что и постоянный магнитный поток  $\Phi_2$ . В результате сила притяжения левого полюса уменьшится, а правого полюса увеличится и якорь переместится до упора язычка в правый кон-

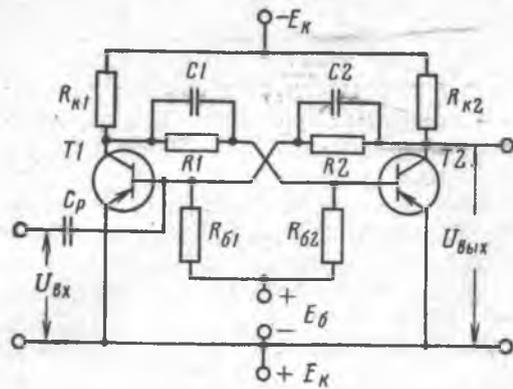


Рис. 3.14. Симметричный триггер на транзисторах

контактный винт. При прекращении тока якорь не возвращается в исходное положение, как в неполяризованном реле, а остается у правого контакта. Для переброски язычка к левому контакту через обмотку реле надо пропустить ток противоположного направления, т. е. от зажима б к зажиму а.

Поляризованные реле срабатывают быстрее и от меньших токов, чем неполяризованные.

## Триггеры

Триггеры могут выполняться на электронных лампах, транзисторах или туннельных диодах по симметричным и несимметричным схемам. Наибольшее применение получил симметричный триггер на транзисторах (рис. 3.14).

При отсутствии запускающего сигнала всегда один из транзисторов триггера закрыт, а второй открыт. Предположим, что закрыт транзистор  $T1$ . Тогда ток через  $R_{к1}$  не протекает, и при определенном подборе резисторов делителя  $R_1 R_2$  потенциал базы транзистора  $T2$  может быть достаточно отрицательным для его насыщения. При этом напряжение между коллектором и эмиттером  $T2$  близко к нулю, а следовательно  $U_{вых} = 0$ . Благодаря этому и наличию источника  $E_б$  потенциал базы  $T1$  может быть только положительным, т. е. транзистор  $T1$  действительно закрыт. В таком состоянии триггер может находиться неограниченное время.

При поступлении запускающего отрицательного импульса на базу  $T1$  этот транзистор приоткрывается, в его коллекторной цепи появляется ток, создающий падение напряжения на  $R_{к1}$ . Благодаря этому потенциал базы  $T2$  становится менее отрицательным, что приводит к уменьшению коллекторного тока  $T2$ . Это, в свою очередь, вызывает уменьшение падения напряжения на  $R_{к2}$ , благодаря чему потенциал базы  $T1$  становится более отрицательным, что приводит к еще большему увеличению коллекторного тока  $T1$  и т. д. Этот процесс развивается лавинообразно и завершается переходом в режим насыщения транзистора  $T1$  и закрытием транзистора  $T2$ . В результате напряжение на выходных зажимах скачкообразно изменяется от минимального до максимального зна-

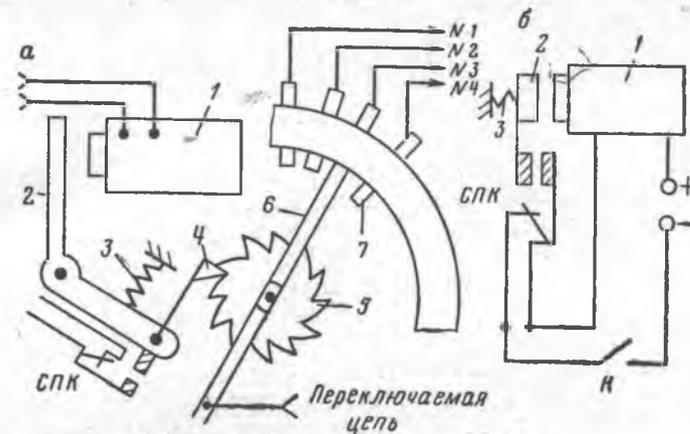


Рис. 3.15. Электромагнитный искатель:  
а — принцип устройства; б — схема включения самопрерывающихся контактов

чения. В новом состоянии устойчивого равновесия триггер будет находиться до поступления очередного запускающего импульса, который на этот раз должен быть положительным.

## § 4. РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Распределительные элементы предназначены для поочередного подключения одной какой-либо цепи к нескольким другим цепям; по принципу работы они подразделяются на электромеханические и электронные.

### Электромеханические распределители

Наибольшее распространение получили распределители с электромагнитным приводом, называемые также электромагнитными искателями (рис. 3.15). Когда обмотка электромагнита 1 обесточена, якорь 2 оттянут пружиной 3. При этом храповик 5 и насаженная с ним на одну ось щетка 6, находится в положении, изображенном на рис. 3.15, а, благодаря чему переключаемая цепь через щетку подсоединена к цепи №3.

При поступлении управляющего импульса в обмотку электромагнита 1 якорь 2 притягивается к сердечнику, и собачка 4, скользя по скошенной грани зуба, заскакивает за его вторую сторону; храповик при этом не поворачивается. Когда импульс тока в обмотке прекращается, якорь 2 оттягивается пружиной 3, собачка 4, упиравшись в нескошенную грань зуба, поворачивает храповик 5, а вместе с ним и щетку 6 на определенный угол. При этом щетка 6 переходит на очередной контакт 7, переключаемая цепь отсоединяется от цепи №3 и подключается к цепи №4. В этом

положении щетка остается до поступления следующего управляющего импульса и т. д.

Во избежание холостого хода на храповике укреплены не одна, а две диаметрально расположенные щетки; после того как первая щетка сходит с последнего контакта, вторая щетка замыкается с первым контактом.

Если обмотку электромагнита соединить последовательно с самопрерывающимися контактами *СПК* и источником тока (рис. 3.15, б) и замкнуть ключ *К*, искатель будет работать в другом режиме. Когда якорь оттянут, контакты *СПК* замкнуты, и через них в обмотку электромагнита поступает импульс тока; при этом электромагнит срабатывает, якорь притягивается и размыкает контакты *СПК*, благодаря чему обмотка обесточивается, якорь оттягивается, снова замыкает *СПК*, электромагнит опять срабатывает и т. д. Таким образом, щетка передвигается с контакта на контакт до тех пор, пока управляющая цепь не будет отключена от источника тока.

### Электронные распределители

Электронные распределители, называемые также электронными коммутаторами, не имеют механических контактов; они могут собираться на электронных лампах или транзисторах, а также на феррит-диодных или феррит-транзисторных ячейках.

Управляющий импульс тока, поступающий на вход электронного коммутатора, открывает его первый элемент (т. е. лампу или транзистор). При этом общий вход коммутатора через открытый элемент, сопротивление которого в этом случае близко к нулю, подключается к первому каналу. Когда управляющий импульс заканчивается, первый элемент запирается, его сопротивление становится близким к бесконечности, и общий вход отключается от первого канала. При поступлении следующего управляющего импульса открывается второй элемент коммутатора, через который общий вход соединяется со вторым каналом и т. д.

### § 5. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Исполнительные элементы предназначены для исполнения тех или иных команд, т. е. для углового или линейного перемещения управляемых объектов. В качестве исполнительных элементов наиболее часто применяются электродвигатели; довольно широкое применение имеют сельсины и электромагнитные устройства.

#### Электродвигатели

Среди электродвигателей, применяемых в качестве исполнительных элементов, наибольшее распространение получил *двигатель постоянного тока с независимым возбуждением* (рис. 3.16), у которого управляющее напряжение подается на обмотку якоря.

Обычно напряжение управления подается с выхода усилителя (рис. 3.16, а) или через контакты реле (рис. 3.16, б). При изменении полярности напряжения сигнала изменяется направление тока в якоре, что при неизменном направлении магнитного потока приводит к реверсированию, т. е. к изменению направления вращения якоря. При плавном изменении величины и полярности напряжения управления реверсирование двигателя осуществляется также плавно.

На рис. 3.16, в приведена схема исполнительного двигателя постоянного тока с *последовательным возбуждением*. В этом двигателе магнитный поток создается током, проходящим по обмотке якоря и по обмотке возбуждения, благодаря чему двигатель обладает большим пусковым моментом и широко применяется на транспорте и в подъемных устройствах.

Из машин переменного тока наиболее удобен в качестве исполнительного элемента *двухфазный исполнительный двигатель*, в том числе двигатель типа РД-9 (рис. 3.17). На статоре 1 размещены две обмотки, сдвинутые относительно друг друга на  $90^\circ$ , — обмотка возбуждения 3 и обмотка управления 4. Ротор 2 выполнен в виде медных стержней, замкнутых на торцах медными кольцами.

Как показано на рис. 3.17, б, обе обмотки питаются от одной и той же сети переменного тока; благодаря конденсатору, включенному в обмотку управления, токи в обмотках сдвинуты по фазе на одну четверть периода. Эти токи создают *вращающийся магнитный поток*, пересекающий стержни короткозамкнутого ротора.

Пусть в какой-то момент времени  $t_1$  ток в обмотке возбуждения  $I_b$ , протекая в направлении, показанном на рис. 3.17, в, достиг своего максимального значения; ток в обмотке управления  $I_y$  в этот же момент времени равен нулю. Пользуясь правилом буравчика, определяем направление магнитного потока  $\Phi$ , созданного током  $I_b$ . Как видно из рис. 3.17, в, в момент  $t_1$  магнитный поток  $\Phi$  внутри статора направлен справа налево. В момент времени  $t_2$  ток в обмотке управления  $I_y$  достигает своего максимального значения, а ток в обмотке возбуждения  $I_b$  равен нулю. Пользуясь тем же методом, определяем, что магнитный поток  $\Phi$  направлен внутри статора снизу вверх. Через четверть периода, в момент  $t_3$ , магнитный поток направлен слева направо, еще через четверть периода, в момент  $t_4$  — сверху вниз и т. д.

Таким образом, внутри статора создается магнитный поток, вращающийся в направлении по часовой стрелке. При вращении этот поток, пересекая стержни короткозамкнутого ротора, индуцирует в них э. д. с., в роторе возникает ток, создается вращающий момент, и ротор начинает вращаться в том же направлении, что и магнитный поток. Изменение направления вращения ротора осуществляется переключением концов одной из обмоток, например обмотки управления, или изменением фазы тока в этой обмотке на  $180^\circ$  другим путем. При этом изменяется направление вращения магнитного потока, а следовательно, и направление вращения ротора.

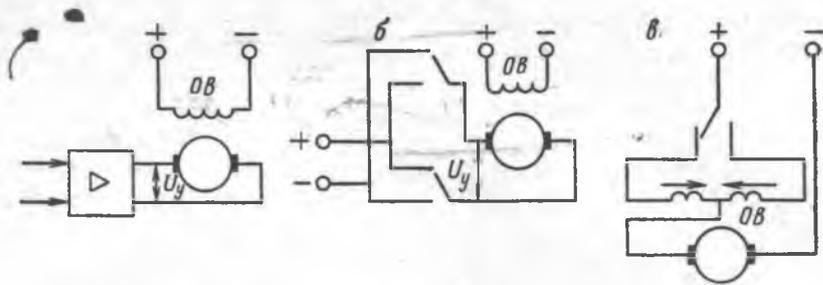


Рис. 3.16. Схемы включения исполнительных двигателей постоянного тока: а — двигатель с независимым возбуждением, подключенный к выходу электронного усилителя; б — двигатель с независимым возбуждением, управляемый с помощью реле; в — двигатель с последовательным возбуждением, управляемый с помощью реле

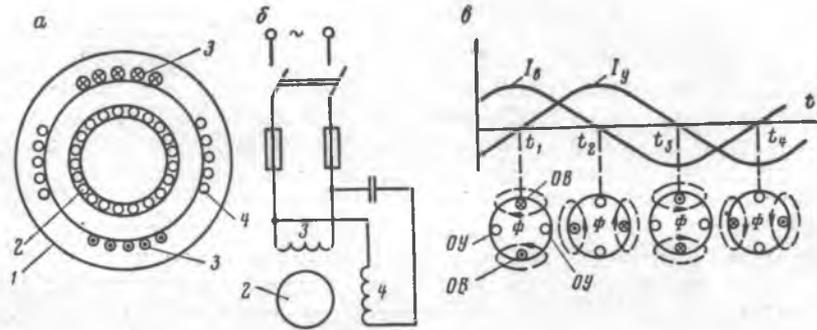


Рис. 3.17. Двухфазный исполнительный двигатель переменного тока: а — принцип устройства; б — схема включения; в — графическое пояснение принципа создания вращающегося магнитного потока

Регулирование скорости происходит за счет изменения напряжения управления при неизменном напряжении возбуждения.

Для остановки ротора достаточно выключить ток в обмотке управления. Хотя по обмотке возбуждения в этом случае ток продолжает протекать, но создаваемый им магнитный поток не является вращающимся, и ротор останавливается.

### Сельсины

Сельсинами называют малогабаритные электрические машины, обладающие свойством самосинхронизации, т. е. автоматического поворота ротора одной машины на такой же угол, на какой поворачивается ротор другой машины, связанной с первой электрической линией. В измерительных установках и автоматике сельсины используются для дистанционной передачи угловых перемещений деталей, механически не связанных друг с другом, а также для измерения угла рассогласования. Они подразделяются на контактные и бесконтактные.

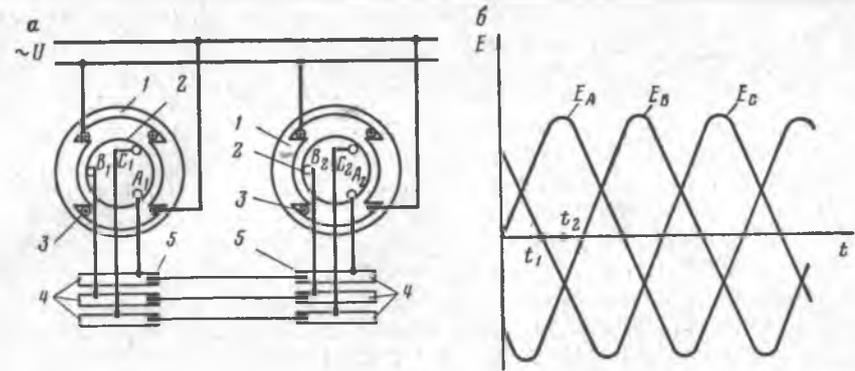


Рис. 3.18. Контактные сельсины: а — принцип устройства и схема включения; б — э. д. с., индуцированные в обмотках синхронизации

На рис. 3.18 показана пара контактных сельсинов: сельсин-датчик и сельсин-приемник. По устройству они не отличаются друг от друга. В сельсине-датчике угловое перемещение какой-либо детали приводит к повороту механически связанного с этой деталью ротора. Поворот ротора сельсина-датчика вызывает такой же поворот ротора сельсина-приемника, соединенного с сельсином-датчиком трехпроводной электрической линией, а это, в свою очередь, приводит к угловому перемещению детали, механически связанной с ротором сельсина-приемника.

Каждый сельсин состоит из статора 1 с двумя выступающими полюсами и ротора 2. На статоре размещена однофазная обмотка возбуждения 3, причем обмотки возбуждения сельсина-датчика и сельсина-приемника должны питаться от одной и той же сети переменного тока. В пазах ротора размещены три обмотки синхронизации А, В, С, сдвинутые относительно друг друга на  $120^\circ$ ; концы этих обмоток соединены в общую точку внутри ротора, а начала выведены на медные кольца 4, контактирующие с угольными щетками 5. Щетки сельсина-датчика и сельсина-приемника соединены между собой трехпроводной линией.

Переменный ток, проходящий по обмотке возбуждения, создает внутри статора магнитный поток, который, пронизывая обмотки синхронизации, индуцирует в них э. д. с.  $E_A$ ,  $E_B$  и  $E_C$ , сдвинутые по фазе относительно друг друга на  $120^\circ$  (рис. 3.18, б). Пусть в какой-то момент времени  $t_1 E_A$  имеет положительное значение  $E_B$  — отрицательное значение, а  $E_C = 0$ . Если ротор сельсина-датчика занимает такое же положение, как ротор сельсина-приемника, то индуцированные в его обмотках э. д. с. имеют такие же значения. Поэтому разность потенциалов между началами одноименных обмоток ротора сельсина-датчика и ротора сельсина-приемника равна нулю, ток в линии и в роторных обмот-

ках отсутствует, вращающий момент не создается, и роторы остаются неподвижными.

Если ротор сельсина-датчика повернуть, например, на  $30^\circ$ , то э. д. с., индуцированные в его обмотках, изменяют свою фазу. Теперь в один и тот же момент времени значения э. д. с., индуцированных в обмотках ротора сельсина-датчика, будут такими, как показано на рис. 3.18, б в точке  $t_2$ , а значения э. д. с., индуцированных в обмотках ротора сельсина-приемника, остаются (пока ротор не сдвинулся с места) такими же, как и раньше (точка  $t_1$ ). В результате между началами роторных обмоток возникает разность потенциалов, и по соединительным проводам и обмоткам потекут токи в направлении от точек с более высокими потенциалами к точкам с низшими потенциалами, т. е. от  $A_2$  к  $A_1$ , от  $B_2$  к  $B_1$  и от  $C_1$  к  $C_2$ . Появление токов в роторных обмотках приводит к возникновению моментов. Для ротора сельсина-датчика этот момент будет тормозящим, а для ротора сельсина-приемника — вращающим. В результате ротор сельсина-приемника будет поворачиваться до тех пор, пока не исчезнет вращающий момент. А это произойдет тогда, когда ротор сельсина-приемника займет такое же положение, как ротор сельсина-датчика, приведет к совпадению по фазе э. д. с., индуцированных в одноименных обмотках этих роторов, и к исчезновению токов. В конечном счете ротор сельсина-приемника повернется почти на такой же угол, как ротор сельсина-датчика, хотя поворот всегда будет меньше, чем требуется, на угол рассогласования, составляющий  $0,25-0,75^\circ$ .

Описанный выше режим работы сельсинов называется *индикаторным*. Пара сельсинов может работать и в *трансформаторном* режиме. В этом случае однофазная обмотка сельсина-приемника отключается от сети, и в этой обмотке индуцируется э. д. с., пропорциональная углу поворота ротора сельсина-датчика, которая может использоваться для измерения угла рассогласования командной и исполнительной осей.

Недостатком этих сельсинов является возможность загрязнения и искрения контактов.

В *бесконтактных* сельсинах (рис. 3.19) все обмотки расположены на статоре, а ротор обмоток не имеет и выполняется в виде двух магнитопроводов 3, разделенных немагнитной прокладкой 4. Магнитная проницаемость магнитопровода 3 в направлении, совпадающем с направлением их штриховки, во много раз больше, чем во всех других направлениях.

Магнитный поток возбуждения, создаваемый однофазной обмоткой, намотанной на ферромагнитные вкладыши 2, пронизывает ротор и витки трех неподвижных обмоток синхронизации 1, расположенных в пазах кольцевого вкладыша 5 статора. Когда под воздействием внешнего усилия происходит поворот ротора, вместе с ним поворачиваются магнитопроводы 3, что приводит к изменению угла, под которым магнитный поток возбуждения пронизывает витки обмоток 1. В результате за один оборот ротора

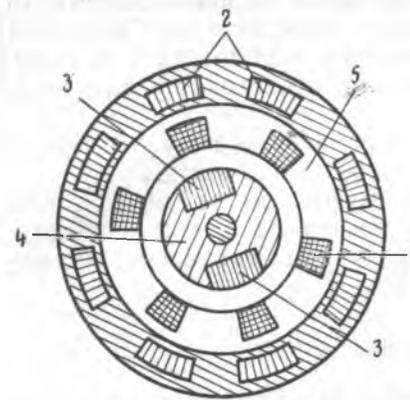


Рис. 3.19. Принцип устройства бесконтактного сельсина

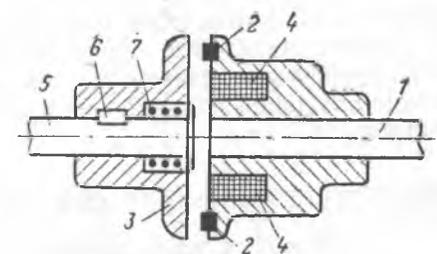


Рис. 3.20. Электромагнитная фрикционная муфта

в каждой из обмоток 1 индуцируется один полный период э. д. с., а так как обмотки размещены на статоре под углом  $120^\circ$  друг к другу, то и индуцируемые в них э. д. с. сдвинуты по фазе одна от другой на  $120^\circ$ . В остальном принцип действия контактных и бесконтактных сельсинов одинаков.

Отсутствие контактов повышает надежность сельсинов и позволяет применять их во взрывоопасных местах.

### Электромагниты

Принцип устройства и работы неполяризованного электромагнита рассмотрен в § 3 данной главы. Якорь электромагнита можно соединить с каким-либо управляемым объектом, и тогда при срабатывании и отпуске электромагнита будет происходить линейное перемещение этого объекта. Следовательно, электромагнит может использоваться как исполнительный элемент.

*Электромагнитная фрикционная муфта* (рис. 3.20) работает по такому же принципу, как электромагнит. Она состоит из двух полумуфт, одна из которых жестко укреплена на ведущем валу 1; в ее пазах размещена обмотка электромагнита 4, концы которой через кольца контактируют с неподвижными щетками (на рис. 3.20 не показаны). На рабочей поверхности ведущей полумуфты укреплены фрикционные шайбы 2. Вторая полумуфта укреплена с помощью шпонки 6 на ведомом валу 5 и может перемещаться вдоль его оси. Часть корпуса этой полумуфты образует тарельчатый якорь 3.

При отсутствии тока в обмотке 4 пружина 7 отжимает ведомую полумуфту влево, благодаря чему вращение ведущего вала 1 не передается ведомому валу 5. Когда в обмотку 4 поступает импульс тока, сердечники электромагнита намагничиваются и притягивают якорь 3, который передвигается вправо до упора в фрикционные

шайбы 2. При этом происходит сцепление, ведомая полумуфта начинает вращаться и через шпонку 6 передает свое вращение ведомому валу 5. При прекращении тока в обмотках 4 ведомая полумуфта пружиной 7 сдвигается влево, происходит расцепление и ведомый вал останавливается.

Таким образом, с помощью электромагнитной муфты можно обеспечить угловое перемещение управляемого объекта.

Электромагнитные фрикционные муфты могут быть также многодисковыми. Некоторые из них позволяют изменять направление вращения ведомой оси при неизменном направлении вращения ведущей оси.

## § 6. СЧЕТЧИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ

Преобразуя в электрические импульсы параметры неэлектрических процессов, можно подсчитать различные предметы, частоту вращения, число ударов и т. п.

Основным показателем счетчика является его разрешающая способность, показывающая максимальное число импульсов, которое счетчик может регистрировать за 1 с. Электромеханические счетчики обладают малой разрешающей способностью — несколько десятков импульсов в 1 с. Для счета импульсов с большой частотой следования перед электромеханическим счетчиком ставят пересчетную электронную схему или применяют счетчики на газоразрядных приборах — декатронах.

### Электромеханический счетчик (ЭМС)

ЭМС состоит из электромагнита и счетного механизма, имеющего указатель стрелочного или барабанного типа. Каждый подсчитываемый импульс тока вызывает притяжение якоря электромагнита, который поворачивает храповое колесо и перемещает указатель на единицу счета. Если ЭМС потребляет большую мощность, то для обеспечения нормальной работы его включают на выход схемы, которая может создать достаточно мощный импульс тока. Обычно для этой цели применяются схемы с тиратронами или мощные выходные каскады усилителей.

ЭМС уверенно регистрируют импульсы тока с частотой их следования до  $50 \text{ с}^{-1}$ . При большей частоте следования появляются просчеты импульсов.

### Пересчетная электронная схема

Включение ЭМС в пересчетную схему показано на рис. 3.21.

Пересчетная схема (рис. 3.21, а) состоит из ряда последовательно соединенных ячеек, каждая из которых содержит триггер и дифференциальную схему. Триггеры всех ячеек срабатывают только от импульсов одной полярности, например положительной. Дифференциальная схема преобразует прямоугольный импульс,

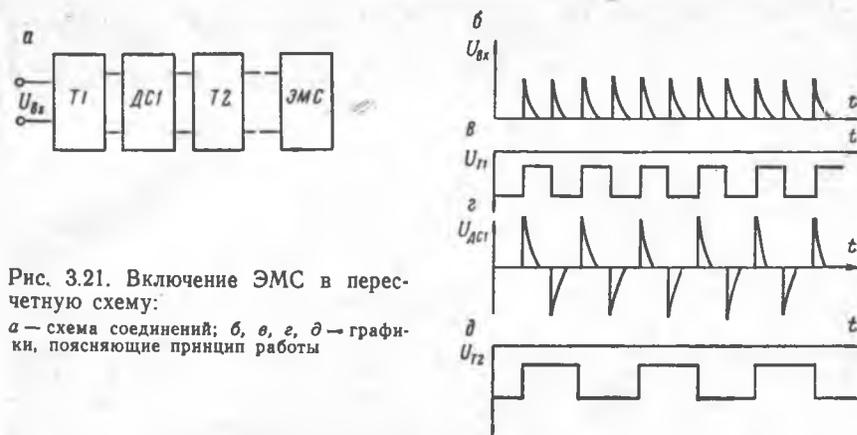


Рис. 3.21. Включение ЭМС в пересчетную схему:

а — схема соединений; б, в, г, д — графики, поясняющие принцип работы

поступающий с триггера, в два остроугольных импульса противоположной полярности.

На рис. 3.21, б показаны импульсы, поступающие на вход пересчетной схемы. Каждая пара импульсов дважды опрокидывает первый триггер, в результате чего на его выходе формируется один прямоугольный импульс (рис. 3.21, в). Эти импульсы поступают на вход первой дифференциальной схемы  $DC_1$ , которая превращает один прямоугольный импульс в два остроугольных импульса противоположной полярности (рис. 3.21, г), подающихся на второй триггер. Но так как в этой схеме триггер срабатывает только от положительных импульсов, то частота прямоугольных импульсов второго триггера будет в два раза меньше, чем первого триггера (рис. 3.21, д). Частота опрокидывания третьего триггера будет в два раза меньше, чем второго, или в четыре раза меньше, чем первого, и т. д. Следовательно, коэффициент пересчета

$$K = 2^n, \quad (3.3)$$

где  $n$  — число ячеек.

Например, если пересчетная схема имеет три ячейки, то  $K = 2^3 = 8$ ; при поступлении на вход этой схемы импульсов с частотой следования  $400 \text{ с}^{-1}$  на электромеханический счетчик будет подаваться  $400/8$ , т. е. 50 импульсов, в 1 с.

## Глава 4

### ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ И РАЗРЕЖЕНИЯ

#### § 1. МАНОМЕТРЫ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО ТИПА

*Давлением* называется величина, выражающая отношение силы к единице площади.

В международной системе единиц (СИ) за единицу давления принята сила в один ньютон, действующая на поверхность в  $1 \text{ м}^2$  (Па).

Для технических измерений в виде исключения на приборах применяют следующие внесистемные единицы давления.

1. Техническая атмосфера или килограмм-сила на квадратный сантиметр (кгс/см<sup>2</sup>).
  2. Физическая атмосфера (кгс/см<sup>2</sup>).
  3. Миллиметр ртутного столба (мм рт. ст).
  4. Миллиметр водяного столба (мм вод. ст).
- Соотношения между единицами давления приведены в табл. 2.

Таблица 2  
Соотношения между единицами измерения давления

Единицы измерения давления	Ньютон на квадратный метр (Па)	Физическая атмосфера (кгс/см <sup>2</sup> )	Техническая атмосфера (кгс/см <sup>2</sup> )	Миллиметр ртутного столба (мм рт. ст)	Миллиметр водяного столба (мм вод. ст)
Ньютон на квадратный метр (Па)	1	$9,87 \cdot 10^{-6}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$7,8 \cdot 10^{-3}$	0,102
Физическая атмосфера (кгс/см <sup>2</sup> )	$1,013 \cdot 10^5$	1	1,033	760	10 332
Техническая атмосфера (кгс/см <sup>2</sup> )	98 066	0,968	1	735,56	10 000
Миллиметр ртутного столба (мм рт. ст)	133,322	0,00131	0,00136	1	13,6
Миллиметр водяного столба (мм вод. ст)	9,807	0,0000968	0,0001	0,0736	1

Различают следующие виды давления: атмосферное, или барометрическое ( $p_b$ ), избыточное ( $p$ ), абсолютное ( $p_a$ ) и разрежение ( $p_p$ ) (при определенных значениях — вакуум).

Барометрическое, или атмосферное, давление — давление окружающего воздуха (переменная величина).

С удалением от поверхности земли атмосферное давление снижается до глубокого вакуума.

Избыточное давление — разность между абсолютным давлением и барометрическим:

$$p = p_a - p_b \quad (4.1)$$

Абсолютное давление — полное давление, под которым находится вещество (равное сумме барометрического и избыточного):

$$p_a = p_b + p. \quad (4.2)$$

Разрежением называют разность между барометрическим и абсолютным давлением:

$$p_p = p_b - p_a. \quad (4.3)$$

Вакуум — глубокое разрежение — менее 66650 Па.

Приборы для измерения давления классифицируются по следующим признакам.

#### По роду измеряемой величины

Барометры — для измерения атмосферного давления.

Манометры, микроманометры, напоромеры — для измерения избыточного давления.

Мановакуумметры — для измерения избыточного давления и вакуума.

Вакуумметры, тягомеры — для измерения разрежения и вакуума.

Дифференциальные манометры — для измерения разности давлений.

#### По принципу действия

Жидкостные, пружинные, поршневые, радиоактивные, пьезоэлектрические и тензометрические.

На горно-буровых работах чаще применяют пружинные и электрические манометры.

#### Пружинные манометры

Для измерения избыточного давления, разрежения и вакуума наибольшее распространение в технике получили пружинные манометры. Они просты по устройству, дешевы и в обычных условиях работы надежны в эксплуатации. Чувствительными элементами этих приборов могут быть: серповидная трубчатая пружина (трубка Бурдона), многовитковая трубчатая пружина (геликс) и мембраны.

Общий принцип действия пружинных манометров состоит в том, что под действием измеряемого давления чувствительный элемент деформируется и посредством передаточно-множительного механизма деформация преобразуется в круговое движение стрелки вдоль шкалы. При этом перемещение стрелки будет пропорционально деформации чувствительного элемента, а следовательно, и измеряемому давлению.

Манометр с серповидной трубчатой пружиной (рис. 4.1). Чувствительный элемент — трубчатая пружина — изготавливается из фосфористой (иногда бериллиевой) бронзы или латуни, а для давлений свыше 19,60 МПа — из стали.

Трубчатая пружина 1 одним концом впаяна в держатель 2, заканчивающийся ниппелем 3 с резьбой, а второй конец закрыт пробкой, запаян и шарнирно связан с передаточно-множительным механизмом. В состав этого механизма входят поводок 4, сектор 5 и трибка 6, на ось которой одета стрелка 7. Для устранения «мертвых» ходов (люфтов) служит спиральная пружина. Действие

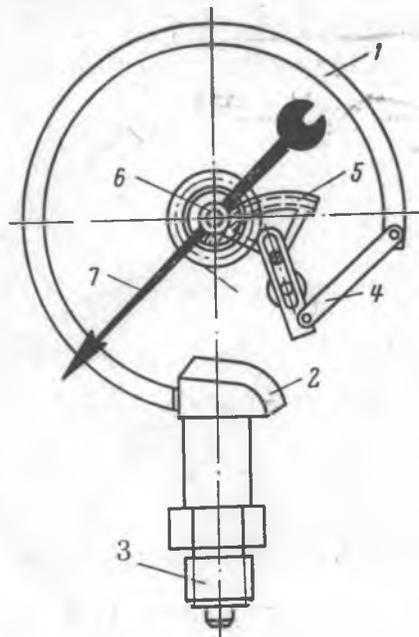


Рис. 4.1. Манометр с серповидной трубчатой пружиной

прибора основано на том, что полая трубчатая пружина, имеющая форму овала, под действием внутреннего давления стремится принять цилиндрическую форму и одновременно из серповидной стать прямолинейной. Раскручиваясь, пружина посредством передаточно-множительного механизма воздействует на стрелку.

Практически трубка под действием измеряемого давления цилиндрической никогда не становится, а величина ее раскручивания не превышает  $10^\circ$ . Класс точности рабочих манометров — 1,5; 2,5; 4.

Манометры для измерения давления газов по конструкции не отличаются от манометров для измерения давления жидкостей, но имеют некоторые особенности. Так, один и тот же манометр нельзя использовать для измерения давления горючих и негорючих газов. С этой целью циферблаты манометров окрашиваются в разные цвета, и на них делается надпись — название газа.

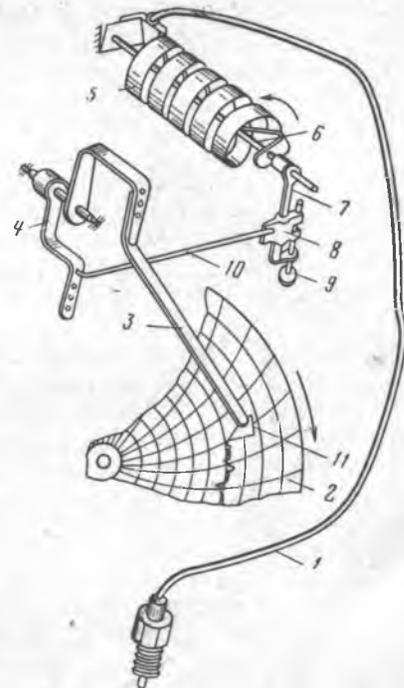
Манометры для измерения давления кислорода тщательно обезжириваются, так как соединение масла с кислородом приводит к взрыву. На циферблате этих манометров делается надпись: «Кислород, маслоопасно».

Вакуумметры имеют конструкцию, аналогичную манометру с трубчатой пружиной (могут быть сильфонные и мембранные), с той лишь разницей, что конец пружины при измерении вакуума не раскручивается, а наоборот, закручивается. Это происходит вследствие того, что атмосферное давление более высокое, чем давление внутри трубки, сплющивает ее в еще большей степени, а следовательно, и закручивает свободный конец трубки. Шкала вакуумметра отградуирована в мм рт. ст.

Мановакуумметрами измеряются давления больше и меньше атмосферного. Правая часть делений шкалы такого прибора служит для измерения давления, а левая — для разрежения. Соответственно правая часть шкалы проградуирована в единицах давления ( $\text{кгс/см}^2$ ), а левая — в единицах разрежения (мм рт. ст).

Электроконтактные манометры (ЭКМ). Для измерения давления и разрежения и одновременно для сигнализации о достижении измеряемым параметром минимально или макси-

Рис. 4.2. Манометр с многовитковой трубчатой пружиной



мально допустимого значения применяют манометры с электрическими контактами (ЭКМ).

Измерительная система такого манометра аналогична манометру с трубчатой пружиной. Но помимо одной показывающей стрелки такие манометры имеют еще две стрелки-уставки с электрическими контактами. Положение этих стрелок может меняться оператором путем поворота головки, выведенной за защитное стекло наружу. Обычно одна стрелка-уставка устанавливается на минимально допустимое давление, а вторая — на максимально допустимое. В процессе измерений показывающая стрелка, поравнявшись с одной из стрелок-установок, замыкает контакты, в результате чего посылается импульс в сигнальное устройство или исполнительный механизм.

Класс точности этих манометров — 2,5.

Манометр с многовитковой трубчатой пружиной (рис. 4.2). Чувствительным элементом такого прибора является многовитковая трубчатая пружина — геликс, расположенная по спирали с числом витков от 2,5 до 20. В связи с тем что геликс представляет собой как бы ряд последовательно соединенных серповидных трубчатых пружин, свободный его конец может раскручиваться до  $50-60^\circ$ , что обеспечивает большую чувствительность и точность измерений. Класс точности таких приборов — 1,5.

Геликс 5 одним концом припаян к неподвижному основанию, а второй — свободный конец посредством планки связан с осью 6.

При подводе давления через капилляр 1 к геликсу последний раскручивается и поворачивает при этом ось. Вращение от оси 6 рычагом 7 и тягой 10 передается рычагу 4, жестко посаженному на одну ось со стрелкой 3. На конце стрелки закреплено перо 11, производящее записывать показания на диаграммном бланке 2. Вращение диаграммного бланка может производиться часовым механизмом или синхронным маломощным электродвигателем. Если нужно изменить размах пера при одном и том же давлении, то винтом 9 меняют положение ползуна 8 и тем самым соотношение плеч рычагов.

Манометры с трубчатой многовитковой пружиной могут быть показывающими, регистрирующими и с устройством для дистанционной передачи показаний по электрическим проводам.

**Мембранные манометры.** Эти приборы могут быть с плоской, плоскогофрированной, гармониковой (сильфоны) и корбочатой мембраной. Первый тип приборов применяют для измерения невысоких давлений до 2,45 МПа и разрежений 0 ÷ 0,1 МПа, что вызвано предельно допустимыми значениями остаточных деформаций чувствительного элемента, в качестве которого служит тонкая стальная мембрана с антикоррозионным покрытием. Будучи зажата между фланцами корпуса, она воспринимает одностороннее действие давления и при этом деформируется. Прогиб мембраны посредством передаточно-множительного устройства преобразуется в движение стрелки. Так как максимальное перемещение центральной части мембраны не превышает 1,5—2 мм, то передаточно-множительное устройство имеет большое передаточное число, что снижает чувствительность и точность измерений.

Манометры с плоско-гофрированной мембраной используют для измерения давления в агрессивных или с повышенной вязкостью средах.

Гофры могут быть круговой, трапецевидной и других форм. Наличие гофров снижает жесткость мембраны.

Значительно большая подвижность мембраны у сильфонов. В связи с этим их обычно используют для измерений низких давлений — от 29 420 Па до 0,49 МПа.

Сильфонный регистрирующий манометр (рис. 4.3) имеет вид цилиндрической гармоника 4, помещенной в закрытый корпус 2. К штуцеру 1 корпуса подводится измеряемое давление, с изменением которого сильфон сжимается или растягивается. Во внутреннюю полость сильфона, сообщающуюся с атмосферой, вставлена пружина 3, противодействующая его сжатию. В донную часть сильфона упирается шток 5, воздействующий через передаточно-множительное устройство 6, 7, 8 на стрелку прибора 9. Таким образом, измеряемое давление вызывает сжатие сильфона и в конечном счете — поворот стрелки. Сильфонные манометры выпускаются классов точности 1 и 1,5.

Коробчатые мембраны (анероиды) применяются для измерения избыточного давления, разряжения, атмосферного давления и разности давлений.

Чувствительным элементом этого прибора является тонкостенная коробка из упругого материала.

Изменение давления измеряемой среды вызывает соответствующее изменение прогиба мембранной коробки, что в свою очередь посредством передаточно-множительного механизма приводит в движение стрелку прибора.

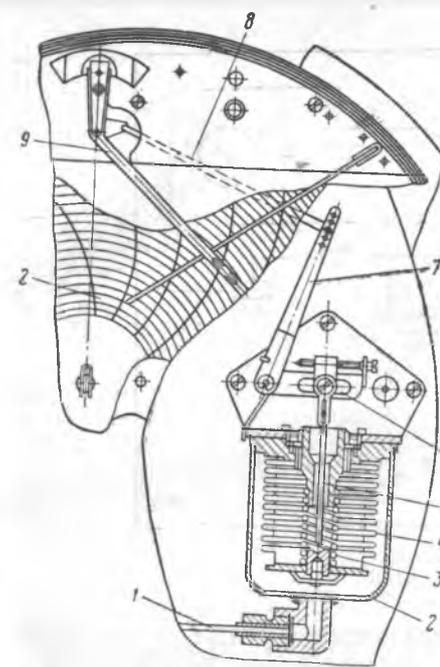


Рис. 4.3. Сильфонный регистрирующий манометр

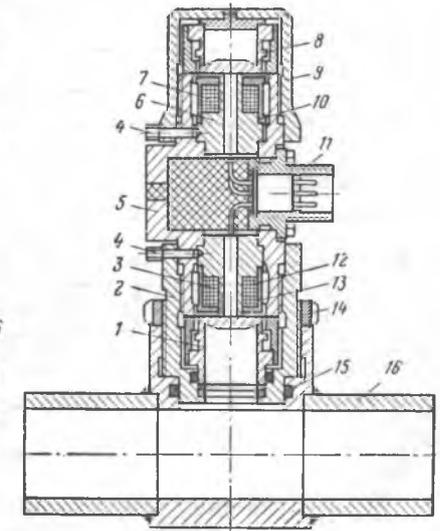


Рис. 4.4. Преобразователь давления ДДП и тройник в разрезе

### Электрические манометры

Электрические манометры могут быть созданы на основе изменения электрических параметров некоторых материалов под воздействием давления или путем преобразования механического воздействия измеряемой величины в электрический параметр при помощи специального преобразователя.

Так, под воздействием давления могут изменяться: активное сопротивление, магнитная проницаемость, индуктивность, емкость, электродвижущая сила (э. д. с.).

Следовательно, на одном из указанных принципов и может быть создан электрический манометр.

Рассмотрим устройство и принцип действия одного из электрических манометров — МИД, основанных на изменении магнитной проницаемости при изменении давления, т. е.  $\mu = f(p)$ .

### Магнитоупругий измеритель давления МИД

Прибор предназначен для визуального наблюдения за давлением промысловой жидкости при разведочном колонковом бурении. Этот прибор наиболее целесообразно применять в тяжелых условиях работы: больших пульсациях жидкости, гидравлических

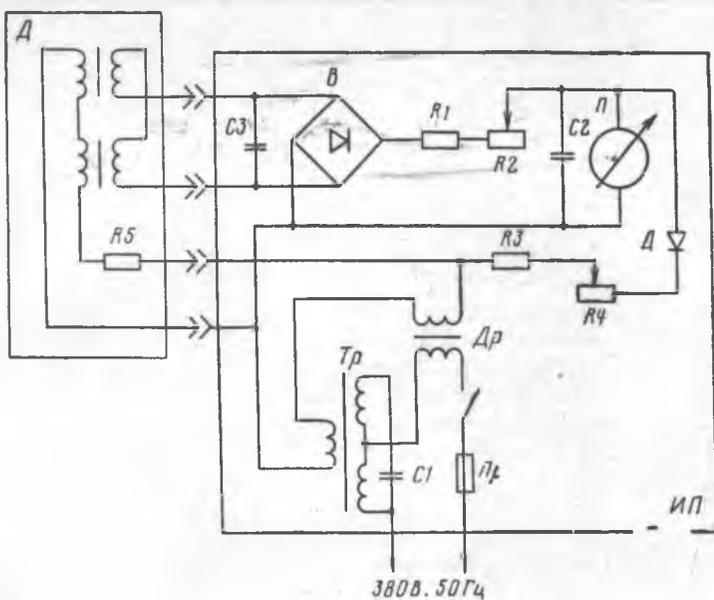


Рис. 4.5. Принципиальная электрическая схема измерителя МИД-1

перегрузках и вибрациях, где обычные пружинные манометры оказываются малонадежными.

Надежность работы этого прибора и получение усредненных значений давления при значительной пульсации жидкости достигаются благодаря применению магнитоупругого преобразователя, стойкого к гидравлическим перегрузкам в сочетании с особенностями электрической схемы вторичного прибора.

В состав прибора МИД входят: преобразователь, измерительный пульт, соединительный и силовой кабели.

Преобразователь давления ДДП (рис. 4.4) ввинчивается в тройник 16 нагнетательной магистрали и закрепляется гайкой 14. Между гайкой и тройником помещается уплотнительное кольцо 15.

Магнитоупругий преобразователь состоит из чувствительного 3 и компенсационного 6 элементов, запрессованных в корпус 5. Магнитопроводы 10 и 13, внутри которых размещены катушки 7 и 12, соединены между собой по дифференциально-трансформаторной схеме и подключены к штепсельному разъему 11. К торцам чувствительного и компенсационного элементов гайками 2 и 9 прижаты сильфоны 1 и 8. Положение гаек фиксировано штифтами 4.

Электрический сигнал от преобразователя Д (рис. 4.5) через выпрямитель В подается на показывающий прибор П (М325) измерительного пульта ИП.

Резистор R1, используется для частичной компенсации температурной погрешности, а резистор R2 — для установки нуля показывающего прибора.

Через резисторы R3, R4 и диод Д к показывающему прибору подводится компенсирующее напряжение противоположной полярности напряжению, подводимому от преобразователя через выпрямитель, что позволяет получить наименьшую погрешность при измерениях.

Емкость C2 обеспечивает демпфирование пульсаций выходного напряжения преобразователя, вызванных пульсацией давления жидкости в магистрали.

Измерительный пульт выпускается двух модификаций: МИД-1 и МИД-1А.

Для питания измерителя МИД-1 используется напряжение 380 В и в схему прибора включен феррорезонансный стабилизатор напряжения Tr; C1; Др. Прибор МИД-1А питается напряжением 36 В, и в его составе стабилизатора напряжения нет.

Техническая характеристика измерителей МИД-1, МИД-1А дана в табл. 3.

Таблица 3

Показатели	МИД-1	МИД-1А
Пределы измерения, МПа	0—4,9	0—9,8
Основная погрешность, %	±4	±4
Номинальное напряжение, В	380	360
Частота тока, Гц	50	50
Потребляемая мощность, В·А	6,0	1,0
Исполнение прибора	Пылебрызгозащитное	
Габаритные размеры, мм:		
преобразователя	91×175	91×175
пульта	254×180×145	215×160×150

## § 2. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МАНОМЕТРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В БУРЕНИИ

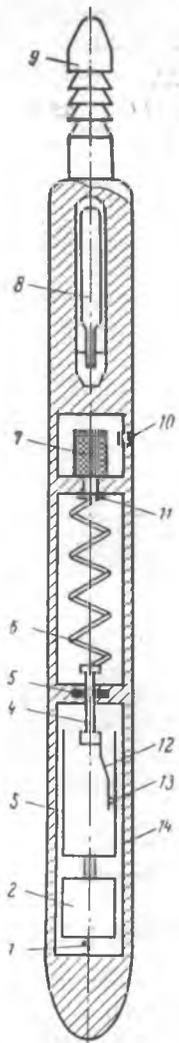
Помимо вышерассмотренных общепромышленных манометров, в практике разведочного и эксплуатационного бурения скважин применяются специальные приборы, в основу которых положен один из принципов общепромышленных манометров. Особенностью этих манометров является специфичность их конструкций, приспособленная к конкретным условиям работ.

### Глубинные манометры

Глубинные манометры применяют при бурении разведочных и эксплуатационных скважин на нефть и газ для замера и регистрации пластовых и забойных давлений.

Знание величин этих давлений позволяет решать следующие задачи:

- 1) определить зависимость дебита от депрессии на забое;



† Рис. 4.6. Поршневой глубинный манометр:

1,6 — пружины; 2 — часовой механизм; 3 — барабан; 4 — поршень; 5 — сальниковое уплотнение; 7 — фильтр; 8 — ртутный термометр; 9 — головка; 10 — канал; 11 — якорь; 12 — держатель; 13 — игла; 14 — корпус прибора

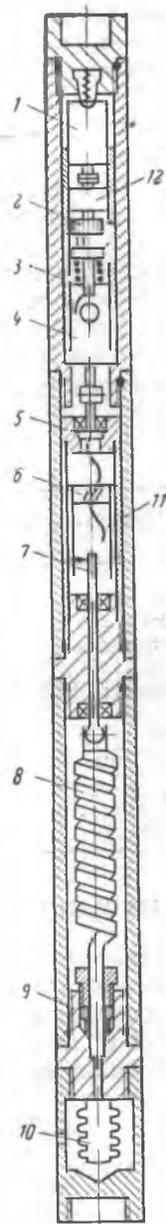


Рис. 4.7. Глубинный манометр с трубчатой многовитковой пружиной:

1 — часовой привод механизма задержки; 2 — лимб установки времени задержки; 3 — стопор баланса часов; 4 — часовой механизм записи; 5 — каретка; 6 — барабан с диаграммным бланком; 7 — игла; 8 — пружина; 9 — узел уплотнения; 10 — сильфонный разделитель; 11 — винт; 12 — редуктор

2) исследовать явления взаимного влияния скважин и тем самым определить гидропроводимость пласта;

3) составить карты изобар, по которым возможно прогнозирование изменения давления в различных точках пласта;

4) решить вопрос о глубине отбора пробы нефти и др.

Учитывая специфику работ, глубинные манометры должны отвечать следующим требованиям:

иметь малые наружные диаметры в связи с тем, что они помещаются внутри испытателей пластов или опускаются внутрь насосно-компрессорных труб;

иметь достаточно прочный и герметичный корпус прибора, способный выдерживать высокие гидростатические давления;

конструкция и материалы приборов должны быть подобраны с учетом возможности работы в скважинах с высокими температурами и в агрессивной среде.

Глубинные манометры классифицируются по следующим признакам.

1. По назначению — для измерения избыточного давления и дифференциальные.

2. По принципу действия — с многовитковой трубчатой пружиной и пружинно-поршневые.

3. По степени точности — 0,6 и 1,0 класса.

4. По способу передачи показаний — с местной регистрацией и дистанционные.

Поршневой глубинный манометр. Принципиальная схема поршневого глубинного манометра показана на рис. 4.6.

Измеряемое давление через канал 10, фильтр 7 и рабочую жидкость (спиртовой раствор шампуня или масло промышленное 50), заполняющую полость прибора 14, воспринимается поршнем 4. Поступательное перемещение поршня уравнивается натяжением винтовой пружины 6, которая одним концом прикреплена к поршню, а вторым — к якорю 11. Посредством держателя 12 с поршнем соединена корундовая игла 13, соприкасающаяся с чувствительным слоем на фольге или на бумажном бланке диаграммы. Бланк диаграммы свертывается в цилиндр и вставляется в барабан 3. Часовым механизмом 2 барабану сообщается вращательное движение, что позволяет вести запись давления во времени. Для амортизации часового механизма помещена пружина 1. Для введения температурной поправки на показания прибора предусмотрен максимальный ртутный термометр 8. Спуск прибора в скважину производят на проволоке, присоединяемой к головке 9.

Глубинные поршневые манометры типа МГП-3М выпускают с пределами измерений 15,7; 24,5; 39,2 МПа. Класс точности приборов 1,5.

Глубинный манометр с трубчатой многовитковой пружиной. На рис. 4.7 приведена схема глубинного манометра МГИ-1 с трубчатой многовитковой пружиной (геликсом).

Давление измеряемой среды через сильфонный разделитель 10, капилляр и маловязкую жидкость воздействует на геликоидальную пружину 8, которая раскручивается на угол, пропорциональный величине давления. Запись давления во времени производится корундовой иглой 7 на диаграммном бланке, укрепленном в барабане 6. В отличие от поршневых приборов барабан часовым механизмом 4 приводится не во вращательное, а в поступательное движение. Для преобразования вида движения служит винт 11. Основной часовой механизм 4 включает механизм задержки, состоящим из вспомогательного часового механизма 1, редуктора и лимба установки времени задержки (в приборах МГИ-1 для этой цели служит чувствительный элемент, представленный геликсом). Наличие механизма задержки позволяет, в случае необходимости, производить замер давлений не по всему стволу скважины, а только в месте испытания пласта. При этом может быть получен увеличенный масштаб записи и повышена точность измерений.

Класс точности этих приборов 1,0.

### Самопишущие манометры, применяемые при цементировании скважин

При цементировании скважин крайне важно вести контроль за давлением. Это позволит определить момент постановки нижней пробки на упорное кольцо «Стоп», схождение верхней и нижней пробок.

Одной из заключительных работ после цементирования скважин является опрессовка и испытание колонны на герметичность, которая также не возможна без контроля за давлением. Применение специальных манометров при выполнении работ по цементированию скважин объясняется необходимостью не только непосредственных наблюдений, но и регистрации показаний с получением увеличенного масштаба записей, а также дистанционной передачи показаний. Помимо общепромышленных манометров, для этих целей применяют специальные манометры с дистанционной передачей давления посредством жидкости или передачей показаний давления сельсинной парой. Последний тип манометров находится в составе станции контроля цементации скважин СКЦ-2М.

Схема манометра с трубчатой многовитковой пружиной и сельсинной парой показан на рис. 4.8. Измеряемое давление через резиновый разделитель 1, буферную жидкость и сильфон 4 передается на многовитковую трубчатую пружину 5. Раскручиваясь, пружина поворачивает связанный с нею ротор сельсин-датчика 6 (БД-404) на угол, пропорциональный контролируемому давлению. Для сглаживания пульсации предусмотрен регулировочный дроссель 2, 3.

Сельсин-датчик соединен кабелем с двумя сельсин-приемниками (БС-404), находящимися в приборном блоке лаборатории. Один сельсин-приемник 7 приводит в действие стрелку показывающего прибора, а второй 8 — перо регистратора.

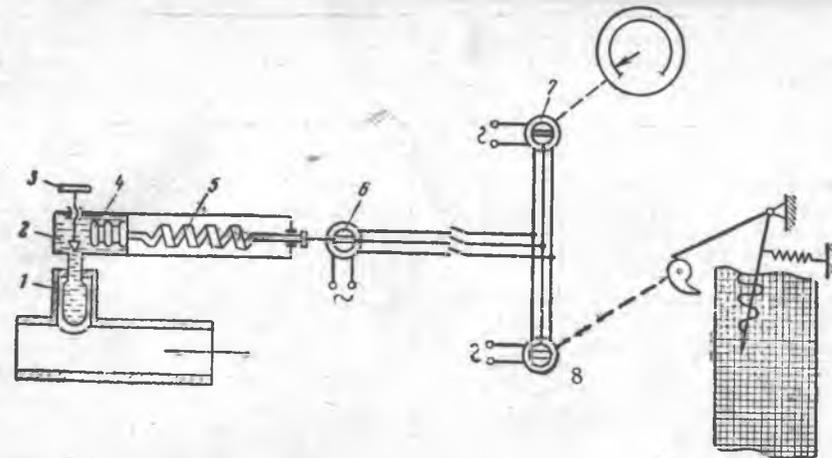


Рис. 4.8. Манометр с трубчатой многовитковой пружиной и сельсинной парой значений

## Глава 5

### ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР

#### § 1. ТЕРМОМЕТРЫ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО ТИПА

Величина, характеризующая степень нагретости тела, называется *температурой*. Измерение температуры основано на теплообмене между телами. Если тела, находящиеся в тепловом контакте, нагреты одинаково, то теплообмен не происходит и температуры этих тел равны.

Измерить температуру аналогично тому, как мы измеряем массу, длину и другие физические величины, невозможно, так как для измерения температуры нет меры. Но отмечено, что с изменением температуры изменяются физические свойства и параметры вещества (тела): длина, объем, плотность, вязкость, электропроводность и др.

Поэтому измерение температуры возможно косвенным путем, т. е. наблюдением за одним из физических свойств, изменяющимся в связи с нагревом или охлаждением тела (вещества).

В зависимости от того, какое из вышеперечисленных изменяющихся свойств положено в основу прибора для измерения температуры, последние делятся на: термометры расширения, манометрические термометры, термоэлектрические пирометры, термометры сопротивления, пирометры излучения.

Пределы измеряемых температур различными группами приборов приведены в табл. 4.

Измерительный прибор или чувствительный элемент	Пределы измерения, °С		Измерительный прибор или чувствительный элемент	Пределы измерения, °С	
	от	до		от	до
Термометры расширения: дилатометрические технические ртутные технические спиртовые	0	500	Термопары: платинородий <sup>1</sup> — платина хромель — алюмель хромель — копель сплав НК—СА	300	1300
	—30	500		—50	1000
	—140	65		—50	600
Термометры манометрические: жидкостные газовые	—46	550	Пирометры излучения: оптические фотоэлектрические радиационные	800	6000
	—60	550		600	2000
Термометры сопротивления: платиновые медные	—200	650	20	3000	
	—50	180			

<sup>1</sup> Платинородий — сплав платины и родия; хромель — сплав никеля и хрома; алюмель — сплав алюминия, кремния и марганца; копель — сплав меди и никеля.

### Термометры расширения

К ним относятся дилатометрические, биметаллические и жидкостные термометры.

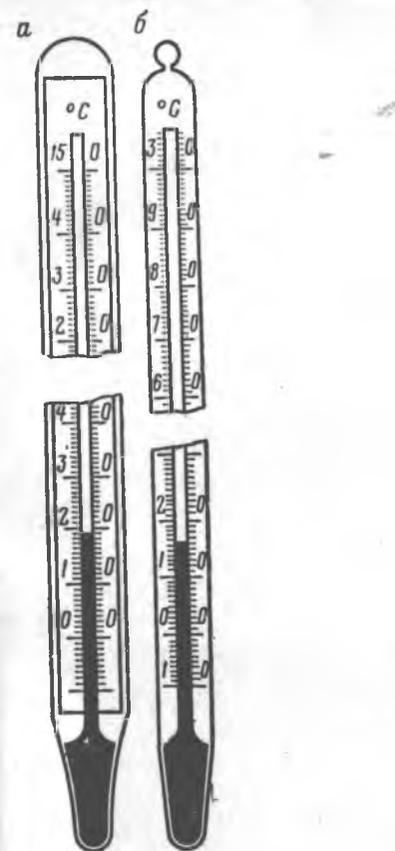
Принцип действия дилатометрических и биметаллических термометров основан на различии линейных коэффициентов расширения при одновременном нагревании двух тел: в первом случае медного или алюминиевого цилиндра (с большим коэффициентом линейного расширения), внутри которого помещается стержень из инвара, кварца или фарфора (с крайне низким коэффициентом линейного расширения), а во втором случае — двух спаянных по длине пластинок из разного металла.

Точность показаний таких термометров невелика, но их широко применяют в качестве чувствительных элементов различных регуляторов температуры, так как они при нагревании создают значительные перестановочные усилия.

Жидкостные термометры (рис. 5.1) представляют собой стеклянную капиллярную трубку с термобаллоном внизу, помещенную в цилиндрическую оболочку также из стекла. На капилляре или специальной пластинке из матового стекла, расположенной вдоль капилляра, нанесена шкала в градусах Цельсия. Термобаллон и часть капиллярной трубки заполняют спиртом или ртутью.

В ртутных термометрах для измерения температур свыше 150°С капилляр над ртутью заполняют инертным газом при давлении 0,98—6,9 МПа, чтобы предохранить ртуть от испарения и осадения на стенках капилляра.

Помимо обычных рабочих ртутных термометров, существуют еще и контактные. Один контакт такого термометра крепится неподвижно у баллона с ртутью, а второй помещается внутри капилляра и может быть неподвижным и подвижным.



† Рис. 5.1. Ртутные термометры:  
а — с вложенной шкалой; б — палочный

Термометр с неподвижным верхним контактом применяют для сигнализации о достижении предельно заданного значения температуры. Второй тип контактного термометра обычно используется в схемах по регулированию температур.

Так как у жидкостных термометров шкала из-за малых размеров неудобна для наблюдений, а также невозможен дистанционный контроль температуры, их чаще всего применяют для лабораторных целей или там, где по технологии измерений возможны наблюдения с близкого расстояния.

### Манометрические термометры

Принцип действия манометрических термометров основан на изменении давления жидкости, газов или паров кипящей жидкости, помещенных в прочный термобаллон, при их нагревании или охлаждении.

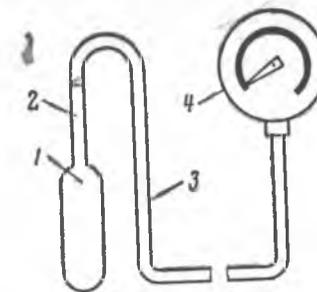


Рис. 5.2. Манометрический жидкостный термометр:  
1 — термобаллон; 2 — соединительная трубка; 3 — капилляр; 4 — показывающий прибор

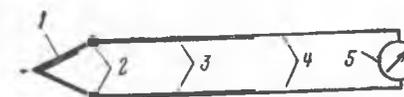


Рис. 5.3. Схема термоэлектрического пирометра:  
1 — горячий спай; 2 — холодный спай; 3 — компенсационные провода; 4 — соединительные провода; 5 — измерительный прибор

изменяющееся при этом давление по тонкой трубке — капилляру передается на показывающий или регистрирующий прибор манометрического типа.

Принципиальная схема манометрического жидкостного термометра показана на рис. 5.2. Термобаллон 1 изготавливается из стали и рассчитан на высокое давление. Капилляр 3 представляет собой медную или стальную трубку с внутренним диаметром 0,15—0,4 мм и длиной до 60 м. Показывающие приборы имеют чувствительный элемент с серповидной манометрической пружиной, а регистрирующие — с трубчатой многовитковой.

Шкалы приборов отградуированы в единицах измерения температуры.

В качестве заполнителей термобаллона применяют: жидкости — ртуть, ксилол, метиловый спирт; газы — азот, гелий; легкокипящие жидкости и их пары — хлористый метил, ацетон и др.

### Термоэлектрические пирометры

Термоэлектрический пирометр (рис. 5.3) состоит из термопары, помещаемой в среду, температуру которой необходимо определить, компенсационных и соединительных проводов, а также чувствительного к малым значениям э. д. с. прибора.

Действие термопары основано на явлении термоэлектрического эффекта, основанного на возникновении термо-э. д. с. на холодных концах спая в то время, когда происходит нагрев горячих концов спая двух термоэлектродов, выполненных из разнородных материалов.

Если температура нагрева мест холодного и горячего спаев будут одинаковыми, то возникнут встречные термо-э. д. с., а следовательно, результирующая э. д. с. будет равна нулю. Поэтому горячий спай двух термоэлектродов заключают в защитную оболочку из фарфора, жароупорной или нержавеющей стали и помещают в измеряемую среду, а температуру холодного спаев поддерживают постоянной. Так как в производственных условиях добиться постоянства температуры головки термопары (где расположены концы холодного спаев) очень сложно, то термопару удлинляют гибкими электродами — компенсационными проводами и выводят в область с постоянной температурой.

Компенсационные провода изготавливают из более дешевых металлов и сплавов, чем термоэлектроды, но при нагреве до 150° С они развивают такие же э. д. с., что и соответствующие термопары. Для автоматического введения поправок в показания измерительного прибора при колебаниях температуры компенсационных проводов в измерительную схему включается компенсационная коробка КТ-54, электрическая схема которой представляет собой неравновесный мост.

### Электрические термометры сопротивления

Электрические термометры сопротивления применяют в тех случаях, когда требуется повышенная точность измерений в пределах 200 ÷ 650° С (473 ÷ 923 К).

Принцип действия этих термометров основан на изменении электрического сопротивления проводников и полупроводников с изменением их температуры. Как известно, сопротивление проводников с ростом температуры увеличивается, а полупроводников — уменьшается. Зная зависимость между изменением температуры проводника или полупроводника и его электрическим сопротивлением, можно по сопротивлению определить температуру. Измерительная установка состоит из термометра сопротивления, измерительного прибора, соединительных проводов и источника тока.

Термометр сопротивления представляет собой пластину из слюды или текстолита, на которую бифилярно наматывается тонкая проволока диаметром 0,05—0,1 мм из платины или меди. К концам припаиваются выводы: к обмотке из меди — медные, а к платиновой — из серебряной проволоки. Для защиты обмотки от повреждения она с обеих сторон покрывается пластинками из термоизоляционного материала, а затем помещается в двойной защитный чехол: внутренний из алюминия и внешний — из стали.

Вторичными измерительными приборами могут быть логометры, неравновесные и равновесные мосты.

*рис. 2.16*

### Пирометры излучения ✓

Для измерения высоких температур в случаях, когда другие виды термометров не могут быть использованы из-за их разрушения при высокой температуре, применяют пирометры излучения.

Пирометры излучения не помещаются непосредственно в среду, температура которой измеряется, поэтому на них высокая температура не оказывает никакого влияния.

Пирометры излучения делятся на оптические и радиационные.

Принципиальная схема оптического пирометра излучения показана на рис. 5.4. Действие такого пирометра основано на сопоставлении яркости нити накаливания лампы 3 с яркостью нагретого тела, температуру которого мы измеряем.

Если контур нити накаливания сольется (нить исчезнет) с окраской нагретого тела, то это будет свидетельствовать, что яркость нити и нагретого тела одинаковы. В электрической цепи помимо лампы накаливания находятся: аккумуляторная батарея 11, реостат 10, выключатель 9 и вольтметр 8.

Яркость света лампы накаливания регулируется реостатом, движок которого перемещается вдоль шкалы, отградуированной в градусах Цельсия. В состав оптической части пирометра входят: объектив, окуляр, светофильтр и диафрагма.

Класс точности оптических пирометров 1, 5.

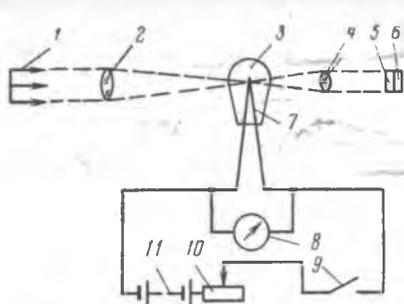


Рис. 5.4. Принципиальная схема оптического пирометра:

1 — излучатель; 2 — объектив; 3 — лампа; 4 — окуляр; 5 — светофильтр; 6 — диафрагма; 7 — нить накала; 8 — вольтметр; 9 — выключатель; 10 — реостат; 11 — аккумуляторная батарея

## § 2. ГЛУБИННЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ ✓

Известно, что с увеличением глубин скважин и горных выработок температуры в их стволах повышаются. Расстояние по вертикали в земной коре, при котором температура повышается на  $1^\circ\text{C}$ , носит название *геотермической ступени*. Величина геотермической ступени зависит от геологических, гидрогеологических и других условий и колеблется от 5 до 150 м. Среднюю величину геотермической ступени принимают 33 м.

Температура на забое самых глубоких скважин около  $250^\circ\text{C}$  ( $523\text{ K}$ ). Высокие температуры в скважинах оказывают влияние на стойкость породоразрушающего инструмента, работоспособность и верность показаний различных приборов, опускаемых в скважины для исследований. Но самое большое влияние высокая температура оказывает на стабильность промысловых растворов, а также на сроки начала и конца схватывания тампонажных растворов и быстрогустеющих смесей. Производя термометрические исследования разведочных и эксплуатационных скважин, можно решать многие практические задачи, возникающие при их бурении и эксплуатации.

Для контроля температуры по стволу скважины и на забое применяют глубинные термометры. По конструкции они могут быть жидкостные (ртутные), манометрические и электрические термометры сопротивления.

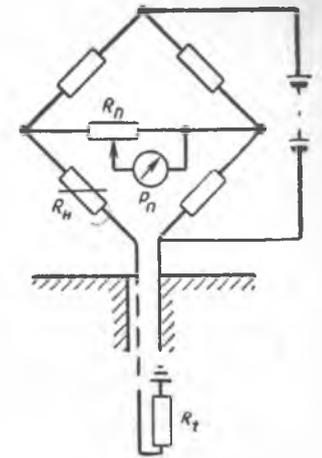
Разовые замеры температуры жидкости в скважине производят ленивыми и максимальными жидкостными термометрами.

Ленивый термометр представляет собой ртутный термометр, заключенный в металлическую оправу. Нижняя часть оправы имеет форму баллона и в скважине заполняется водой. В заданном интервале прибор выдерживают 10—15 мин. При извлечении прибора из скважины вода, находящаяся в баллоне, некоторое время сохраняет показания прибора без изменения. Для повышения инертности прибора в баллон может закладываться термоизоляционный материал (пробковые опилки, войлок, вата).

Максимальные термометры также ртутные, но в отличие от ленивых могут измерять только максимальную температуру. Особенность конструкции максимального термометра состоит в том, что ртуть поднимается из баллона через очень маленькое кольцевое пространство между тонким капилляром и вставленной в него иглой. С повышением температуры увеличивается объем ртути, и она проталкивается через кольцевое простран-

Рис. 5.5. Схема глубинного термометра сопротивления:

$R_t$  — чувствительный элемент;  $R_n$  — магазин сопротивлений;  $R_1$  — переменное сопротивление;  $P_n$  — измерительный прибор



ство. При понижении температуры сил веса ртути недостаточно для самостоятельного ее возвращения в баллон. Поэтому до встряхивания термометра его показания не уменьшаются. Для защиты термометра от повреждений его помещают в металлическую гильзу. В верхней и нижней частях гильзы имеются проушины, позволяющие соединить 2—3 прибора (для получения средних значений) и одновременно опустить их в скважину на тросике.

Перед спуском прибора в скважину производят его охлаждение до температуры, несколько ниже предполагаемой на глубине замера. Максимальные термометры обычно применяют при замере температуры в глубоких скважинах. При этом их часто опускают в одном корпусе с глубинными манометрами.

В практике гидрогеологических исследований наиболее часто применяют ртутные термометры марок ТП, ТМ, ТЛ, ТР.

При глубоком роторном бурении нашел широкое применение глубинный термометр ТГИ-1 с многовитковой трубчатой пружиной. По конструкции он сходен с глубинным манометром МГИ-1. Существенное отличие состоит лишь в том, что у глубинного термометра ТГИ-1 к многовитковой трубчатой пружине подключен термобаллон с рабочей жидкостью (толуолом), объем и давление которой изменяются пропорционально изменяющейся температуре.

Большим распространением пользуются электрические термометры сопротивления, опускаемые в скважину на одножильном или трехжильном кабеле. Датчики этих приборов имеют малые размеры, что позволяет производить замеры по всему стволу скважины. Вторичные приборы могут быть не только показывающими, но и регистрирующими и находятся на поверхности в каротажной станции.

Принципиальная схема глубинного термометра сопротивления, опускаемого в скважину на одножильном кабеле, показана на рис. 5.5. Электрическая схема прибора основана на принципе неравновесного моста сопротивления. Три плеча моста смонтированы на панели каротажной станции, частью четвертого плеча ( $R_t$ ) является обмотка чувствительного элемента, находящегося внутри электротермометра, опускаемого в скважину на кабеле. Для быстрого восприятия температуры окружающей среды чувствительный элемент представлен тонкостенной металлической трубкой небольшого диаметра, в которой размещено сопротивление из мед-

ной проволоки, имеющей высокой температурный коэффициент. Сопrotивление проводника чувствительного элемента  $R_t$  с изменением температуры определяется следующим равенством:

$$R_t = R_0 [1 + \alpha (t - t_0)], \quad (5.1)$$

где  $R_t$  — сопротивление при измеряемой температуре;  $R_0$  — сопротивление при начальной температуре;  $t$  — измеренная температура, °C;  $\alpha$  — температурный коэффициент электрического сопротивления; для меди  $\alpha = 0,004$ ;  $t_0$  — начальная температура, °C.

Замер температуры обычно производят при спуске электротермометра, чтобы избежать искажений, могущих возникнуть в результате последующего перемешивания раствора. Скорость спуска прибора должна быть согласована со скоростью восприятия термометром температуры окружающей среды.

## Глава 6

### ИЗМЕРЕНИЕ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ НА ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

Нагрузка на породоразрушающий инструмент в процессе бурения является важнейшим фактором, влияющим на эффективность разрушения пород. Величина осевой нагрузки зависит от физико-механических свойств буримых пород, типа и размеров породоразрушающего инструмента, прочности колонны бурильных труб. ¶

В связи с тем, что при бурении происходит смена буримых пород, диаметров и типов породоразрушающего инструмента, возникает необходимость непрерывного контроля за осевой нагрузкой на породоразрушающий инструмент<sup>1</sup>.

(Контроль за осевой нагрузкой может осуществляться пружинными динамометрами и гидравлическими индикаторами, размещаемыми на неподвижном конце каната талевой системы или включаемыми в гидравлическую систему буровых станков. Этой же цели служат и более сложные по конструкции индикаторы типа ГИВ и магнитоупругие компенсационные измерители нагрузки типа МКН. В отличие от простейших приборов в их составе имеются измерительные преобразователи, показывающие и регистрирующие приборы. Преобразователи обычно размещаются на неподвижном конце каната талевой системы<sup>2</sup>, а показывающий и регистрирующий приборы устанавливаются в местах, удобных для наблюдения и регистрации. Регистрация показаний приборов производится на круглом бумажном бланке. При расшифровке диаграммы, кроме осевой нагрузки, определяют затраты времени по видам работ, что позволяет объективно составить баланс рабочего времени буровой бригады.

<sup>1</sup> В дальнейшем будем сокращенно называть — осевая нагрузка.

<sup>2</sup> В МКН-2 преобразователь может быть также подключен к гидросистеме станка.

## § 1. ПРУЖИННЫЕ ДИНАМОМЕТРЫ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ НАГРУЗКИ, РАЗМЕЩАЕМЫЕ НА НЕПОДВИЖНОМ КОНЦЕ КАНАТА ТАЛЕВОЙ СИСТЕМЫ

При бурении скважин станками с вращателями роторного типа подачу бурового снаряда на забой ведут путем опускания каната с барабана лебедки. В этом случае талевая система чаще всего применяется с неподвижным концом каната, в разрыв которого включают пружинный динамометр или гидравлический индикатор.

### Пружинный динамометр

Индикаторы нагрузки даны на рис. 6.1.

Пружинный динамометр (рис. 6.1, а) состоит из силового звена, отсчетного механизма и корпуса.

Основной деталью силового звена является упругое тело 9 прямоугольного сечения в форме звена цепи с вырезом у одной ветви. Нейтральная ось упругого тела смещена на некоторую величину относительно оси приложения нагрузки.

Измеряемое растягивающее усилие воспринимается серьгами 6 и через пальцы 7 передается упругому телу, которое подвергается внецентровому растяжению. Это приводит к деформации звена и увеличению расстояния между нижней платой 1 и угольником 2, находящимися на противоположных концах разъема звена. Так как ось сектора 4 и ведомой шестерни 5 находятся на нижней плате, а зубчатый сектор 4 связан с угольником 2 посредством тяги 3, то при нагрузках на динамометр сектор будет поворачивать шестерню со стрелкой.

Шкала прибора закреплена в верхней плате отсчетного механизма. Установка стрелки в положении «0» производится перед началом работы при помощи специального винта.

### Гидравлический индикатор нагрузки

Устройство гидравлического индикатора нагрузки, включаемого в разрыв неподвижного конца каната талевой системы, понятно из схемы, показанной на рис. 6.1, б.

Определению осевой нагрузки пружинным динамометром или гидравлическим индикатором нагрузки, размещаемым на неподвижном конце каната талевой системы, предшествует вспомогательная операция — взвешивание. При проведении этой операции буровой снаряд опускают до забоя, затем приподнимают на 15—20 см, подают промывочную жидкость, включают вращение и подачу с частотой, близкой к ожидаемой при бурении, и берут отсчет.

Значение осевой нагрузки составит разницу между значением, определенным при взвешивании, и усилием разгрузки, определенным по показанию прибора в процессе бурения. Полученную раз-

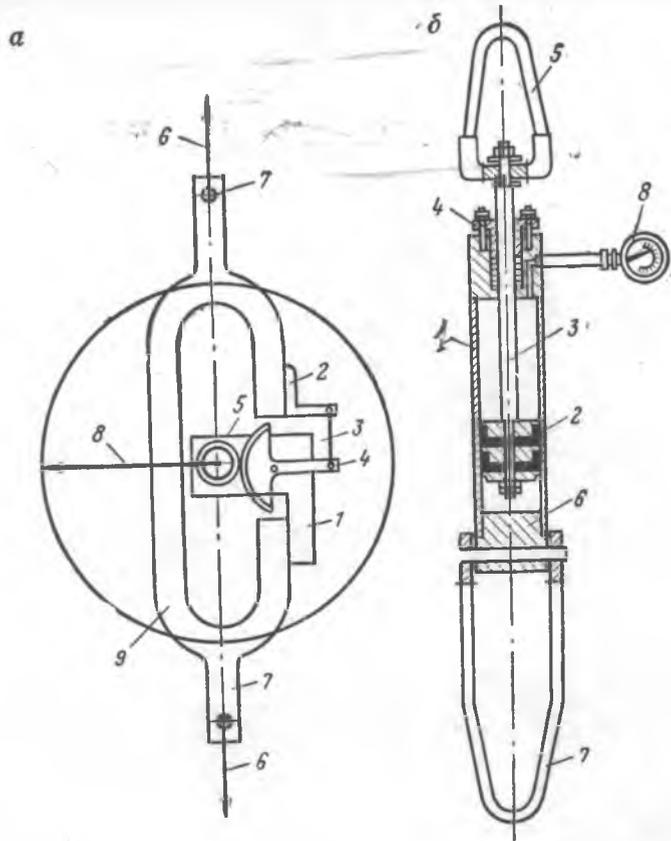


Рис. 6.1. Индикаторы нагрузки:  
 а — пружинный: 1 — плата; 2 — угольник; 3 — тяга; 4 — сектор; 5 — шестерня; 6 — серьги; 7 — пальцы; 8 — стрелка; 9 — упругое тело силового звена;  
 б — гидравлический: 1 — цилиндр; 2 — поршень; 3 — шток; 4 — сальниковая крышка; 5 — верхняя серьга; 6 — нижняя крышка; 7 — нижняя серьга; 8 — манометр

ность значений необходимо еще умножить на число струн талевого системы.

Метод контроля осевой нагрузки по натяжению неподвижного конца талевого каната наряду с простотой и высокой надежностью обладает невысокой точностью. Ошибка, которая при этом возникает, состоит из трех слагаемых:

- ошибки, возникающей за счет действия сил сопротивления движению бурового снаряда в скважине;
- ошибки, вносимой талевого системой (натяжение конца талевого каната не одинаково при движении бурового снаряда вверх или вниз);
- ошибки, вносимой измерительным прибором.

## § 2. ПРУЖИННЫЕ И ПЛУНЖЕРНЫЕ ИНДИКАТОРЫ НАГРУЗКИ, ВКЛЮЧАЕМЫЕ В ГИДРОСИСТЕМУ СТАНКА

Наличие гидросистемы у станков колонкового бурения позволяет не только значительно облегчить труд бурильщика и упростить процесс регулирования осевой нагрузки, но и за счет подключения индикаторов к гидросистеме осуществлять постоянный контроль за осевой нагрузкой.

В основу конструкции индикаторов, включаемых в гидросистему станка, положена плунжерная пара или манометрическая серповидная пружина. Эти приборы могут быть следующих разновидностей.

1. С одной плунжерной парой, одной указательной стрелкой и двумя шкалами.

2. С двумя плунжерными парами, одной указательной стрелкой и одной шкалой.

3. С одной серповидной манометрической пружиной, двумя стрелками и одной шкалой.

4. С двумя серповидными манометрическими пружинами, двумя стрелками и одной шкалой.

Последние модели станков серии ЗИФ и СБА снабжаются приборами первой разновидности.

### Индикаторы нагрузки с одной плунжерной парой, одной указательной стрелкой и двумя шкалами

Устройство индикатора показано на рис. 6.2. В защитном кожухе 14 находится стальной литой корпус 9, на котором

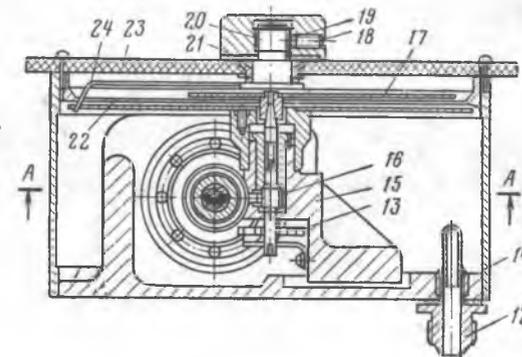
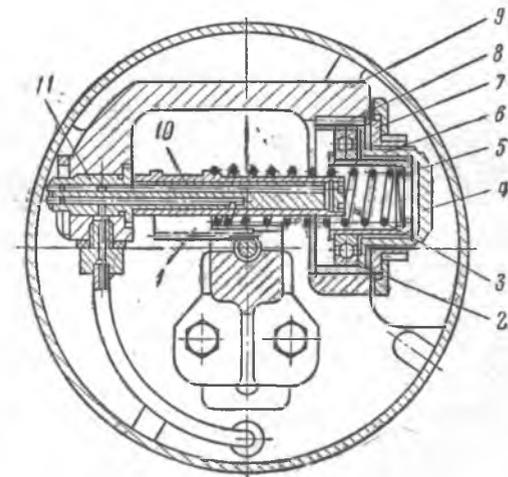


Рис. 6.2. Индикатор нагрузки с одной плунжерной парой, одной указательной стрелкой и двумя шкалами:

- 1 — рейка; 2 — подшипник; 3 — пружина; 4 — втулка; 5 — стакан; 6 — гайка регулировочная; 7 — крышка; 8 — шрифт; 9 — корпус; 10 — цилиндр; 11 — плунжер; 12 — штуцер; 13 — пружина спиральная; 14 — кожух; 15 — кронштейн; 16 — шестерня-трибка; 17 — стрелка; 18 — винт; 19 — головка; 20 — втулка; 21 — резиновое кольцо; 22 — циферблат; 23 — стекло; 24 — поводок



смонтированы механизмы прибора. На жестко прикрепленный к корпусу плунжер 11 свободно надет цилиндр 10 с зубчатой рейкой 1. Внутри плунжера проходят два канала. По одному из них масло подводится к донной части цилиндра и тем самым вызывает его перемещение. Противодавление на цилиндр создается силовой пружиной 3. Для регулирования натяжения пружины при градуировке прибора имеется регулировочная гайка 6.

Зубчатая рейка цилиндра находится в постоянном зацеплении с маленькой шестерней-трибкой 16, сидящей на одной оси со стрелкой 17. Для выбора люфта к оси прикреплена спиральная пружина 13.

Циферблат прибора представляет собой стальной диск с нанесенными на нем двумя шкалами. Цифры на наружной шкале расположены с возрастанием против движения часовой стрелки, а на внутренней — по ходу часовой стрелки. Градуировка обеих шкал произведена в кгс. Циферблат можно вращать с помощью головки 19 в обе стороны без ограничений. От самопроизвольного вращения циферблат удерживает резиновое кольцо 21, расположенное между головкой и защитным стеклом 23. Индикатором можно:

- осуществлять взвешивание бурового снаряда;
- определять осевую нагрузку при бурении с разгрузкой или дополнительной нагрузкой.

### § 3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ НАГРУЗКИ ТИПА ГИВ

На разведочном и глубоком эксплуатационном бурении применяют несколько разновидностей индикаторов нагрузки типа ГИВ.

1. Модификации индикаторов ГИВ, предназначенные для измерения и регистрации усилий в неподвижном конце талевого каната на разведочном и эксплуатационном бурении. Для взятия более точных отсчетов имеется верньерное устройство.

2. Модификации индикаторов ГИВД в отличие от моделей ГИВ позволяют дополнительно измерять и регистрировать давление промывочной жидкости, а некоторые и частоту вращения ротора.

3. Индикатор ГИВГ создан для разведочного бурения и поэтому рассчитан на замер более низких усилий в неподвижном конце талевого каната.

↓ Принципиальная схема действия гидравлического индикатора нагрузки типа ГИВ показана на рис. 6.3.

▼ На неподвижном конце талевого ка-

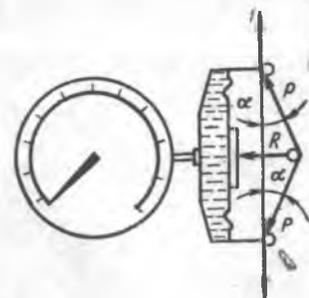


Рис. 6.3. Принцип действия гидравлического индикатора нагрузки типа ГИВ-6

ната трансформатор давления монтируется так, что канат оказывается преломленным между крайними роликами обоймы и средним опорным роликом, опирающимся на мембрану.

Под действием нагрузки на крюк неподвижный конец каната испытывает растягивающее усилие  $P$ . Благодаря преломлению каната под углом  $\alpha$  возникает сила  $R$ , действующая на мембрану.

Значение  $R$  может быть определено из зависимости:

$$R = 2P \sin \alpha.$$

Так как сила  $R$  действует через мембрану на жидкость, то

$$R = pF, \quad (6.2)$$

где  $p$  — давление жидкости в мессдозе, МПа;  $F$  — опорная поверхность мембраны, м<sup>2</sup>.

Подставив значение  $R$  в выражение (6.1), получим

$$pF = 2P \sin \alpha.$$

Давление жидкости в мессдозе, измеряемое манометром, составит

$$p = \frac{2P \sin \alpha}{F} \quad (6.3)$$

Таким образом, давление жидкости, измеряемое прибором, находится в прямой зависимости от натяжения неподвижного конца каната. Ввиду малого угла  $\alpha$  сила  $R$  составляет только 10—15% усилия в канате.

Выражением (6.3) не учтены жесткость каната и силы трения, которые при больших диаметрах каната приводят к нелинейной зависимости между  $p$  и  $P$ .

### Индикатор нагрузки ГИВ-6

В зависимости от диаметра применяемого талевого каната и необходимого предела измерения, индикатор ГИВ-6 выпускается трех модификаций (ГИВ-6-I; ГИВ-6-II; ГИВ-6-III), имеющих различную комплектацию.

Модели этих индикаторов позволяют определять усилие натяжения в талевых канатах диаметром от 15 до 38 мм с пределами измерений 1000—40 000 Н и 8000—250 000 Н.

Основная приведенная погрешность вторичных приборов 2,5%; порог чувствительности 0,3%.

В комплект индикатора нагрузки ГИВ-6 (рис. 6.4) входят: трансформатор давления 1, основной указатель 2, верньерный указатель 3 и щит 7, на котором смонтированы регистратор (самопишущий манометр) 4 и пресс-бачок 5 с вентилем 6.

Трансформатор давления с гидравлической линией индикатора соединяется гибким дюритовым шлангом 11; остальные узлы и приборы соединяются трубками из красной меди.

Трансформатор давления размещают на неподвижном конце талевого каната на высоте несколько большей (0,5 м), чем высота установки показывающих и регистрирующих приборов. Канат

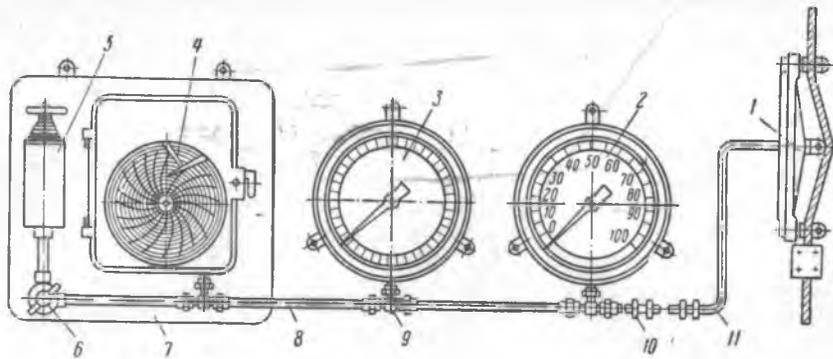


Рис. 6.4. Индикатор нагрузки ГИВ-6:

1 — трансформатор давления; 2 — основной указатель; 3 — верньерный указатель; 4 — регистратор; 5 — пресс-бачок; 6 — вентиль; 7 — щит; 8 — медные трубки; 9 — тройник; 10 — соединительная муфта; 11 — дюритовый шланг

пропускают через ролики обоймы трансформатора таким образом, чтобы он преломлялся между двумя крайними роликами и опирался на средний. При такой схеме прохождения каната равнодействующая от усилий натяжения будет передаваться через средний ролик на мембрану камеры, заполненной жидкостью. Воспринимаемое жидкостью давление передается по системе трубок на показывающие и регистрирующие приборы. Заполнение жидкостью полостей приборов, камеры трансформатора и трубопроводов производится из пресс-бачка. В качестве заполняющей жидкости в летнее время применяют дистиллированную воду с добавкой 1% хромпика для защиты от коррозии деталей гидравлической системы индикатора. В зимнее время, при опасности замерзания воды, применяют водный раствор глицерина (50% воды и 50% глицерина) или водный раствор денатурированного этилового спирта (одна часть спирта на две-три части воды).

Основной и верньерный указатели представляют собой пыле-брызгонепроницаемые корпуса, внутри которых размещены манометры с серповидными трубчатыми пружинами на предельное давление 1 МПа.

Отсчет показаний основного указателя производится по шкале, имеющей на дуге в  $270^\circ$  100 равномерных делений с оцифровкой через каждые 10 делений. Верньерный указатель имеет 360-градусную шкалу с 40 неоцифрованными делениями. При отклонении стрелки основного указателя на  $270^\circ$  (100 делений) стрелка верньерного указателя поворачивается на  $1800^\circ$ . Таким образом, чувствительность верньерного указателя примерно в 6,7 раза выше, чем у основного.

Регистрирующий прибор состоит из герметического корпуса с крышкой, закрывающейся на ключ, и регистрирующего манометра. Запись усилий ведется непрерывно на бумажном бланке, приводимом во вращение часовым механизмом с частотой 1 об/сут.

Бумажный бланк диаметром 300 мм имеет 100 концентрических окружностей с оцифровкой каждой 10-й окружности и 24 радиальные дуги, соответствующие часам в сутках. Часовые отрезки в свою очередь разделены на 4 части, каждая из которых составляет отрезок времени в 15 мин. Каждый 15-минутный отрезок визуально может быть разделен на 3—5 частей. Таким образом, запись показаний усилий во времени с диаграммы может быть считана с точностью 3—5 мин.

По требованию заказчика регистраторы выпускаются с записью от центра к периферии и наоборот.

За начало отсчета принимается 10-я окружность (на основном указателе 10-е деление), что позволяет учесть массу талевого системы, а также обнаружить течь в гидравлической системе по падению давления ниже 10-й окружности (деления).

Расшифровка записей индикаторной диаграммы. Если линия записи проходит параллельно одной из окружностей, это значит, что за данный отрезок времени усилие на неподвижном конце талевого каната не изменилось. Следовательно, осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент также не изменилась (рис. 6.5).

В процессе бурения осевая нагрузка изменяется бурильщиком в связи с изменением физико-механических свойств буримых пород или может иметь небольшие колебания из-за неточности в регулировании подачи инструмента на забой. Изменение осевой нагрузки происходит в том случае, если меняются буримые породы, а подача инструмента остается прежней.

Последнее обстоятельство, например, облегчает определение момента встречи угольного пласта по резким (до 40%) увеличениям показаний приборов. Спуск инструмента на диаграмме отражается рядом пиков, увеличивающихся по высоте и располагающихся примерно параллельно радиальным дугам. Число пиков соответствует числу опущенных свечей, а высота каждого пика — нагрузке на крюк.

Так как за время спуска свечи диаграмма поворачивается на какой-то угол, то точки начала и конца пика у основания не совпадают. Расстояние между этими точками соответствует времени спуска свечи.

Графическое изображение подъема бурового инструмента на диаграмме имеет вид обратный пуску, т. е. соответствует ряду пиков, уменьшающихся по высоте.

Таким образом, все операции при бурении скважины, связанные с полным или частичным поддержанием бурового снаряжения на весу, будут отклонять перо в направлении от центра к периферии (или наоборот) на величину, пропорциональную натяжению неподвижного конца талевого каната. При снятии нагрузок с талевого системы стрелки приборов и перо самописца возвращаются в исходное положение.

Если запись будет вестись по 10-й окружности диаграммы, это будет свидетельствовать о простое или различных вспомогательных

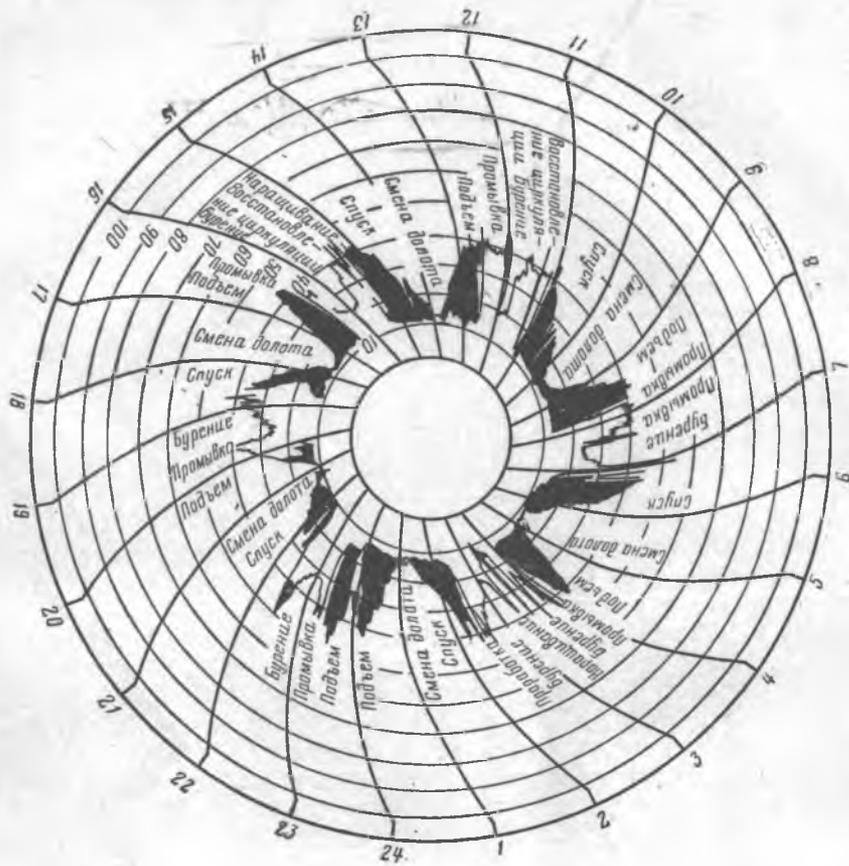


Рис. 6.5. Индикаторная диаграмма

работах (ремонт, смена долота и т. д.), когда нагрузка на крюк не действовала.

### Примеры определения нагрузок по показаниям прибора ГИВ-6-1

Аппаратура ГИВ-6-1, трансформатор давления ТД-2А, диаметр каната 15,5 мм.

А. Определение усилия натяжения неподвижного конца талевого каната и нагрузки на крюк.

*Пример.* Отсчет по основному указывающему прибору составил 45 делений. Оснастка талевого системы  $2 \times 1$ . По паспорту 40-му делению соответствует нагрузка 12,25 кН, а 50-му делению—16,7 кН. Средняя цена деления в интервале между 40-м и 50-м делениями составит

$$\frac{16,7 - 12,25}{10} = 0,445 \text{ кН.}$$

Тогда 45 делению соответствует усилие

$$P_{45} = 12,25 + (5 - 40) \cdot 0,445 = 14,465 \text{ кН.}$$

Из этой нагрузки следует вычесть начальное натяжение каната, создаваемое весом талевого системы (при 10-м делении равно 0,981 кН):

$$P_1 = 14,465 - 0,981 = 13,484 \text{ кН.}$$

Для определения нагрузки на крюк  $P_k$  значение  $P_1$  необходимо умножить на число струн талевого системы  $m$  при оснастке ( $2 \times 1 = 2$ ):

$$P_k = P_1 m = 13,484 \times 2 = 27,168 \text{ кН.}$$

Б. Определение нагрузки на вышку. Для определения нагрузки на вышку  $P$  необходимо усилие в неподвижном конце талевого каната  $P_{45}$  умножить на число струн талевого системы плюс 2:

$$P = P_{45}(m + 2) = 14,465(2 + 2) = 57,860 \text{ кН.}$$

В. Определение осевой нагрузки. Чтобы определить осевую нагрузку, необходимо от числа делений вычесть число делений разгрузки. Полученную разность умножить на число струн талевого оснастки и среднюю цену деления в данном интервале.

*Пример.* Оснастка  $2 \times 1$ . Отсчет по основному указательному прибору составил: при взвешивании бурового снаряда 60 делений, после начала бурения—50 делений. Следовательно, величина осевой нагрузки составит  $60 - 50 = 10$  делений. По паспорту 40-му делению соответствует нагрузка 20,6 кН, а 50-му—16,7 кН. Средняя цена деления в этом интервале

$$\frac{20,6 - 16,7}{10} = 0,39 \text{ кН.}$$

Так как оснастка 2-струнная, то одно деление равно

$$0,39 \times 2 = 0,78 \text{ кН}$$

Величина осевой нагрузки составит

$$0,78 \times 10 = 7,8 \text{ кН.}$$

Если же осевая нагрузка задана в Н, а необходимо определить соответствующие деления по прибору, то производят пересчет.

*Пример.* Заданная осевая нагрузка 5,3 кН, талевого оснастка двухструнная; показания прибора при взвешивании бурового снаряда 58 делений.

Средняя цена одного деления 0,445 кН. Число делений по прибору, соответствующее осевой нагрузке, составит

$$\frac{5,3}{0,445 \times 2} = 6 \text{ делений.}$$

Таким образом, бурильщик должен поддерживать осевую нагрузку

$$58 - 6 = 52 \text{ деления.}$$

### § 4. МАГНИТОУПРУГИЙ КОМПЕНСАЦИОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ НАГРУЗКИ МКН-2

Магнитоупругий компенсационный измеритель нагрузки МКН-2 предназначен для непрерывного визуального контроля и регистрации осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент в процессе бурения и нагрузки на крюке при спуско-подъемных операциях и аварийных работах.

Регистрация нагрузок ведется во времени на суточной диаграмме.

В состав МКН-2 входят: один (ДДС-2) или два (ДНР-1 и ДДС-2) преобразователя, показывающий и регистрирующий прибор ПРП-2 и соединительные кабели.

Измерителем МКН-2 могут оснащаться станки ЗИФ-650М и ЗИФ-1200МР.

Техническая характеристика МКН-2 приведена в табл. 5.

Таблица 5

Показатели	Станок	
	ЗИФ-650М	ЗИФ-1200МР
Напряжение питания, В	380	380
Частота потока, Гц	50	50
Потребляемая мощность, В·А	< 90	< 90
Пределы измерения, кН:		
осевой нагрузки	0—30	0—30
нагрузки на крюке	0—150	0—300
Допускаемая основная погрешность, %:		
при измерении и регистрации осевой нагрузки	2,5	2,5
при измерении и регистрации нагрузки на крюке	4,0	4,0
Диаметр диаграммы, мм	300	300
Габаритные размеры ПРП-2, мм	470×400×210	470×400×210
Габаритные размеры преобразователей, мм:		
ДНР-1	620×180×100	620×180×100
ДДС-2	176×68×68	176×68×68

### Структурная схема и принцип действия

В состав схемы (рис. 6.6) входят: преобразователи ДНР-1, ДДС-2, компенсаторы К1, К2, нуль-усилитель НУ, механизм переключения каналов МП, реверсивные двигатели РД1, РД2 с редукторами Р1, Р2, отсчетные устройства ОУ1, ОУ2 и регистрирующее устройство РУ.

Работа измерителя МКН-2 основана на компенсационном методе измерения. При измерении осевой нагрузки или нагрузки на крюке, усилие (или давление) воспринимаемое чувствительным элементом преобразователя, преобразуется в электрическое напряжение.

Это напряжение сравнивается с напряжением одного (взвешивание) или двух (измерение осевой нагрузки) компенсаторов (индукционных потенциометров) К1 и К2.

Напряжение  $U_{к2}$  компенсатора К2 совпадает по фазе с напряжением  $U_n$  преобразователя, а напряжение  $U_{к1}$  компенсатора К1 находится в противофазе.

Алгебраическая сумма напряжений  $\Delta U$  подается на вход нуль-усилителя НУ.

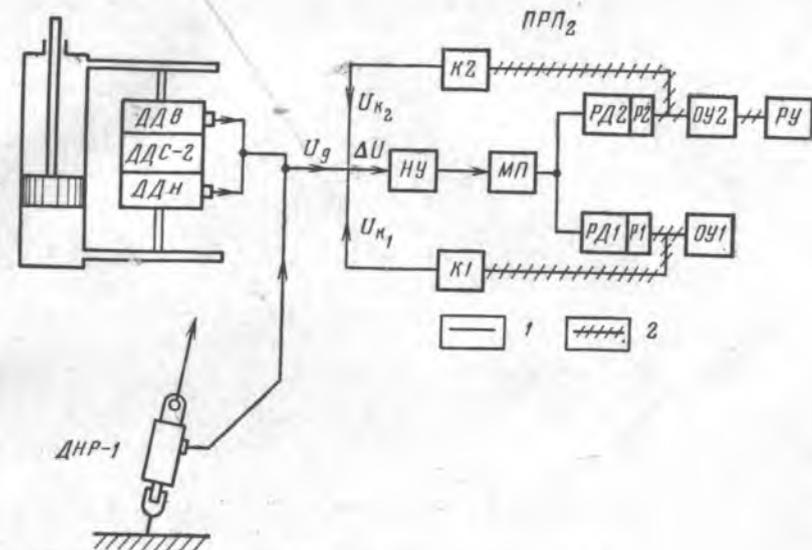


Рис. 6.6. Структурная схема МКН-2:

1 — электрические цепи; 2 — механические передачи

Усиленное напряжение в зависимости от положения механизма переключения МП поступает на управляющую обмотку реверсионного двигателя РД1 или РД2. Так как измерению осевой нагрузки всегда предшествует взвешивание бурового снаряда, то механизм переключения ставит в положение «Вес», и усиленное напряжение поступает на управляющую обмотку реверсивного двигателя РД1. В зависимости от знака фазы усиленного напряжения ротор двигателя через редуктор будет вращать в ту или иную сторону стрелку отсчетного устройства ОУ1 и рамку индукционного потенциометра К1. Последний будет вырабатывать напряжение  $U_{к1}$ , величина которого зависит от угла поворота рамки.

Указанная система работает до тех пор, пока напряжение  $U_{к1}$  компенсатора К1 не станет равным напряжению  $U_n$  преобразователя. В этом случае алгебраическая сумма напряжений, поступающих на усилитель, станет равной нулю, реверсионный двигатель остановится, а стрелка отсчетного устройства ОУ1 отклонится на угол, пропорциональный весу бурового снаряда.

После переключения механизма МП в положение «Нагрузка» начнет работать канал по измерению нагрузки. Стрелка отсчетного устройства ОУ1 останется в прежнем положении (до следующего взвешивания), а компенсатор К1 будет продолжать подачу напряжения  $U_{к1}$  на вход измерительной схемы.

При измерении осевой нагрузки на вход нуль-усилителя поступает алгебраическая сумма трех напряжений:  $U_n$ ,  $U_{к1}$ ,  $U_{к2}$ , и работа этого канала будет происходить до тех пор, пока алгебраическая сумма этих напряжений не станет равной нулю. В этом

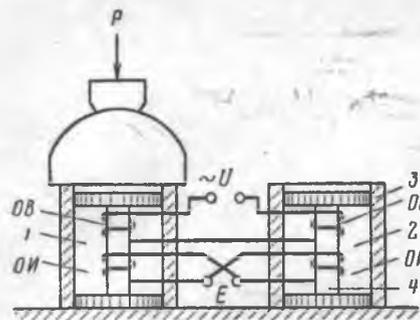


Рис. 6. 7. Электрическая схема магнитоупругого преобразователя

случае стрелка отсчетного устройства  $OY2$  покажет значение осевой нагрузки. Синхронно со стрелкой отсчетного устройства  $OY2$  работает перо регистрирующего устройства  $PY$ .

При измерении нагрузки на крюке на вход усилителя поступает алгебраическая сумма только двух напряжений:  $U_n$  — преобразователя и  $U_{K2}$  — компенсатора  $K2$ .

### Преобразователи

Электрические схемы преобразователей ДНР-1 и ДДС-2 идентичны.

Магнитоупругий преобразователь (рис. 6.7) состоит из двух элементов: чувствительного 1, воспринимающего измеряемое усилие (или давление), и компенсационного 2.

Каждый из элементов состоит из магнитопровода 3 и сердечника 4. Магнитопроводы выполнены в виде полых цилиндров из сплава Ю-12, обладающего анизотропией магнитных свойств. На сердечниках помещены катушки с обмотками возбуждения  $OB$  и измерительными  $OИ$ . Обмотки возбуждения соединены последовательно и питаются переменным током, измерительные — последовательно встречно.

При отсутствии сжимающего усилия  $P$  индуктивные сопротивления и напряжения возбуждения в обоих элементах одинаковы. В результате действия измеряемой нагрузки на магнитопровод 3 происходит его сжатие и изменение магнитной проницаемости. При этом напряжения возбуждения в обмотках  $OB$  перераспределяются, а индуцируемые напряжения в обмотках  $OИ$  становятся неравными. В результате на выходе преобразователя появляется электрический сигнал, равный разности этих напряжений. Корпус преобразователя ДНР-1 снабжен серьгой и проушиной, с помощью которых он соединяется с частями неподвижного конца каната талевой системы. Конструкцией также предусматривается преобразование растягивающего усилия, возникающего в неподвижном конце талевого каната, в усилие сжатия, сообщаемое чувствительному элементу преобразователя.

По обеим сторонам корпуса преобразователя ДДС-2 размещены гидравлические камеры (стаканы) 1,7 (рис. 6.8), полости ко-

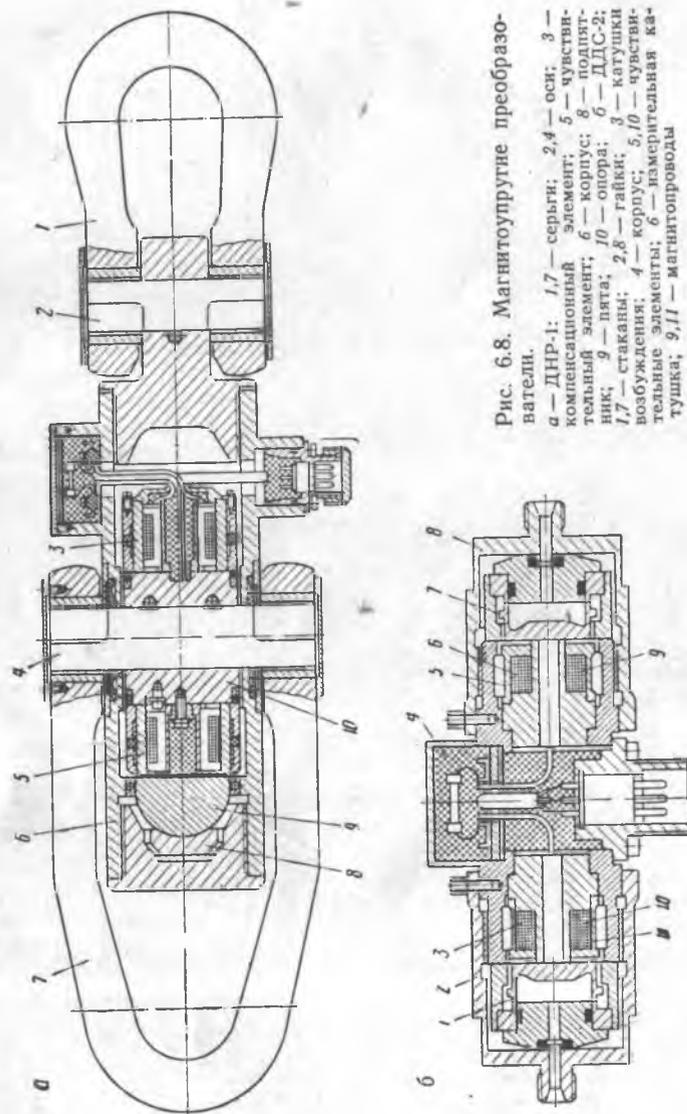


Рис. 6.8. Магнитоупругие преобразователи.  
а — ДНР-1; 1,7 — серьги; 2,4 — оси; 3 — компенсационный элемент; 5 — чувствительный элемент; 6 — корпус; 8 — подпятник; 9 — пята; 10 — опора; 6 — ДДС-2; 1,7 — стаканы; 2,8 — гайки; 3 — катушки возбуждения; 4 — корпус; 5,10 — чувствительные элементы; 6 — измерительная катушка; 9,11 — магнитопроводы

<sup>1</sup> У преобразователя ДДС-2 эти элементы могут менять свои функции в зависимости от того, какой из них воспринимает сжимающие усилие.

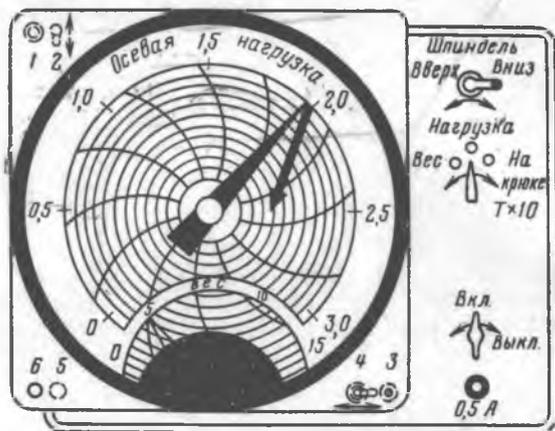


Рис. 6.9. Общий вид показывающего прибора ПРП-2:

1 — потенциометр; 2 — переключатель Т-Т:3; 3 — корректор нуля; 4 — переключатель; 5 — кнопка нуля; 6 — сигнальная лампа

торых трубопроводами соединяются соответственно с верхней и нижней частями гидроцилиндров подачи шпинделя станка.

В камерах происходит преобразование давления масла в сжимающее усилие, сообщаемое чувствительному элементу преобразователя.

### Показывающий и регистрирующий прибор ПРП-2

Основными узлами ПРП-2 (рис. 6.9) являются: корпус, шасси, передняя крышка.

Корпус прибора состоит из двух отсеков. В большем отсеке размещено шасси, а в меньшем — трансформатор, пакетный выключатель, держатель предохранителя, переключатель на три положения («Вес», «Нагрузка», «На крюке  $T \times 10$ »), переключатель на два положения («Шпиндель вверх», «Шпиндель вниз»).

- В верхней части корпуса имеются два кронштейна для крепления прибора к стене бурового здания, а внизу корпуса размещены штепсельные разъемы для подключения кабеля питания и кабелей связи с преобразователями.

- Ш а с с и имеет переднюю и заднюю панели. На задней панели смонтированы два реверсионных двигателя, два индукционных потенциометра, нуль-усилитель, конденсаторы, передаточные шестерни, оси стрелок регистрирующего устройства и завод часового механизма.

На передней панели внизу смонтированы: патрон сигнальной лампы, кнопка нуля, один или два корректора нуля (соответственно для работы с одним или двумя преобразователями) и вверху: переключатель с положениями: «Т — Т : 3» и потенциометр регулировки глубины обратной связи.

Передняя крышка посредством петель крепится к передней панели. Для фиксации в закрытом положении имеется клиновидный замок. В пазах крышки положен резиновый шнур, обеспечивающий герметизацию. Между крышкой и передней панелью располагается шкала. Крышка имеет окно через которое ведется наблюдение за показаниями прибора.

### Эксплуатация

После устройства заземления подключения кабелей и внешнего осмотра узлов измерителя пакетным выключателем прибор включается в сеть, о чем свидетельствует загорание сигнальной лампы. Прибор должен прогреться в течение 10—15 мин. Затем переключатель Т — Т : 3 устанавливается в положение «Т», а переключатель рода работ поочередно устанавливается в положения: «Вес», «Нагрузка», «На крюке  $T \times 10$ » (« $T \times 5$ »).

- В первом положении переключателя рода работ «Вес» и нахождении прибора гидроуправления станка в положении «Шпиндель вниз» красная стрелка нижней шкалы измерителя «Вес» устанавливается на нулевую отметку при помощи корректора нуля.

- Во втором положении переключателя рода работ «Нагрузка» черная стрелка большой шкалы «Нагрузка» должна установиться на нулевой отметке.

- В третьем положении «На крюке  $T \times 10$ » (« $T \times 5$ ») черная стрелка большой шкалы «Нагрузка» также должна установиться на нулевой отметке.

Если большая стрелка не устанавливается на нулевой отметке, то ее снимают с оси и переставляют механически. Часовой механизм заводится один раз в неделю.

Раз в сутки в одно и тоже время производится смена диаграммы. Диаграмма выставляется по времени и фиксируется зажимом. Перо регистратора заправляется специальными чернилами.

На этом подготовительные работы заканчиваются, и можно приступать к измерениям.

Измеритель МКН-2 для станка ЗИФ-650М с одним преобразователем (ДДС-2) имеет три режима работы:

- взвешивание; измерение осевой нагрузки при бурении с догрузкой; измерение осевой нагрузки при бурении с догрузкой.

Рассмотрим порядок работы измерителя МКН-2 с двумя преобразователями (ДДС-2 и ДНР-1) для станков ЗИФ-650М и ЗИФ-1200МР. Этот измеритель имеет четыре основных режима работы и один дополнительный.

1 режим — взвешивание.

Переключатель вида оснастки становится в положение «1 × 2» при двухструнной оснастке и «2 × 3» при четырехструнной. Переключатель Т — Т : 3 становится в положение «Т». Переключатель рода работ устанавливается в положение «Вес». Включается подача промывочной жидкости и вращение бурового снаряда с значениями параметров установленными для бурения в конкретных условиях, и производится свободный спуск бурового снаряда.

Не доходя до забоя скорость опускания бурового снаряда замедляется, и в момент остановки переключатель рода работ ставится в положение «Нагрузка». При этом прибор покажет и запомнит вспомогательное значение, отождествляемое с весом бурового снаряда.

*II режим* — измерение осевой нагрузки при бурении с разгрузкой. После выполнения операции взвешивания следует продолжить спуск бурового снаряда до установки черной стрелки большой шкалы «Нагрузка» на отметке, соответствующей намеченному значению осевой нагрузки.

*III режим* — измерение осевой нагрузки при бурении с догрузкой. После выполнения работ по взвешиванию бурового снаряда снимается давление в гидроцилиндре станка до постановки породоразрушающего инструмента на забой. Пробковый кран прибора гидроуправления станка устанавливается в положение «Шпindelъ вниз»; в такое же положение устанавливается верхний переключатель ПРП-2. Путем увеличения давления в верхних полостях гидроцилиндров осевую нагрузку доводят до требуемого значения.

*IV режим* — измерение нагрузки на крюке при спуско-подъемных операциях и аварийных работах.

Переключатель рода работ устанавливается в положение «На крюке  $T \times 10$ » (« $T \times 5$ »). При выполнении работ по подъему бурового снаряда или ловильного инструмента черная стрелка прибора по большой шкале «Нагрузка» укажет нагрузку на крюке. Показание прибора необходимо умножить на 10 при работе на станке ЗИФ-1200МР и на 5 — при работе на станке ЗИФ-650М.

*V режим (дополнительный)* — измерение изменения осевой нагрузки с увеличенным масштабом отсчета.

Этим режимом пользуются при встрече угольных пластов или подобных по физико-механическим свойствам полезных ископаемых.

Для этого после установки требуемого значения осевой нагрузки (по II режиму) переключатель Т — Т:3 устанавливается в положение «Т:3» при этом черная стрелка шкалы «Нагрузка» отклонится от своего положения, и для восстановления ее в прежнее положение потребуется регулировка винтом корректора.

При взятии отсчета следует помнить, что теперь одно деление составляет не 500 Н, а  $500 : 3 \approx 170$  Н.

## Глава 7

### ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ БУРЕНИЯ

#### § 1. ИЗМЕРЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ БУРЕНИЯ

Одними из основных показателей эффективности процесса бурения являются механическая и рейсовая скорости, которые могут быть вычислены по формулам или измерены приборами.

Величина механической скорости бурения позволяет судить о буримости пород с различными физико-механическими свойствами, рациональном выборе и стойкости породоразрушающего инструмента, правильности выбора параметров режима бурения.

В общем виде механическая скорость бурения может быть определена отношением длины пробуренного участка скважины к времени чистого бурения, т. е.

$$v_m = l/t_6 \quad (7.1)$$

где  $l$  — углубка, м;  $t_6$  — время чистого бурения, ч.

Величина углубки при колонковом бурении обычно зависит от длины колонковой трубы и стойкости породоразрушающего инструмента, но могут также быть ограничения по геологическим и другим причинам.

Пользуясь формулой (7.1), мы определяем усредненное значение механической скорости, так как за время углубки могут быть встречены породы с различными физико-механическими свойствами, бурение которых в отдельные короткие промежутки времени будет вестись с различной механической скоростью.

Для определения среднего значения механической скорости достаточно измерить проходку метром или по рейке на вспомогательном штоке вращателя станка и время чистого бурения этого участка вала часами или секундомером, а затем вычислить отношение этих величин.

Для этих же целей служит секундомер-спидометр, разработанный КазИМС.

#### Секундомер-спидометр

В основу прибора (рис. 7.1) положен стандартный секундомер, выпускаемый промышленностью. Изготовление прибора сводится к изготовлению шкал и наклейки их на циферблат секундомера. При массовом изготовлении шкалы могут быть отпечатаны типографским или фотоспособом.

Изготовление оригинала шкалы сводится к следующему.

На бумажном диске диаметром 42 мм из плотной бумаги вычерчиваются четыре окружности красного, зеленого, коричневого и синего цвета. Затем приступают к градуировке окружностей. Возможны два варианта градуировок: для пород VIII—XII категорий по буримости и для пород II—VIII категорий по буримости. Для пород VIII—XII категорий первая внешняя шкала имеет деления от 10 до 0,6 м/ч, вторая — от 0,6 до 0,3 м/ч, третья — от 0,3 до 0,2 м/ч и четвертая — от 0,2 до 0,15 м/ч.

Для пород II—VIII категорий внешняя окружность имеет деления от 25 до 3 м/ч, вторая — от 3 до 1,5 м/ч, третья — от 1,5 до 1,0 м/ч и четвертая — от 1 до 0,75 м/ч.

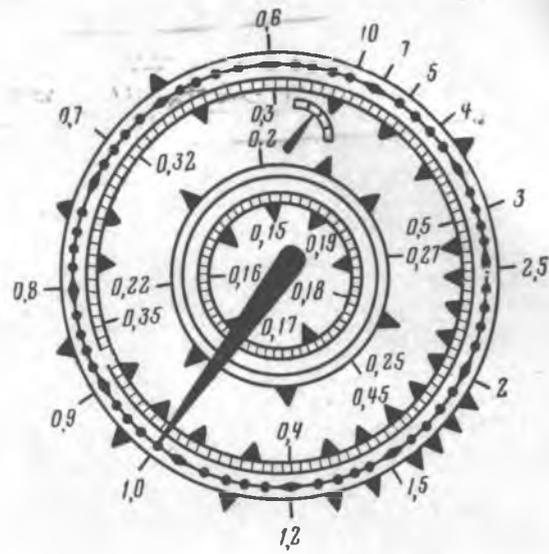


Рис. 7.1. Секундомер-спидометр

Для того чтобы знать, по какой окружности (шкале) брать отсчет, необходимо посмотреть на положение минутной стрелки. Из минутной шкалы оставлены только четыре деления, каждое из которых окрашено в те же цвета и в той же последовательности, что и окружности (шкалы) секундной стрелки.

Для измерения механической скорости бурения в породах VIII—XII категорий по буримости необходимо включить секундомер-спидометр в начале какого-либо сантиметрового деления, нанесенного на вспомогательном штоке вращателя станка, и остановить после проходки 1 см.

В породах II—VIII категории по буримости следует пользоваться прибором второго варианта, а мерным интервалом является проходка 5 см.

## § 2. ИЗМЕРЕНИЕ МГНОВЕННОЙ СКОРОСТИ БУРЕНИЯ

Мгновенная механическая скорость — это проходка за бесконечно малый отрезок времени  $\Delta t$ :

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{dl}{dt} = v_{\text{мг.м}} \quad (7.2)$$

Мгновенная механическая скорость в течение углубки будет меняться в соответствии с изменением физико-механических свойств разбуриваемых пород.

## Измеритель скорости бурения — ИСБ

Одним из электрических приборов, предназначенных для измерения условно-мгновенной<sup>1</sup> механической скорости бурения является прибор ИСБ (рис. 7.2), созданный СКБ ВПО «Союзгеотехника».

В состав ИСБ входят: привод I, гибкий вал II, измерительный преобразователь III и пульт IV.

Привод (рис. 7.2, а) состоит из зубчато-реечной передачи I и редуктора 2. Зубчатая передача служит для преобразования поступательного движения штока вращателя станка во вращательное движение на выходном валу, а редуктор — для повышения частоты вращения. От привода вращательное движение передается на измерительный преобразователь скорости гибким валом.

Гибкий вал проволочный, правого вращения, заключен в защитный шланг высокого давления.

Преобразователь скорости состоит из тахогенератора 5, повышающего редуктора 4 и муфты одностороннего действия 3.

В качестве тахогенератора служит асинхронный электродвигатель с полным ротором АДП-262, работающий в генераторном режиме.

Выходное напряжение с тахогенератора кабелем подается на вход измерительного пульта.

Муфта одностороннего действия обеспечивает работу тахогенератора при движении шпинделя бурового станка вниз и отключение тахогенератора при холостом ходе шпинделя вверх.

На лицевой стороне измерительного пульта (рис. 7.2, б) размещены: измерительный прибор 3 — микроамперметр М325, пакетный выключатель I, сигнальная лампа 5, тумблер пределов измерения 4, корпус предохранителя 2 и гнезда для подключения регистратора 6. Внутри пульта на плате находятся элементы электрической схемы, а снизу установлены разъемы для подключения кабелей питания связи с тахогенератором и зажим защитного заземления.

## Принцип работы

Электрическая схема прибора ИСБ показана на рис. 7.3. Напряжение питания (380 В, 50 Гц) через пакетный выключатель В1 и предохранитель Пр подается на феррорезонансный стабилизатор напряжения представленный трансформатором Тр, дросселем Др и конденсаторами С2 и С3. Ко вторичным обмоткам трансформатора Тр1 подключены: сигнальная лампа СЛ, трансформатор Тр2 и обмотка возбуждения тахогенератора.

<sup>1</sup> Благодаря наличию фильтра нижних частот у прибора ИСБ происходит некоторое усреднение значений мгновенной механической скорости, что вызвало введение термина условно-мгновенная механическая скорость.



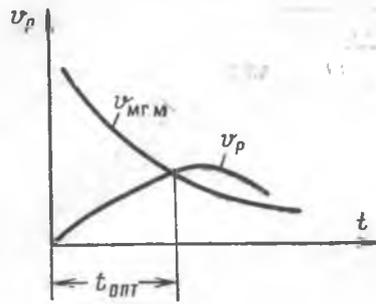


Рис. 7.4. График определения оптимального времени работы породоразрушающего инструмента на забое

и автоматизации работ по захвату бурильных труб и их свинчиванию-развинчиванию, состояние и качество вспомогательного инструмента, принятая организация работ на буровой и слаженность работы буровой вахты.

По величине мгновенной механической и рейсовой скорости можно определить оптимальное время нахождения породоразрушающего инструмента на забое.

На рис. 7.4 показан характер кривых мгновенной механической  $v_{мг.м}$  и рейсовой  $v_r$  скоростей.

Если мгновенная механическая скорость в результате износа породоразрушающего инструмента (при бурении однородных пород) постепенно снижается, то рейсовая скорость вначале достигает максимума, а затем тоже начинает снижаться.

Момент достижения максимума рейсовой скорости (при  $v_{мг.м} = v_{р. max}$ ) определит оптимальное время нахождения породоразрушающего инструмента на забое<sup>1</sup>.

Максимум рейсовой скорости и  $t_{опт}$  можно определить как расчетом, так и с помощью специального прибора (автоопределитель ДГИ).

Пример определения максимума рейсовой скорости путем расчета дан в виде вывода:

$l_i$ , м	2,0	3,5	5,0	7,0	8,5	9,5	10,2	10,7
$t_6$ , ч	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
$\Sigma t_i$ , ч	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
$v_r = \frac{l_i}{t_6 + \Sigma t_i}$ , м/ч	0,8	1,17	1,43	1,75	1,89	1,90	1,85	1,78

Из вывода видно, что максимум рейсовой скорости  $v_{р. max} = 1,90$  м/ч был достигнут через 3 ч ( $t_6 = 3$  ч). Это время является оптимальным временем работы породоразрушающего инструмента на забое.

### Приборы для измерения рейсовой скорости бурения

Приборы для измерения рейсовой скорости бурения промышленностью не выпускаются.

<sup>1</sup> Такое явление наблюдается при бурении затупляющимся породоразрушающим инструментом мощных толщ однородных пород. В других случаях: бурение перемежающихся по крепости пород, при ограничении проходки за рейс, применения алмазного породоразрушающего инструмента с большим ресурсом проходки — кривые механической и рейсовой скоростей могут не пересекаться.

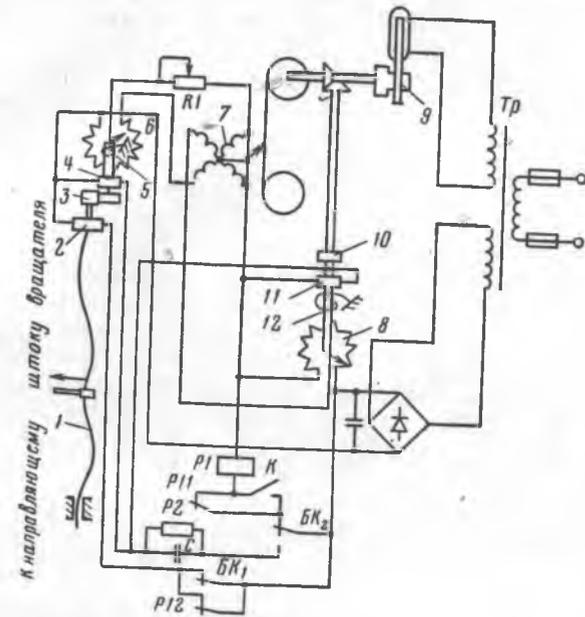


Рис. 7.5. Принципиальная схема регистратора рейсовой скорости

Однако известен ряд экспериментальных разработок, созданных Днепропетровским горным институтом (ДГИ), Казахским институтом минерального сырья (КазИМС) и др.

Прибор, разработанный ДГИ, — автоопределитель ДГИ — предназначен для определения рациональной продолжительности рейса при бурении станками со свободной подачей породоразрушающего инструмента. Прибор снабжен световой и звуковой сигнализацией, включаемыми в момент достижения максимума рейсовой скорости.

Прибор, разработанный КазИМС, позволяет производить измерения и регистрацию рейсовой скорости бурения при работе на станках со шпиндельной подачей породоразрушающего инструмента.

Рассмотрим принцип работы регистратора рейсовой скорости (рис. 7.5).

На рамки магнитоэлектрического логометра 7 поступают два электрических сигнала: на одну рамку сигнал, пропорциональный суммарной проходке, а на вторую — пропорциональный времени рейса.

В результате этого стрелка логометра показывает, а перо самозаписывающей системы записывает на диаграммной ленте отношение этих двух величин, т. е. рейсовую скорость бурения.

Сигнал суммарной проходки поступает на логометр с реохорда 6, часть протяженности которого (пропорциональная проходке)

замыкается подвижным контактом. Этот контакт получает вращательное движение от преобразователя проходки (винтовая пара 1) через электромагнитные муфты 2, 4 и редуктор 3. Благодаря редуктору за один рабочий ход шпинделя вниз подвижной контакт проходит только часть окружности реохорда, что позволяет суммировать ряд проходок за рейс.

Сигнал времени рейса на логометр поступает от реохорда 8, подвижной контакт которого приводится в движение синхронным двигателем 9 через редуктор 10 и электромагнитную муфту 11.

Конечный выключатель БК связан с работой шпинделя и в конечных его положениях производит включение и выключение электромагнитной муфты 2 и тем самым исключает движение подвижного контакта при холостом ходе шпинделя вверх.

Конечный выключатель БК обеспечивает автоматический сброс показаний прибора и возврат его преобразователей в исходное положение (БК — отключает электромагнитные муфты 4 и 11 после чего действием возвратных пружин 5 и 12 подвижные контакты реохордов возвращаются в исходное положение). Это происходит после окончания рейса, когда станок перемещается в направлении от устья скважины.

## Глава 8

### ИЗМЕРЕНИЕ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА И ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ

Измерение и регистрация крутящего момента позволяет судить о характере буримых пород, о мощности, затрачиваемой на бурение и спуско-подъемные операции, и производить анализ баланса рабочего времени бурового станка.

По принципу действия измерители крутящего момента можно разбить на четыре группы.

Работа приборов первой группы основана на свойстве ферромагнитных материалов изменять свою магнитную проницаемость под действием механических сжатий и растяжений, возникающих в материале при передаче крутящего момента. Изменение магнитной проницаемости фиксируется магнитоупругим преобразователем, на выходе которого создается переменная э. д. с., пропорциональная крутящему моменту. Эта э. д. с. измеряется прибором.

В приборах второй группы изменение крутящего момента вызывает перемещение механических деталей, воздействующее на мембрану. Это, в свою очередь, приводит к изменению давления масла, измеряемого прибором манометрического типа.

Работа приборов третьей группы основана на зависимости между крутящим моментом, действующим на шпиндель бурового станка, и активной мощностью, потребляемой электродвигателем этого станка. К приборам данной группы относятся соответствующим образом переделанные показывающие и самопишущие ватт-

метры, а также измеритель и автоматический ограничитель крутящего момента ОМ-40, рассматриваемые в данной главе.

В приборах четвертой группы, к которым относится описываемый в данной главе измеритель крутящего момента ИКМ, изменение момента вызывает пространственное перемещение деталей преобразователя, передаваемое с помощью сельсинной пары и реверсивного двигателя на показывающий и регистрирующий приборы.

### § 1. ИЗМЕРИТЕЛЬ И АВТОМАТИЧЕСКИЙ ОГРАНИЧИТЕЛЬ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ОМ-40

Прибор ОМ-40 предназначен для: измерения крутящего момента на шпинделе бурового станка с асинхронным электродвигателем и ступенчатой коробкой передач; предупредительной сигнализацией о превышении крутящим моментом заранее заданной величины; автоматического ограничения крутящего момента путем отключения электродвигателя станка или путем подъема бурового инструмента (при бурении с гидравлической подачей); оценки нагрузки на крюк талевой системы, предупредительной сигнализации о перегрузке при подъеме бурового инструмента и автоматического ограничения нагрузки на крюк талевой системы.

#### Техническая характеристика прибора ОМ-40

Предел измерения крутящего момента, Н · м	0—2500
Предел измерения нагрузки на крюке (при 4-струнной оснастке), кН	0—250
Установки сигнализации перегрузки при бурении, Н · м	250; 500; 750; 1000; 1250; 1500
Установки сигнализации перегрузки при подъеме бурового инструмента, кН	25; 50; 75; 100; 125; 150
Установки автоматического ограничения момента, Н · м	750; 1000; 1500; 2000; 2500
Основная приведенная погрешность измерения, %	±4
Питание—сеть переменного тока	$U = 380 \text{ В} \pm 20\%$ $f = 50 \text{ Гц} \pm 5\%$
Допустимая температура окружающей среды, °С	от -40 до +50
Масса пульта прибора, кг	15

Прибор комплектуется в двух вариантах. В комплект 1, обеспечивающий автоматическое ограничение крутящего момента только путем отключения электродвигателя бурового станка, входят пульт прибора ОМ-40, трансформатор тока и кабель питания. Этот комплект можно устанавливать как при бурении со свободной подачей, так и при бурении с гидроподачей.

В комплект 2, обеспечивающий автоматическое ограничение момента отключением электродвигателя или подъемом бурового инструмента, дополнительно входят панель гидравлической защиты, кабель этой панели и пять гидравлических рукавов. Этот ком-

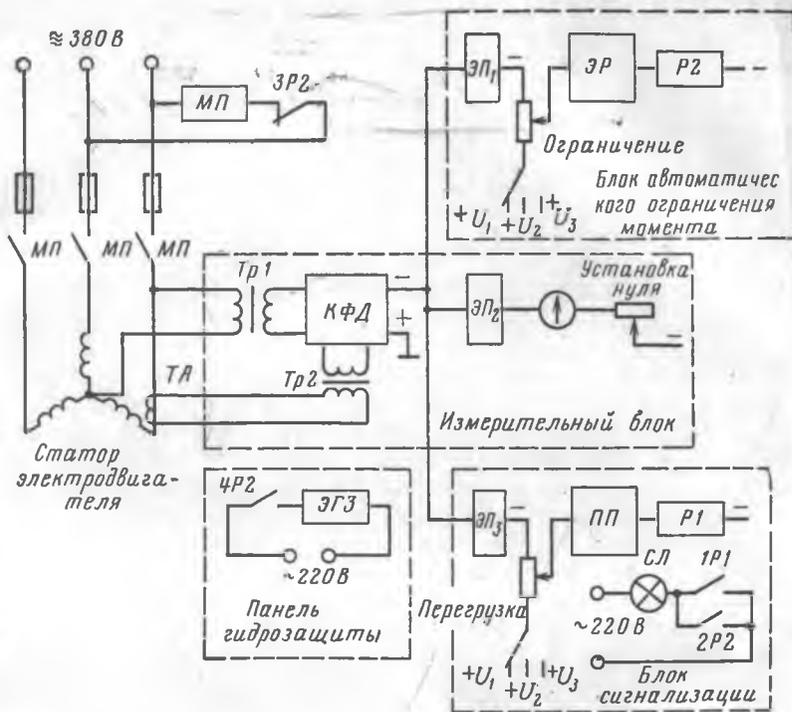


Рис. 8.1. Структурная схема прибора ОМ-40

плект можно устанавливать только на станках, оборудованных гидравлической подачей.

### Принцип работы

Структурная схема прибора ОМ-40, показанная на рис. 8.1, состоит из трех основных частей: измерительного блока, блока сигнализации и блока автоматического ограничения момента.

В состав измерительного блока входят два трансформатора  $Tr1$  и  $Tr2$ , квадратичный фазовый детектор КФД, эмиттерный повторитель  $ЭП_2$  и измерительный прибор магнитоэлектрической системы. Первичная обмотка трансформатора  $Tr1$  включена между одним из линейных проводов и средней точкой обмоток статора электродвигателя, благодаря чему на нее подается фазовое напряжение  $U_\phi$ . Первичная обмотка трансформатора  $Tr2$  присоединена к трансформатору тока ТА, включенному в линейный провод, благодаря чему напряжение, подаваемое на эту обмотку, пропорционально фазному току  $I_\phi$ .

Квадратичный фазовый детектор преобразует поданные на него переменные напряжения в напряжение постоянного тока, пропорциональное активной мощности. Необходимость фазового детекти-

рования объясняется тем, что активная мощность и поэтому величина постоянного напряжения на выходе детектора должна зависеть не только от величин поданных на его вход напряжений, но и от соотношения фаз между ними. Если входные напряжения совпадают по фазе, угол сдвига фаз  $\varphi = 0$ ,  $\cos \varphi = 1$ , и в этом случае активная мощность  $P = UI$ . Если же входные напряжения сдвинуты относительно друг друга на четверть периода, угол сдвига фаз  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\cos \varphi = 0$ , и активная мощность в этом случае также равна нулю.

С выхода фазового детектора постоянное напряжение, пропорциональное измеряемой мощности, а следовательно, и крутящему моменту подается через эмиттерный повторитель  $ЭП_2$  на измерительный прибор магнитоэлектрической системы. Эмиттерный повторитель согласовывает высокое выходное сопротивление фазового детектора с низким сопротивлением прибора. Шкала прибора отградуирована от 0 до 250 кгс·м, максимальному отклонению стрелки соответствует напряжение 3 В. В приборе предусмотрен делитель, обеспечивающий одинаковое напряжение при одинаковом моменте независимо от скорости вращения шпинделя бурового станка.

При холостом вращении бурового инструмента, когда крутящий момент равен нулю, двигатель все же потребляет определенную активную мощность, на выходе фазового детектора появляется напряжение, но стрелка прибора при этом должна находиться на нуле. Это достигается подачей на измерительный прибор встречного напряжения через переменное сопротивление «Установка нуля».

В состав блока сигнализации входят эмиттерный повторитель  $ЭП_3$ , пульс-пара ПП, собранная на двух транзисторах, реле Р1 и переключатель-уставка «Перегрузка». Отрицательное по отношению к корпусу напряжение постоянного тока с выхода фазового детектора через эмиттерный повторитель поступает на базу первого транзистора пульс-пары. Одновременно на базу с переключателя «Перегрузка» подается определенное положительное напряжение, соответствующее выбранному для сигнализации значению крутящего момента. Пока крутящий момент не превышает установленного значения, отрицательное напряжение, снимаемое с выхода фазового детектора, меньше положительного напряжения, подаваемого на базу с переключателя «Перегрузка», транзистор заперт, пульс-пара не работает, реле Р1 обесточено, его контакты 1Р1 разомкнуты и сигнальная лампа СЛ не горит. Когда же крутящий момент превысит установленное значение, напряжение на выходе фазового детектора будет больше напряжения уставки, результирующее напряжение на базе станет отрицательным, транзистор откроется и пульс-пара заработает. Через обмотку реле Р1, включенную в цепь коллектора второго транзистора пульс-пары, будут проходить импульсы тока, контакты 1Р1 начнут периодически замыкаться и размыкаться и лампа будет мигать, сигнализируя о перегрузке.

В состав блока автоматического ограничения момента входят эмиттерный повторитель ЭП, электронное реле ЭР, электромагнитное реле Р2 и переключатель-уставка «Ограничение». Пока крутящий момент не превышает значения, установленного для ограничения, положительное напряжение, подаваемое с переключателя установки, больше отрицательного напряжения, поступающего с фазового детектора через эмиттерный повторитель, результирующее напряжение на базе транзистора ЭР — положительное, транзистор закрыт и реле Р2 обесточено. Замкнутые контакты ЗР2 не прерывают цепь питания магнитного пускателя МП, а разомкнутые контакты 2Р2 и 4Р2 не замыкают цепи сигнальной лампы и электрогидравлического золотника. Когда же крутящий момент превысит установленное для ограничения значение, результирующее напряжение на базе транзистора ЭР станет отрицательным, транзистор откроется, включенное в его коллекторную цепь реле Р2 сработает и самозаблокируется. При этом контакты ЗР2 разомкнут цепь магнитного пускателя, который отключит статор электродвигателя от питающей сети, что приведет к остановке станка. Контакты 2Р2 замкнут цепь сигнальной лампы, а контакты 4Р2 — цепь обмотки соленоида электрогидравлического золотника, находящегося на панели гидравлической защиты; последнее приведет к подъему бурового инструмента. Возврат схемы в исходное положение осуществляется нажатием кнопки «Съем», разрывающей цепь самоблокировки реле Р2 (на рис. 8.1 не показана).

### Эксплуатация

Пульт прибора крепится на стене буровой, трансформатор тока монтируется внутри магнитной станции, а панель гидрозащиты — на буровом станке. Электрическое соединение узлов аппаратуры осуществляется с помощью кабелей, входящих в комплект прибора.

Для подготовки прибора к работе необходимо включить питание и при холостом ходе электродвигателя станка ручкой «Установка нуля» поставить стрелку прибора на нуль. При этом переключатель шкалы прибора должен находиться в положении, соответствующем скорости вращения бурового станка. Затем устанавливаются в требуемое положение переключатели уставок «Перегрузка» и «Ограничение».

В процессе эксплуатации необходимо устанавливать прибор на нуль после окончания каждого рейса, но не реже одного раза в смену и каждый раз при изменении частоты вращения шпинделя. При спуско-подъемных операциях переключатели «Перегрузка» и «Ограничение» следует устанавливать в положение «Отключено».

### § 2. ИЗМЕРИТЕЛЬ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ИКМ

Прибор ИКМ применяют при глубоком эксплуатационном бурении. Этот прибор может применяться самостоятельно для измерения одного параметра или в комплекте пульта контроля про-

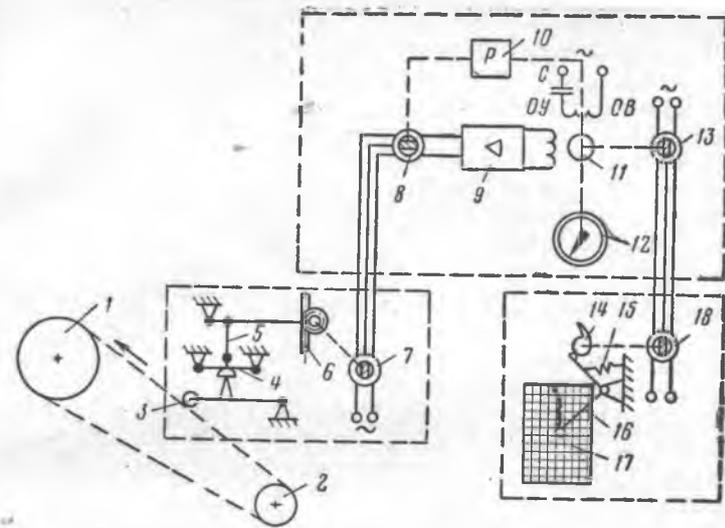


Рис. 8.2. Измеритель крутящего момента ИКМ

цесса бурения ПКБ-3. Принципиальная схема прибора ИКМ показана на рис. 8.2.

Преобразователь момента 1 монтируется в специальном приспособлении ПДМ1, состоящем из крепежной плиты и натяжного ролика. Натяжной ролик 3 располагается посередине между центрами цепных колес ротора 2 и лебедки 1, соприкасаясь с поверхностью цепи, имеющей заранее установленную стрелу прогиба. При передаче крутящего момента происходит натяжение цепи, в результате чего создается усилие на балку 4 измерительного элемента, вызывающее ее изгиб. Через дезаксиальный кривошипно-преобразователь 5 и трибосекторную передачу 6 прогиб балки преобразуется в угловое перемещение, сообщаемое ротору сельсина-приемника 8, включение осуществлено по трансформаторной схеме. При такой схеме напряжение питания подается только к обмоткам возбуждения сельсина-преобразователя. Величина и фаза наведенного напряжения в однофазной обмотке сельсина-приемника будет определяться разностью положений роторов сельсина-приемника ОУ реверсивного двигателя 11 (РД-09), который будет вращать ротор сельсина-приемника до тех пор, пока угол рассогласования, а следовательно, и выходное напряжение сельсина-приемника не станет равным нулю. Вал реверсивного двигателя механически связан со стрелкой показывающего прибора 12, дублирующим сельсином 13 и через редуктор 10 с сельсин-приемником 8.

Дублирующий сельсин указателя соединен с сельсином регистратора 18 по индикаторной схеме. На оси регистрирующего сельсина посажен кулачок 14, отключающий водило 16 с пером 17. Водило прижимается к кулачку пружинной 15. Запись показаний возможна на круглом бланке или диаграммной ленте. Наличие в составе схемы реверсивного двигателя с редуктором ( $i = 1/137$ ) замедляет действие прибора и тем самым исключает размазывание записи из-за резких динамических нагрузок, возникающих при движении цепи.

### § 3. САМОПИШУЩИЙ ВАТТМЕТР Н-348

Всякое изменение механической нагрузки на валу электродвигателя приводит к изменению частоты вращения его ротора, что в свою очередь вызывает изменение тока ротора, а следовательно, и тока, поступающего в статор.

Активная мощность, потребляемая трехфазным электродвигателем от сети,

$$P_1 = \sqrt{3}UI \cos \varphi, \quad (8.1)$$

где  $P_1$  — активная мощность, Вт;  $U$  — линейное напряжение, В;  $I$  — линейный ток, А;  $\varphi$  — угол сдвига фаз между фазным напряжением и фазным током.

С другой стороны, вращающий момент на валу двигателя, а следовательно, и крутящий момент, действующий на шпиндель бурового станка,

$$M_2 = 975 \frac{P_2}{n_2}, \quad (8.2)$$

где  $M_2$  — вращающий (крутящий) момент, Н·м;  $P_2$  — полезная мощность на валу двигателя, кВт;  $n_2$  — частота вращения ротора двигателя.

Отношение полезной мощности к потребляемой есть не что иное, как к. п. д. двигателя:

$$\eta = P_2/P_1. \quad (8.3)$$

Таким образом, крутящий момент может быть выражен через потребляемую мощность, к. п. д. и частоты вращения двигателя:

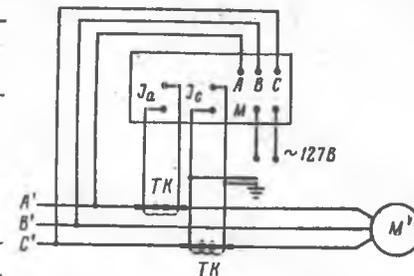
$$M_2 = \frac{975\eta P_1}{n_2}, \quad (8.4)$$

где  $P_1$  — потребляемая двигателем мощность, кВт.

При подсчете крутящего момента необходимо учитывать, что часть мощности, потребляемой двигателем от сети, затрачивается на холостое вращение. Поэтому  $P_1 = P_\omega - P_{х.х.}$ , где  $P_\omega$  — показание ваттметра, а  $P_{х.х.}$  — мощность холостого хода. Кроме того, при градуировке однофазных ваттметров учитывается также, что мощность, потребляемая трехфазным двигателем, в три раза больше мощности, поступающей на прибор.

Таблица 6

Тип станка	Рекомендуемый трансформатор
ЗИФ-300М	ТК-40-50/5
СБА-500Э	ТК-40-75/5
ЗИФ-650М	
ЗИФ-1200МР	ТК-40-150/5



Пример. При частоте вращения шпинделя бурового станка  $n = 128$  об/мин однофазный ваттметр показал мощность  $P_\omega = 12$  кВт. Определить крутящий момент, если к. п. д. двигателя  $\eta = 0,8$ , а мощность холостого хода  $P_{х.х.} = 1$  кВт.

$$P_1 = P_\omega - P_{х.х.} = 12 - 1 = 11 \text{ кВт};$$

$$M = 3 \frac{975\eta P_1}{n} = 3 \frac{975 \cdot 0,8 \cdot 11}{128} = 2000 \text{ Н·м.}$$

Рис. 8.3. Схема подключения прибора Н-348 к сети;

$A', B', C'$  — клеммы подключения напряжения;  $J_a, J_c$  — токовые клеммы; ТК — трансформатор тока; М — электромотор лентопротяжного механизма прибора; М' — электромотор привода станка

Самопишущие ваттметры ферродинамической системы Н-348 получили в настоящее время широкое применение в организациях МГ СССР. Эти приборы используются для измерения и непрерывной записи активной или реактивной мощности в сетях трехфазного переменного тока без нулевого провода с неравномерной нагрузкой фаз.

Приборы дешевы, недефицитны и просты в обслуживании.

Для использования их на буровой требуются незначительные переделки:

а) корпус прибора помещается в металлический кожух, снабженный с лицевой стороны крышкой с защитным стеклом. На верхней части кожуха размещаются проушины для крепления к кронштейну посредством амортизирующих пружин;

б) подключение прибора к сети (рис. 8.3) осуществляется через два токовых трансформатора (ТК-40) со вторичным током 5 А при номинальном напряжении 380 В. Подбор трансформатора осуществляется в соответствии с мощностью электродвигателя станка (табл. 6).

Трансформаторы тока устанавливаются на монтажной панели каркаса магнитной станции станка.

Сечение кабеля для подключения первичной обмотки трансформатора берется такое же, как и для подключения электродвигателя станка, а для подключения измерительных цепей 1,5—2,5 мм<sup>2</sup>.

Подключение мотора М лентопротяжного механизма осуществляется через понижающий трансформатор или фазу и нуль. Корпус прибора и трансформаторы тока заземляются;

в) в соответствии с новым коэффициентом трансформации тока необходимо проградуировать шкалу показаний мощности прибора.

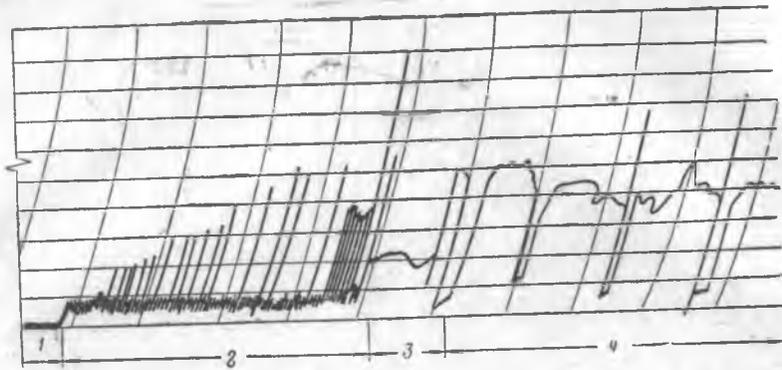
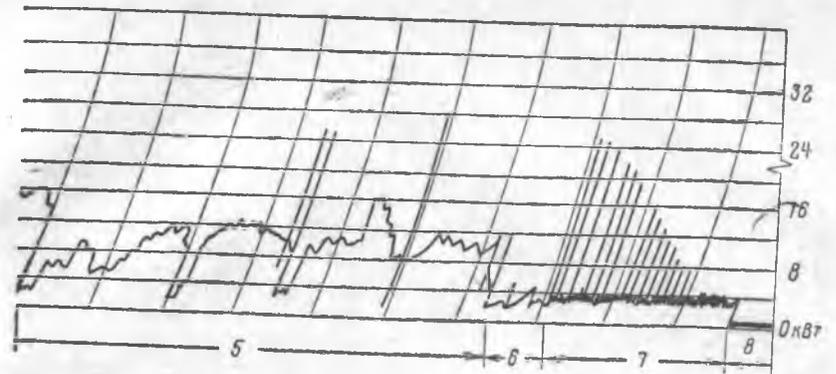


Рис. 8.4. Запись баланса рабочего времени на диаграммной ленте прибора Н-348:  
 1 — замена коронки,  $t_1 = 5$  мин; 2 — подъем бурового снаряда,  $t_2 = 41$  мин; 3 — заклинивание той вращения  $377 \text{ мин}^{-1}$ ,  $t_3 = 65$  мин; 6 — посадка бурового снаряда на забой,  $t_6 = 8$  мин; 7 —



керна,  $t_5 = 10$  мин; 4 — бурение с частотой вращения  $699 \text{ мин}^{-1}$ ,  $t_4 = 47$  мин; 5 — бурение с частотой вращения  $377 \text{ мин}^{-1}$ ,  $t_5 = 25$  мин; 8 — замена коронки,  $t_8 = 6$  мин

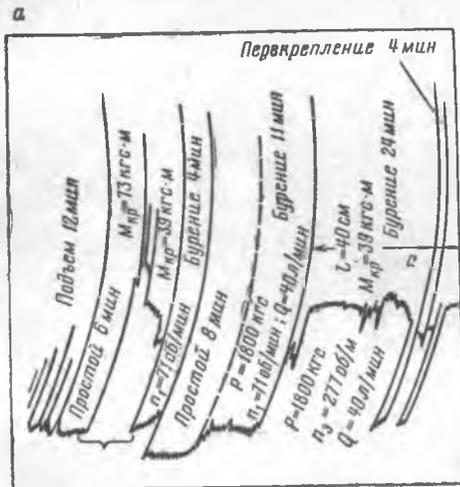
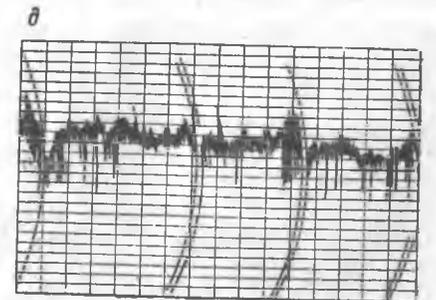
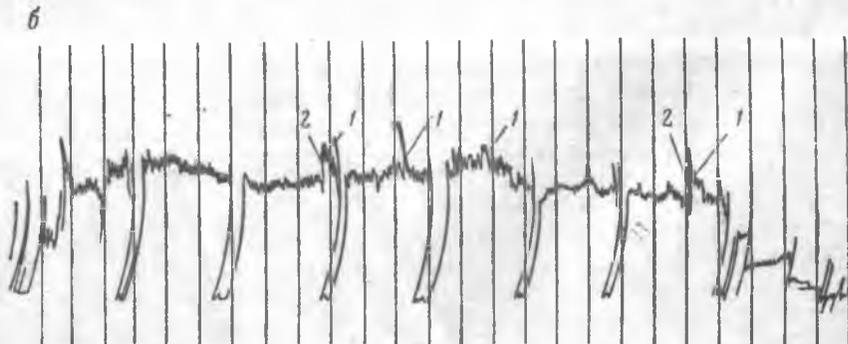
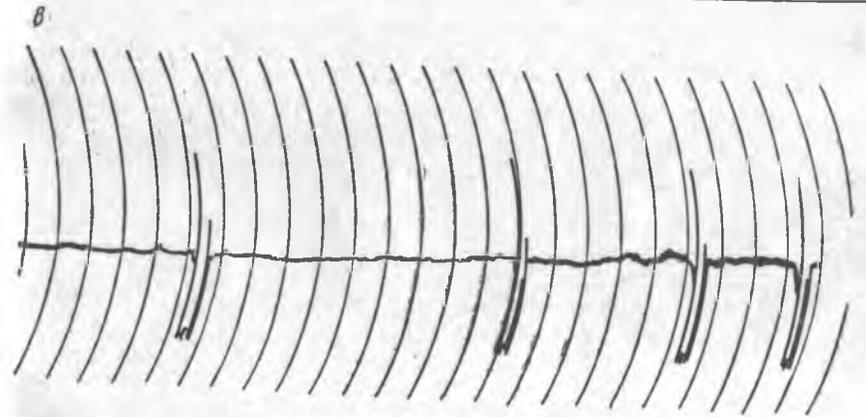
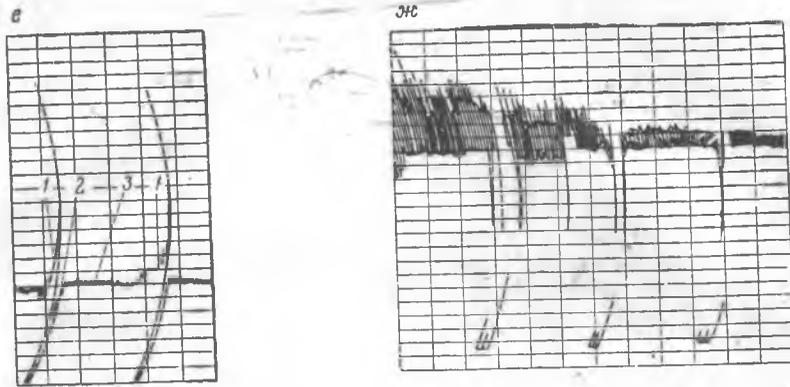


Рис. 8.5. Расшифровка записей диаграммной ленты Н-348.

а — прижог коронки: с — нормальная работа коронки; б — повышенный износ алмазной коронки; 1 — увеличение температуры поверхностного слоя матрицы; 2 — отрыв ослабленного слоя матрицы; в — заполирование алмазной коронки; г — вибрация бурового снаряда; д — бурение по трещиноватым породам; е — аномальные осевые нагрузки; 1 — повышенный расход мощности при неправильном перекреплении шпинделя; 2 — зависание бурового снаряда в конце хода шпинделя при пониженной нагрузке; 3 — рабочая осевая нагрузка; ж — пилообразное возрастание потребляемой мощности из-за износа коронки





Продолжение рис. 8.5.

Показания прибора записываются на диаграммной ленте специальными чернилами; скорость движения диаграммной ленты от 20 до 5400 мм/ч. Оптимальное значение скорости движения ленты 60 мм/ч (в этом случае одного рулона ленты достаточно для непрерывной работы прибора в течение 7 сут).

Пользуясь формулой (8.4), по потребляемой мощности и частоте вращения можно определить значение крутящего момента.

#### § 4. РАСШИФРОВКА ЗАПИСЕЙ С ДИАГРАММНОЙ ЛЕНТЫ САМОПИШУЩЕГО ВАТТМЕТРА

Запись показаний прибора ведется в криволинейных координатах. По оси абсцисс откладывается время (при скорости протяжки 60 мм/ч масштаб времени — 1 мм в 1 мин). По оси ординат откладывается потребляемая мощность или крутящий момент [после пересчета по формуле (8.4)].

Несмотря на кажущуюся простоту, при высокой квалификации расшифровки диаграмма может представить больше информации, чем это представляется на первый взгляд.

1. Мощность и момент расходуемые непосредственно на бурение.

2. Баланс рабочего времени — объективное отражение затрат времени по видам работ, а иногда и операциям.

При анализе баланса времени представляется возможным выявить резервы за счет внутрисменных простоев, сравнить работу отдельных вахт или бригад, более объективно проанализировать выполнение норм выработки.

Если же такой анализ производить по записям в буровом журнале, то за счет небрежного, а иногда и недобросовестного отношения к записи расхождения по отдельным видам работ по сравнению с объективными могут составлять 5—20%. Пример баланса времени за рейс приведен на рис. 8.4.

3. С помощью записей самопишущего ваттметра (при этом не всегда важны абсолютные значения потребляемой мощности, а бывает достаточным только характер кривых) устанавливается устойчивая обратная связь между бурильщиком и некоторыми процессами, происходящими в скважине: условиями работы бурового снаряда и породоразрушающего инструмента (чаще всего алмазной коронки) (рис. 8.5).

*Прижог коронки* (рис. 8.5, а). Если при нормальном процессе бурения потребляемая мощность (отрезок с) составляла 39 кгс·м, то во время прижога потребляемая мощность возросла в 2 раза.

*Повышенный износ алмазной коронки* (рис. 8.5, б).

Участки 1—2 отражают работу алмазной коронки в режиме повышенного износа. С повышением температуры поверхностного слоя матрицы потребляемая мощность резко возрастает 1, а при отрыве ослабленного слоя матрицы — снижается до начального уровня 2.

*Заполирование алмазной коронки* (рис. 8.5, в).

Процесс заполирования алмазной коронки выражается постепенным снижением затрат мощности и одновременным снижением механической скорости.

*Вибрация бурового снаряда* (рис. 8.5, г).

В этом случае на диаграмме наблюдается симметричное отклонение экстремальных значений относительно среднего уровня затрат мощности.

*Бурение по трещиноватым породам* (рис. 8.5, д).

Запись характеризуется скачкообразным изменением затрат мощности; если трещиноватость перпендикулярна к оси скважины, то затраты мощности могут резко уменьшиться. В остальных случаях затраты мощности нестабильны.

*Аномальные осевые нагрузки в начале и в конце хода шпинделя* (рис. 8.5, е).

*Пикообразное возрастание потребляемой мощности из-за износа коронки по внутреннему диаметру* (рис. 8.5, ж).

## Глава 9

### ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА И РАСХОДА ЖИДКОСТИ И ГАЗА

В практике горно-буровых работ часто производят измерения количества и расхода различных жидкостей, смесей, воздуха и газа. Так, например, при бурении разведочных и эксплуатационных скважин необходимо контролировать количество подаваемой в скважину промывочной жидкости или газа. При тампонировании скважин обязательно измеряют количество закачиваемых смесей и растворов, что позволяет контролировать подачу тампонажного раствора в нужном количестве и в заданный участок скважины.

Измерения количества и расхода также производят при определении дебита и удельного дебита в эксплуатационных скважинах на нефть, газ и воду.

*Количество* — это масса или объем вещества, протекающего по трубопроводу за любой отрезок времени:

$$Q' = qn, \quad (9.1)$$

где  $Q'$  — измеренное количество вещества;  $q$  — количество вещества, проходящее через прибор за один рабочий ход;  $n$  — число ходов механизма, измеряющего количество.

*Расход* — это количество вещества, протекающего по трубопроводу в единицу времени:

$$Q = Fv, \quad (9.2)$$

где  $Q$  — расход вещества;  $F$  — площадь потока в сечении трубопровода;  $v$  — скорость потока вещества.

Количество вещества измеряют в кг и м<sup>3</sup>, объемный расход газов, воздуха и жидкостей — в м<sup>3</sup>/ч, м<sup>3</sup>/мин, м<sup>3</sup>/с, а массовый расход — в кг/с, кг/мин, кг/ч, т/ч.

Приборы для измерения количества называются счетчиками, а для измерения расхода — расходомерами.

Возможна также комбинированная конструкция прибора, когда расходомер снабжается счетным устройством. В этом случае измеряют одновременно расход и количество.

Таблица 7

Технические данные поверхностных расходомеров промывочной жидкости

Показатели	Тип расходомера			
	РПЛ-1	ЭРМ-5	ЭМР-2	РГР-7
Вид промывочной жидкости	Вода, глинистый раствор			
Характер измерения	Непрерывный			
Пределы измерения, л/мин	0—150; 0—300	8—250	0—150 0—300	< 6000
Погрешность измерения, %	4,0	15	2,5	1,5
Электропитание:				
напряжение сети переменного тока, В	380	380	380	220
частота, Гц	50	50	50	50
допустимые колебания напряжения, %	± 20	+10—30	20	10
допустимые колебания частоты, %	1,0	5	5	10
потребляемая мощность, Вт	≥ 100	25	40	370

Примечания. 1. Прибор ЭРМ-5 предусматривает также измерение давления, развиваемого насосом: диапазон измерения 2—50 кгс/см<sup>2</sup>, погрешность 3%.  
2. Помимо РГР-7 выпускаются расходомеры РГР-10 и РГР-11 с пределом измерения 6000 и 9000 л/мин соответственно.

Наряду с расходомерами общепромышленного типа, которые в зависимости от метода измерения делятся на расходомеры переменного перепада давления и расходомеры постоянного перепада давления, в бурении широко применяются специальные, более

сложные по конструкции с электрическим методом измерения приборы. В зависимости от условий применения специальных приборов они могут быть разделены на две основные группы: наземные и скважинные.

Наземные расходомеры предназначены для измерения расхода промывочной жидкости, закачиваемой в скважину. Из этой группы приборов рассматриваются электрические расходомеры ЭРМ-5, РПЛ-1 и ЭМР-2, технические данные которых приведены в табл. 7.

Скважинные расходомеры предназначены для исследования поглощающих горизонтов разведочных и эксплуатационных скважин. К ним относятся: скважинный расходомер ДАУ-3М и тахометрические скважинные расходомеры ТСР-34/70Э, РСТ-3СТУ, технические данные которых приведены в табл. 8. Из этой группы приборов рассматривается расходомер ДАУ-3М.

Таблица 8

Технические данные скважины расходомеров

Показатели	Тип расходомера		
	ДАУ-3М	ТСР-34/70Э	РСТ-3СТУ
Вид промывочной жидкости	Вода, глинистый раствор		
Характер измерения	Точечный		
Пределы измерения, л/с	0,015—15	0,01—10	0,005—10
Погрешность измерения, %	6	10	10
Продолжительность одного измерения, мин		1—2	
Максимально допустимое гидравлическое давление в зоне измерения, МПа	~ 17,6	9,8	9,8
Электропитание	Постоянный ток $U = 12$ В	Переменный ток $U = 36$ В или 220 В	Постоянный ток $U = 6$ В или 12 В
Потребляемая мощность, Вт	0,5	5	1
Размеры преобразователя, мм:			
диаметр	73	34	43
длина	1100	750	930
Масса, кг	3,8	1,8	2,1
Размеры наземного прибора, мм	175×175× ×120	220×210× ×135	300×190× ×130

## § 1. СЧЕТЧИКИ

В зависимости от того, какой принцип замера количества вещества заложен в основу прибора, различают счетчики скоростные, объемные и весовые.

Принцип действия скоростного счетчика основан на зависимости частоты вращения вертушки от скорости протекания измеряемого вещества.

На рис. 9.1 показан счетчик со спиральной вертушкой. Движущийся поток струевыпрямителем 4 направляется в кольцевое

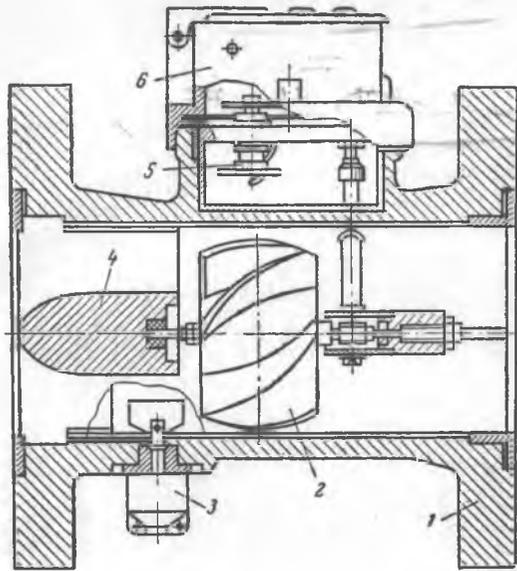


Рис. 9.1. Счетчик со спиральной вертушкой:

1 — корпус; 2 — вертушка; 3 — регулирующее устройство струевыпрямителя; 4 — струевыпрямитель; 5 — редуктор; 6 — счетчик

пространство, где попадает на винтообразные лопасти вертушки и сообщает им вращательное движение. Вращение с вертушки 2 передается на счетный механизм 6, находящийся в защитном корпусе, отделенном от трубопровода герметичной перегородкой. Шкала счетного механизма отградуирована в литрах или кубических метрах.

По форме вертушки эти счетчики бывают типа ВК — с крыльчатой вертушкой и типа ВВ — со спиральной вертушкой.

Размер или калибр счетчика определяется диаметром входного отверстия.

Калибры счетчиков типа ВК от 10 до 40 мм, а типа ВВ — от 30 до 100 мм и более. Пропускная способность счетчиков в зависимости от калибра и вязкости вещества составляет 12—600 м<sup>3</sup>/ч. Класс точности этих приборов 2,5.

В зависимости от конструкции рабочего органа объемные счетчики делятся на: поршневые, дисковые, с овальными шестернями и др.

## § 2. АНЕМОМЕТРЫ

Состав атмосферы в горных выработках непрерывно меняется из-за выделения газов из трещин пород, окислительных процессов, в результате проведения взрывных работ и других причин. При этом концентрация ядовитых веществ может достигнуть предельных значений. Поэтому для создания благоприятных условий труда рабочим осуществляют естественную или чаще принудительную вентиляцию горных выработок.

Контроль за производительностью вентиляторов и распределением воздуха по горным выработкам производят путем замера скоростей движения воздуха в соответствующих каналах или выработках.

Измерив среднюю скорость движения воздуха  $v_{cp}$  и сечение выработки или трубы  $F$ , определяют расход воздуха:

$$Q = v_{cp} F.$$

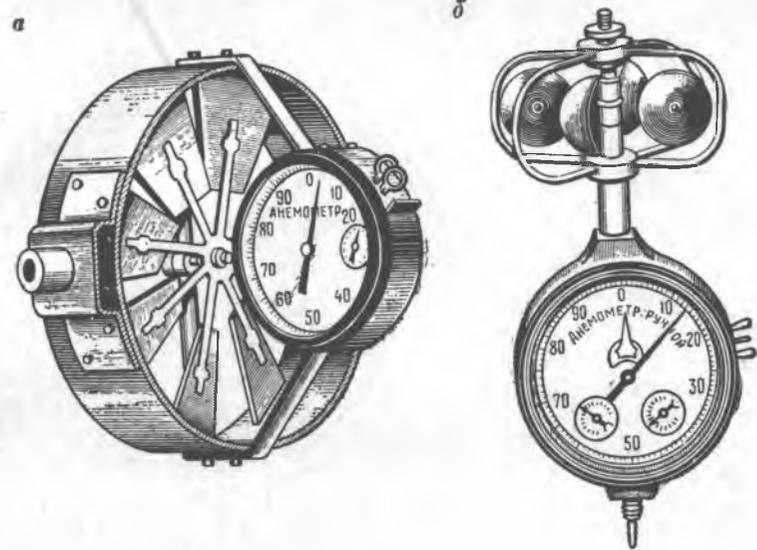


Рис. 9.2. Анемометры:

а — крыльчатый анемометр; б — чашечный анемометр

В разведочных горных выработках замер скоростей движения воздуха чаще всего производят анемометрами.

По конструкции они бывают (рис. 9.2) крыльчатые (АСО-3) и чашечные (МС-13). Крыльчатый анемометр (рис. 9.2, а) предназначен для измерения средних скоростей потока воздуха в пределах от 0,3 до 5 м/с. Ветроприемником анемометра служит легкая крыльчатая турбинка, через втулку которой свободно пропущена ось из натянутой струны.

На конце втулки закреплен червяк, передающий вращение от турбинки к зубчатому редуктору счетного механизма. Счетный механизм имеет стрелки, а циферблат соответственно три шкалы: единиц, сотен и тысяч.

Включение и выключение счетного механизма производится арретиром, к ушку которого прикреплен шнурок. Ручка корпуса прибора имеет форму трубки, что в случае необходимости позволяет устанавливать прибор на деревянном шесте.

Чашечный анемометр (рис. 9.2, б) отличается от крыльчатого конструкцией ветроприемника; у данного анемометра он имеет вид четырехчашечной вертушки. Ветроприемник такого вида обладает большой прочностью и меньшей центробежной силой, что позволяет замерять воздушные потоки со скоростью более 20 м/с.

В процессе измерений крыльчатый анемометр располагают так, чтобы ось турбинки была параллельна потоку, а ось чашечного анемометра с вертушкой — перпендикулярна.

Скорость движения потока в различных точках сечения выработки или канала неодинакова, что объясняется вихревыми

движениями воздуха, вызванными шероховатостью стенок. Поэтому для получения средних значений скорости движения потока производят замеры в определенных точках сечения по одной из выработанных методик.

При замере способом «по точкам» сечение выработки условно разбивают на девять частей, в центре которых производится замер. Способ «обвода сечений» заключается в том, что замеряющий становится в середине выработки лицом к потоку или спиной к стенке выработки и, удерживая анемометр на вытянутой руке или шесте, перемещает его зигзагообразно по сечению, охватывая при этом всю площадь и производя 10—15 замеров.

Продолжительность одного замера 100—120 с. Время замера фиксируется секундомером.

Для получения более верных данных скорости движения воздуха в горных выработках замеры следует производить на прямых, незагроможденных участках выработки или специально оборудованных замерных станциях, имеющих по креплению сплошную обшивку тесом. Длина замерной станции 4—6 м.

Расход воздуха, доходящего до забоя, определяют измерением скорости воздуха в конце вентиляционных труб. Время одного измерения 30 с. Число измерений — 5—6 в различных точках сечения трубы.

Так как счетный механизм анемометра показывает число оборотов турбинки или вертушки, то пересчет на скорости движения потока в м/с производится по графикам, которые прилагаются к приборам вместе с поверочным свидетельством.

Погрешность измерений крыльчатый анемометром 0,4%, чашечным — 1,5%.

### § 3 РАСХОДОМЕРЫ ПЕРЕМЕННОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ

Принцип действия этих расходомеров основан на замере перепада давления, образующегося в месте сужения сечения трубопровода (рис. 9.3).

Сужение сечения трубопровода производят диафрагмами, соплами или трубой Вентури, а перепад давления замеряют дифференциальными манометрами (дифманометрами) различных конструкций.

В месте измерения давлений движущаяся по трубопроводу жидкость встречает устройство (рис. 9.3, а), создающее сужение потока жидкости. Это вызывает увеличение его скорости, так как количество протекающего вещества в различных участках трубопровода одинаково.

Сказанное вытекает из уравнения непрерывности потока

$$Q = F_1 v_1 = F_2 v_2, \quad (9.3)$$

где  $Q$  — объемный расход вещества,  $v_1$  — скорость потока в сечении площадью  $F_1$ ;  $v_2$  — скорость потока в сечении площадью  $F_2$ .

С изменением скоростей в сечениях I—I и II—II изменяются и давления. В сечении I—I, до сужающего устройства, оно будет

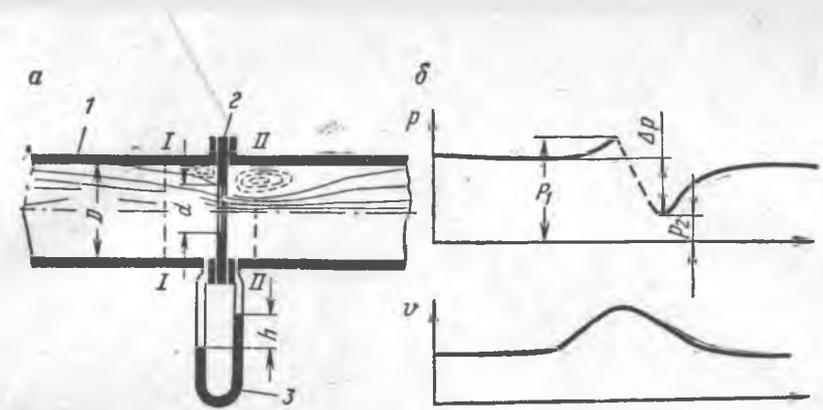


Рис. 9.3. Измерение расхода с помощью сужающего устройства: а — схема; б — график измерения давления и скорости потока; 1 — трубопровод; 2 — сужающее устройство; 3 — дифманометр

большим, а в сечении II—II, непосредственно после сужающего устройства, — меньшим.

В подтверждение сказанному воспользуемся известным уравнением потока несжимаемой жидкости (уравнение Бернулли)

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{1-2}, \quad (9.4)$$

где  $p_1/\rho$ ,  $p_2/\rho$  — потенциальная энергия потока или статический напор,  $v_1^2/2g$ ;  $v_2^2/2g$  — кинетическая энергия или скоростной напор;  $p_1$  и  $p_2$  — давления, соответственно в сечениях I—I и II—II;  $v_1$  и  $v_2$  — скорости потока соответственно в сечениях I—I и II—II;  $h_{1-2}$  — энергия, затраченная на трение (потеря напора).

Если трубопровод горизонтален, а расстояние между сечениями I—I и II—II невелико, то

$$z_1 = z_2,$$

а  $h_{1-2}$  настолько мало, что им можно пренебречь. Тогда

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g}. \quad (9.5)$$

Площадь сечения I—I ( $F_1$ ) больше площади сечения II—II ( $F_2$ ); тогда исходя из зависимости (9.3), скорость в сечении II—II ( $v_2$ ) будет больше, чем в сечении I—I ( $v_1$ ), т. е.

$$\frac{v_2^2}{2g} > \frac{v_1^2}{2g}. \quad (9.6)$$

А так как суммарный запас удельной энергии не меняется, то отсюда следует, что

$$\frac{p_1}{\rho} > \frac{p_2}{\rho}, \text{ или } p_1 > p_2. \quad (9.7)$$

Из графика (рис. 9.3, б) видна зависимость между скоростью потока и давлением в различных участках сужающего устройства: чем больше скорость, тем больший перепад давления в участках до и после диафрагмы. Так как между скоростью потока и его расходом для одной и той же диафрагмы существует прямая зависимость, то можно сказать, что чем больше расход, тем больше перепад давлений.

Уравнения расхода для несжимаемой жидкости в объемных и массовых единицах будут иметь вид:

$$Q = \alpha F_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)}, \quad (9.8)$$

$$Q_m = \alpha F_0 \sqrt{2\rho (p_1 - p_2)}. \quad (9.9)$$

При измерении сжимаемых сред (газов и паров) необходимо в приведенные формулы ввести поправочный коэффициент  $\epsilon$ , учитывающий расширение измеряемой среды:

$$Q = \alpha \epsilon F_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)}, \quad (9.10)$$

$$Q_m = \alpha \epsilon F_0 \sqrt{2\rho (p_1 - p_2)}, \quad (9.11)$$

где  $Q$  — весовой расход;  $Q_m$  — массовый расход;  $\alpha$  — коэффициент расхода;  $F_0$  — площадь поперечного сечения сужающего устройства;  $\rho$  — плотность измеряемой среды;  $p_1$  и  $p_2$  — давление до и после сужающего устройства.

### Основные виды сужающих устройств

Основными видами сужающих устройств (рис. 9.4) являются: нормальная диафрагма, нормальное сопло, труба Вентури.

Нормальная диафрагма изготавливается из нержавеющей стали и имеет форму кольца (рис. 9.4, а). Со стороны входа струи отверстие кольца имеет прямой угол, а со стороны выхода расточено на конус под углом  $45^\circ$ .

Обработке поверхности диафрагмы, соблюдению углов у кромки и концентричности отверстия по отношению к диаметру трубопровода придается большое значение, так как эти факторы существенно влияют на точность измерений.

Отношение квадрата диаметра отверстия сужающего устройства к квадрату внутреннего диаметра трубопровода называется модулем сужающего устройства и обозначается буквой  $m$ :

$$m = d^2/D^2. \quad (9.12)$$

Для нормальных диафрагм  $m = 0,05 \div 0,7$ , а толщина диафрагмы  $t \leq 0,1D$ .

По обе стороны диафрагмы располагаются кольцевые камеры, каждая из которых посредством трубок подключается к дифманометру. Диафрагма вместе с кольцевыми камерами и прокладками зажимается между фланцами трубопровода.

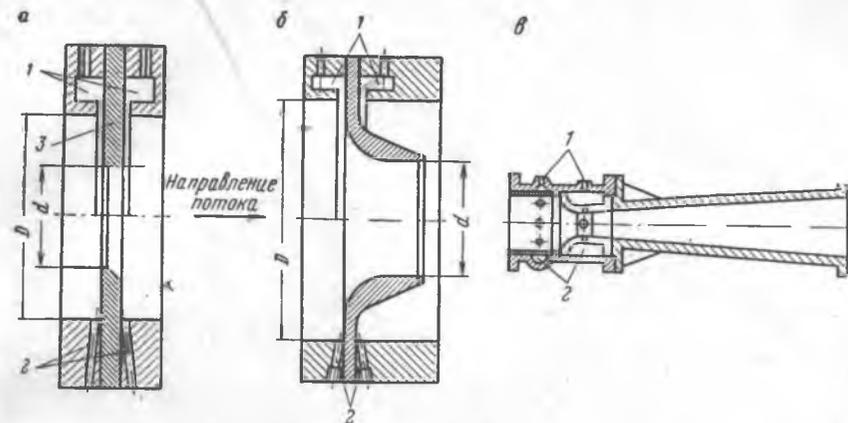


Рис. 9.4. Сужающее устройство:

а — нормальная диафрагма; 1 — кольцевые камеры; 2 — каналы; 3 — диафрагма; б — нормальное сопло; 1 — кольцевые камеры; 2 — каналы; в — труба Вентури; 1 — штуцеры; 2 — кольцевые камеры

В трубопроводах диаметром менее 50 мм диафрагмы для измерения расхода не применяются из-за больших искажений зависимости между расходом и перепадом давления.

Нормальное сопло (рис. 9.4, б) представляет собой насадку цилиндрической формы с плавно закругленным профилем со стороны входа струи. Отбор давления производится с помощью кольцевых камер или каналов, находящихся возле установочных торцов сопла. Модуль для сопла должен быть в пределах

$$m = 0,05 \div 0,65.$$

Труба Вентури (рис. 9.4, в) имеет входную часть в форме сопла, а выходную — в форме конуса с углом  $5-15^\circ$ . Отбор давления производится через штуцеры от кольцевых камер. Модуль для трубы Вентури равен

$$m = 0,2 \div 0,5.$$

Труба Вентури обеспечивает наименьшую потерю напора.

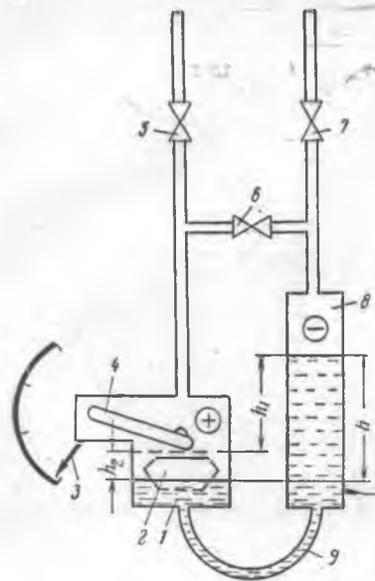
Все типы сужающих устройств должны устанавливаться на прямолинейных участках трубопровода. Во время замера подача жидкости должна быть равномерной, без пульсации.

### Дифманометры

Приборы, которые в сочетании с сужающими устройствами служат для измерения перепадов давления и расхода жидкости и газа, называются дифференциальными манометрами (дифманометрами).

По конструкции дифманометры могут быть: жидкостные (двухтрубные, поплавковые, кольцевые весы) и пружинные (сильфонные, мембранные). На рис. 9.5 показан жидкостной поплавковый

Рис. 9.5 Поплавковый дифманометр типа ДП



дифманометр типа ДП. Принципиально этот прибор устроен аналогично жидкостному манометру с U-образной трубкой, отличаясь от последнего конструктивным исполнением.

К обоим концам стальной U-образной трубки подсоединяются камеры. К камере 1, имеющей больший диаметр, подводится большее давление, а к сменной камере 8 меньшего диаметра — меньшее. Соответственно эти камеры называются плюсовой и минусовой и обозначаются знаками «+» и «-».

В камере 1 находится поплавок 2, который посредством рычага 4 и оси связан со стрелкой 3 измерительного устройства. Обе камеры и колено 9 заполняются уравни-

тельной жидкостью (обычно ртутью).

С увеличением расхода давление в плюсовой камере повышается, а в минусовой понижается. Это приводит к перераспределению уровней ртути. В плюсовой камере уровень понижается, а в минусовой повышается.

При отсутствии перепада давления уровень ртути в обеих камерах одинаков, и стрелка прибора находится на нулевом делении.

Сменой минусовых камер можно изменять диапазон измерений 5330—133 320 Па.

Необходимый диаметр минусовой камеры может быть определен в зависимости от заданной наибольшей разности уровней жидкости в плюсовой и минусовой камерах:

$$d_2 = d_1 \sqrt{\frac{h_1}{h_2 - h_1}} \quad (9.13)$$

или

$$d_2 = 78 \sqrt{\frac{30,5}{h_2 - 30,5}}$$

где  $d_1$ ;  $d_2$  — соответственно диаметры поплавковой и сменной камер, обычно  $d_1 = 78$  мм;  $h_1$  — наибольший уровень ртути в поплавковой камере ( $h_1 = 30,5$  мм);  $h_2$  — наибольший уровень жидкости в сменной камере при выбранном перепаде давления, мм.

Для предупреждения выброса ртути из прибора при резком увеличении перепада давления в процессе измерений под попла-

ком предусмотрен предохранительный клапан, который в момент резкого повышения давления в поплавковой камере опускается вниз и разобщает камеры.

Кроме того, методика включения и выключения прибора также исключает образование резкого перепада давления и возникновения толчков и выбросов. С этой целью, прежде чем открыть запорные вентили 5 и 7 на импульсных трубках, давление в них выравнивают открытием уравнивательного вентиля 6, после закрытия которого измеряют разность давлений.

При выключении прибора вначале открывают уравнивательный вентиль, а затем закрывают запорные.

В зависимости от целей и условий проводимых измерений применяемые дифманометры могут быть показывающими, самопишущими и суммирующими (интеграторы). Возможны также дистанционная передача показаний и включение сигнального устройства для сигнализации о достижении предельного значения расхода.

#### § 4. РАСХОДОМЕРЫ ПОСТОЯННОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ (РОТАМЕТРЫ)

Расходомеры этого типа представляют собой вертикально установленный корпус конической формы, к нижней части которого подводится жидкость, газ или пар.

Внутри корпуса свободно размещен поплавок. Чем больше расход вещества, тем больше скорость его движения и подъемная сила, увлекающая поплавок вверх до тех пор, пока вес поплавка не уравновесится разностью давлений до и после поплавка.

Расход вещества определяют по высоте расположения поплавка. Масса поплавка при погружении в измеряемую среду составляет

$$q = V(\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{ж}}), \quad (9.14)$$

где  $V$  — объем поплавка;  $\rho_{\text{п}}$  — плотность материала поплавка;  $\rho_{\text{ж}}$  — плотность измеряемой жидкости.

Сила тяжести поплавка направлена вниз и уравновешивается выталкивающей силой<sup>1</sup> движущейся жидкости

$$S = (\rho_1 - \rho_2) f \quad \text{или} \quad S = \Delta p f, \quad (9.15)$$

где  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  — давление жидкости, соответственно, выше и ниже поплавка;  $\Delta p$  — перепад давления;  $f$  — сечение поплавка.

При постоянном расходе жидкости устанавливается равновесие сил тяжести поплавка и выталкивающей силы жидкости:

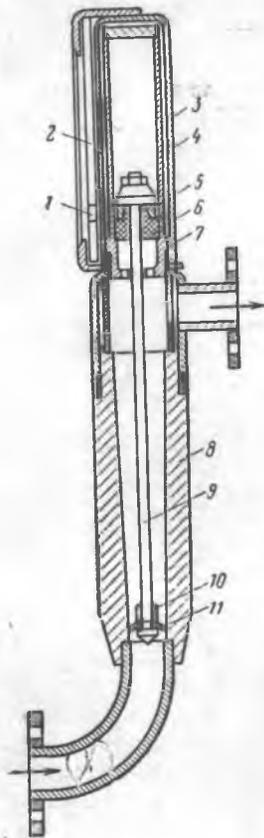
$$V(\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{ж}}) = \Delta p f; \quad (9.16)$$

тогда перепад давления на длине поплавка составит

$$\Delta p = \frac{V(\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{ж}})}{f}. \quad (9.17)$$

<sup>1</sup> Выталкивающая сила также зависит от вязкости жидкости. Однако влияние вязкости на результаты измерения уменьшают соответствующим подбором размера и формы поплавка.

Рис. 9.6. Расходомер конструкции Левченко РЛ-6



В приведенное равенство входят величины, которые в процессе измерений не изменяются. Следовательно, при измерениях расхода перепад давления на длине поплавка постоянен.

Таким образом, кольцевое пространство между поплавком и внутренней поверхностью корпуса можно рассматривать как сужающее устройство, площадь которого, в связи с перемещением поплавка в коническом корпусе будет переменной, а перепад давления — постоянным.

В производственных условиях встречаются ротаметры различных конструктивных исполнений.

На разведочном бурении впервые стали применять расходомеры ротаметрического типа конструкции Григорьева — Орлова.

В дальнейшем появились более совершенные конструкции ротаметров с механическим и электрическим методами фиксации положения поплавка и взятия отсчета.

На рис. 9.6 показан расходомер конструкции Левченко (РЛ-6). Внутри корпуса 8 с конической расточкой расположен шток 9, на нижнем конце которого помещен поплавок 10, а на верхнем — постоянный магнит 5 в виде цилиндрической шайбы.

Поплавок, шток и магнит составляют подвижную часть прибора, свободно перемещающуюся по вертикали. Тарельчатая часть поплавка имеет ряд отверстий и в сочетании с резиновой диафрагмой 11 образует обратный клапан, позволяющий перепускать жидкость из верхней полости в нижнюю при опущенном поплавке. Центрирования поплавка при его движениях вверх или вниз осуществляются центратором 6 и направляющей 7. Магнит перемещается внутри стакана 4, выполненного из диамагнитного материала (алюминия или бронзы). Снаружи кожуха 3 прибора закреплены три стеклянные трубки 2, внутрь которых свободно вставлены тонкие стальные пластинки-указатели. 1.

Жидкость, двигаясь по корпусу, в зависимости от расхода поднимает поплавок на большую или меньшую высоту. С перемещением поплавка и магнита синхронно движутся пластинки-указатели.

Отсчет показаний ведется по градуированным в единицах расхода шкалам, расположенным на панели, прикрепленной к кожуху со стороны визирного окна.

Каждая из трех шкал предназначена для измерения жидкости различной вязкости и удельного веса. Линией отсчета служат верхние кромки пластинок-указателей. Для удобства наблюдений за показаниями шкал кожух с визирным окном может поворачиваться в сторону, удобную для наблюдателя.

## § 5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАСХОДОМЕРЫ

### Расходомер ЭРМ-5

Прибор ЭРМ-5 создан на базе ЭР-2А и в отличие от последнего является комплексным, позволяющим измерять как расход, так и давление нагнетаемой в скважину промывочной жидкости (рис. 9.7).

В состав прибора ЭРМ-5 входят два измерительных преобразователя и пульт. Принципиальная электрическая схема прибора ЭРМ-5 показана на рис. 9.7, а.

### Измерительные преобразователи

Преобразователь Др ротаметрического типа с электромагнитным преобразователем сигнала. Преобразователь выполнен в виде трех обмоток: обмотки возбуждения *ОВ*, измерительной обмотки *ОИ* и компенсационной обмотки *ОК*, размещенных на поверхности трубки из электроизоляционного материала.

Преобразователь давления ДД магнитоупругий. Чувствительный элемент преобразователя давления имеет форму квадрата и изготовлен из 10-мм трансформаторной стали. Через отверстия квадрата проходят витки двух взаимно перпендикулярных обмоток: обмотки возбуждения *ОВ* и измерительной обмотки *ОИ*. Чувствительный элемент помещен в корпусе преобразователя так, что одна из его вершин упирается в крышку 1 (рис. 9.7, б), а вторая — в упорный диск 6. Давление жидкости через мембрану 7 и упорный диск действует на чувствительный элемент в направлении диагонали между двумя зажатými вершинами.

Оба преобразователя посредством кабелей и штепсельных разъемов Ш1 — Ш4 подключены к измерительному пульту ИП. По кабелям передаются напряжение питания на преобразователи и сигналы с преобразователей на измерительный пульт.

### Измерительный пульт

На пульте смонтированы: силовой трансформатор *Тр*, выпрямительный мост *Д1 — Д4*, калибровочные резисторы *R1, R2, R4, R6*, фильтр *R3, О1*, переключатель *П*, феррорезонансный стабилизатор напряжения (первичная обмотка трансформатора, *С2, R5*), вентиль *Д5*, два электроизмерительных прибора — микроамперметры *З, 4*, предохранители *Пр1, Пр2* и сигнальная лампа *Л*. Детали пульта помещены в металлическом корпусе во влагопылезащитном исполнении.

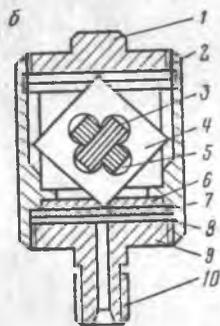
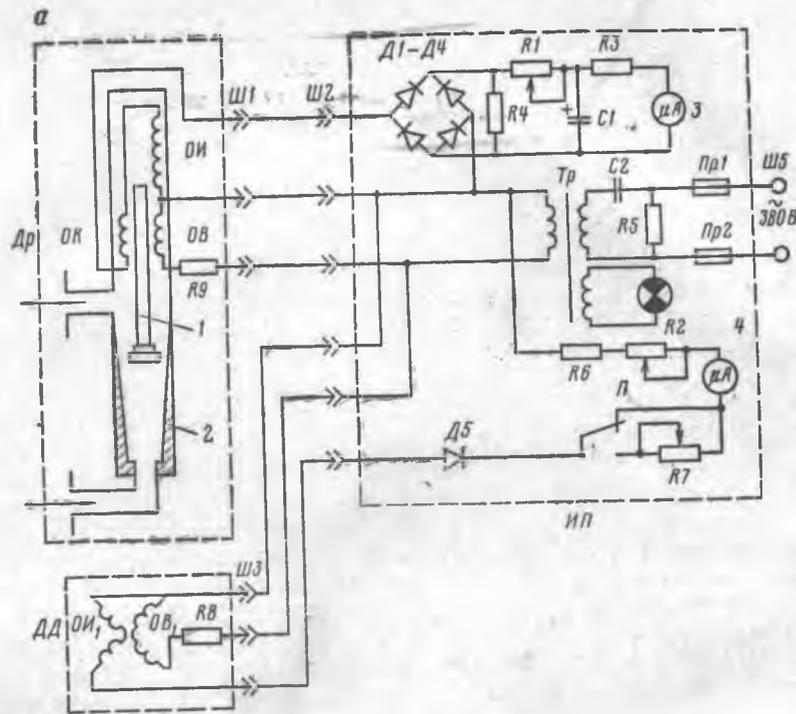


Рис. 9.7. Расходомер ЭРМ-5:

*a* — электрическая схема ЭРМ-5; ДР — преобразователи расхода; ДД — преобразователь давления; ИП — измерительный пульт; Ш — шток; 2 — корпус преобразователя; 3 — измерительный прибор расхода; 4 — измерительный прибор давления; 5 — преобразователь давления прибора ЭРМ-5; 1 — крышка; 2 — корпус; 3 — обмотка возбуждения; 4 — чувствительный элемент (квадрат); 5 — измерительные обмотки; 6 — упорный диск; 7 — мембрана; 8 — шайба металлическая; 9 — донная часть корпуса; 10 — штуцер

Посредством штепсельного разъема Ш5 к пульту подключен кабель для питания прибора переменным током напряжения 380 В. Вторые концы жил силового кабеля подключены к выходным зажимам магнитного пускателя насоса, благодаря чему с включением насоса автоматически включается и прибор ЭРМ-5.

### Принцип работы

Со вторичной обмотки трансформатора *Tr* переменный ток напряжением 36 В поступает на обмотки возбуждения *OB* и *OBI*. Ток, протекающий по обмотке *OB*, создает переменный маг-

нитный поток, индуктирующий э. д. с. в компенсационной и измерительной обмотках. Так как эти обмотки включены встречно, то результирующее напряжение будет равно разности напряжений на этих обмотках, т. е.

$$U_{\text{рез}} = U_{\text{и}} - U_{\text{к}}$$

Параметры измерительной и компенсационной обмоток и размер штока подобраны так, что когда жидкость через преобразователь не прокачивается и поплавки со штоком находятся в крайнем нижнем положении, индуктированные э. д. с. в этих обмотках одинаковы и результирующее напряжение на выходе преобразователя ДР равно нулю.

При прокачивании жидкости через преобразователь расхода благодаря гидродинамическому напору поплавки со штоком перемещаются вверх. При этом шток, двигаясь вдоль измерительной обмотки, усиливает магнитный поток, что приводит к увеличению индуктированного в ней напряжения.

Таким образом, напряжение на выходе преобразователя будет пропорционально расходу.

Сигнал с преобразователя ДР (см. рис. 9.7, *a*) подается на вход измерительной системы пульты. Здесь переменный ток выпрямляется мостом Д1—Д4 и через фильтр *C1R3* поступает на измерительный прибор 3. Шкала этого прибора растянута вначале и сжата в конце, благодаря чему достигается большая точность при измерении малых расходов. Такой вид шкалы достигнут специальным выполнением измерительной обмотки, а также подбором конусности расточки внутри корпуса 2 преобразователя расхода.

Ток, протекающий по обмотке *OBI*, также создает переменный магнитный поток, но в связи с перпендикулярностью обмоток магнитный поток проходит вдоль витков измерительной обмотки *OII*, не возбуждая в ней э. д. с.

При давлении жидкости на мембрану 7 (см. рис. 9.7, *b*) происходит упругая деформация чувствительного элемента, в связи с чем магнитная проницаемость в направлении действия силы возрастает, а это приводит к отклонению суммарного вектора магнитного потока. В этом случае витки измерительной обмотки будут пересекаться магнитным потоком и в ней возникнет э. д. с., пропорциональная давлению жидкости на мембрану.

Сигнал с обмотки *OII* после выпрямления диодом Д5 и калибровки резисторами поступает для измерения на второй микроамперметр 4. Переключатель П и резистор R6 позволяют иметь два предела измерения: 1,96 МПа и 4,9 МПа, что обеспечивает большую точность при измерениях малых давлений. Для этого шкала прибора 4 сдвоена.

## Эксплуатация

Преобразователь расхода устанавливается вблизи насоса в разрыве нагнетательного шланга.

Преобразователь давления посредством штуцера крепится на воздушном колпаке насоса в месте, где обычно размещается манометр.

Измерительный пульт крепится на стенке в месте, удобном для наблюдения за показаниями приборов.

Корпуса преобразователей пульта заземляются. Места прокладки кабелей, установки преобразователей и пульта должны исключать прямое попадание на них жидкости и механическое повреждение последних.

При включении магнитного пускателя должна загораться сигнальная лампа на измерительном пульте. Если лампа не загорается, то выключают магнитный пускатель и проверяют на целостность предохранители и лампу. Более сложные неисправности должны ликвидироваться техником КИП.

### Расходомер РПЛ-1

Расходомер РПЛ-1 предназначен для измерения расхода промывочных жидкостей, закачиваемых в скважину при бурении разведочных скважин.

В состав расходомера входят измерительный преобразователь и пульт, соединяемые четырехжильным кабелем, а также кабель питания.

### Измерительный преобразователь

Измерительный преобразователь (рис. 9.8) состоит из корпуса 1, изготовленного из немагнитной нержавеющей стали. Внутри канала корпуса на упругом подвесе 7 закреплена лопасть 5 из магнитной нержавеющей стали. С внешней стороны канала установлен Ш-образный магнитопровод 9, на крайних стержнях которого размещены катушки 10. У каждой катушки имеется по две обмотки: возбуждения и измерительная. Катушки включены по дифференциально-трансформаторной схеме, а выводы припаяны к штепсельному разъему 11. С внешней стороны магнитопровод защищен крышкой 8. На время транспортировки лопасть 5 арретирована патрубками 4 и 6, которые вставляются в канал корпуса, и прижимается гайками 3 через диски 2.

### Пульт прибора

Пульт прибора представляет собой корпус из алюминиевого сплава, внутри которого смонтированы узлы измерителя. На лицевой панели корпуса расположены: показывающий прибор-микроамперметр М325; пакетный выключатель; сигнальная лампа, кор-

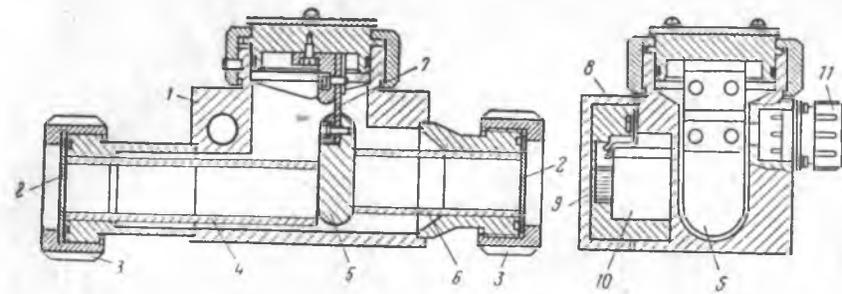


Рис. 9.8. Преобразователь расходомера РПЛ-1

пус предохранителя; тумблер диапазонов измерения (0—150; 0—300); две ручки: «Установка нуля» и «Плотность».

Внутри корпуса размещены блок питания и детали измерительной схемы прибора. На нижней стенке корпуса пульта установлены клемма заземления и штепсельные разъемы для кабельной связи с преобразователем и подключения к сети.

### Принцип работы

Магнитные потоки, создаваемые обмотками возбуждения электромагнитной системы измерительного преобразователя, пронизывают лопасть и замыкаются через центральный стержень Ш-образного магнитопровода.

При этом в измерительных катушках наводится э. д. с. в соответствии с положением лопасти.

Если жидкость по каналу корпуса не движется, то лопасть занимает вертикальное положение и в измерительных катушках индуцируется небольшое начальное напряжение, компенсируемое напряжением противоположной полярности, поступающим от измерителя.

При движении жидкости через канал преобразователя лопасть отклоняется от вертикального положения, что приводит к изменению соотношения между магнитными потоками измерительных обмоток. В результате на выходе этих обмоток появляется э. д. с., пропорциональная расходу жидкости. Электрическая схема расходомера РПЛ-1 дана на рис. 9.9.

Сигнал от преобразователя поступает на вход полупроводникового выпрямителя-удвоителя  $C1, D1, D2, C2$ , где преобразуется в постоянный ток, а затем, пройдя через фильтр  $R1$ , поступает на показывающий прибор. 1, 2, 3, 4, 5 — измерительные катушки.

Резистор  $R3$  служит для измерения тока в цепи с учетом плотности измеряемой жидкости.

Резисторы  $R5$  и  $R6$  и тумблер  $B2$  обеспечивают два предела измерения расхода жидкости.

Для подачи напряжения противоположной полярности на преобразователь с целью установки стрелки измерительного прибора

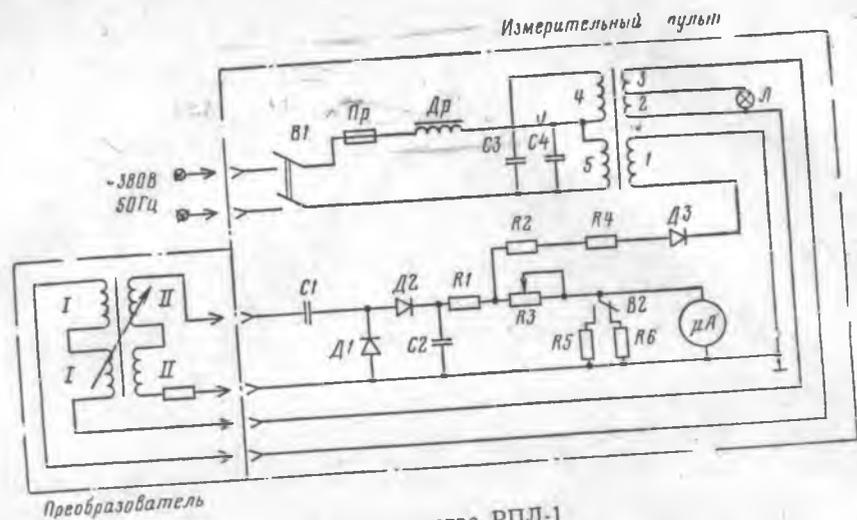


Рис. 9.9. Электрическая схема расходомера РПЛ-1

на нуль (при отсутствии расхода) служат: одна из вторичных обмоток трансформатора  $Tr$ , диод  $D3$  и резисторы  $R4$  и  $R2$ . Блок питания измерительного пульта обеспечивает работу цепей преобразователя и измерителя. Благодаря феррорезонансному стабилизатору напряжения ( $Dr$ ,  $Tr$ ,  $C3$ ,  $C4$ ) поддерживается постоянное напряжение на выходных обмотках трансформатора при колебаниях напряжения в цепи.

### Эксплуатация

Преобразователь размещается в разрыве нагнетательного трубопровода выше уровня клапанов насоса. Крепление к трубопроводу осуществляется накидными гайками. Направление движения жидкости должно совпадать с направлением указательной стрелки на корпусе преобразователя.

Пульт прибора крепится на стене посредством специальной планки.

Подключение пульта к сети и преобразователя к пульту осуществляется кабелями, входящими в комплект прибора.

Пульт и измерительный преобразователь заземляются через общий контур заземления буровой.

После монтажа узлов и общего их осмотра приступают к подготовке расходомера к работе.

При этом соблюдается следующая последовательность включений:

пакетный выключатель ставят в положение «Вкл», при этом должна загораться сигнальная лампа включения прибора;

тумблер переключения диапазонов измерения ставится в положение, соответствующее измеряемому расходу;

ручка «Плотность» ставится в положение, соответствующее плотности промывочной жидкости;

ручку «Установка нуля» вращают до установки стрелки показывающего прибора на нулевое значение (в это время жидкость не должна двигаться по каналу преобразователя).

После выполнения указанных операций прибор готов к работе.

Измерение расхода заключается во взятии отчета по показывающему прибору при прокачке жидкости через преобразователь.

Запрещается через преобразователь прокачивать цементные растворы и быстротекучие смеси. На время выполнения этих работ вместо преобразователя ставится специальный патрубок, входящий в комплект прибора, и расход в этом случае не измеряется.

### Электромагнитный расходомер ЭМР-2

В состав расходомера входят измерительный преобразователь и пульт прибора, соединяемые двумя двухжильными кабелями, и кабель питания. Схема расходомера ЭМР-2 представлена на рис. 9.10.

### Измерительный преобразователь

Трубопровод 1, изготовленный из алюминиевого сплава, покрыт изнутри полиэтиленовой трубкой. В трубопровод вмонтированы два изолированных друг от друга электрода 2, один из которых соединен с корпусом преобразователя, изготовленным из немагнитного материала, а второй выведен на штырек контактного разъема «Сигнал». Трубопровод охвачен сердечником, собранным из пластин электротехнической стали. На сердечник надеты две катушки возбуждения 3, включенные последовательно. Общая точка обмоток катушек соединена с корпусом, а их концы выведены на штырьки «Питание» этого же контактного разъема. Действие преобразователя основано на явлении индуктирования э. д. с. в среде, движущейся в магнитном поле.

### Пульт прибора

Пульт состоит из трех основных частей: блока питания, измерительного усилителя и измерительного прибора.

Напряжение сети переменного тока через пакетный выключатель  $B$ , предохранитель и дроссель подается на первичные обмотки силового трансформатора. Дроссель совместно с конденсатором  $C1$  и обмотками трансформатора образует феррорезонансный стабилизатор напряжения. Со вторичной обмоткой  $III$  снимается напряжение 36 В для питания преобразователя, а с части этой обмотки — 6,3 В для индикаторной лампы. С обмотки  $IV$  36 В подается на выпрямительный мост  $D7-D10$ , выпрямленное напряжение через сглаживающий фильтр  $R29, C13$  поступает на вход

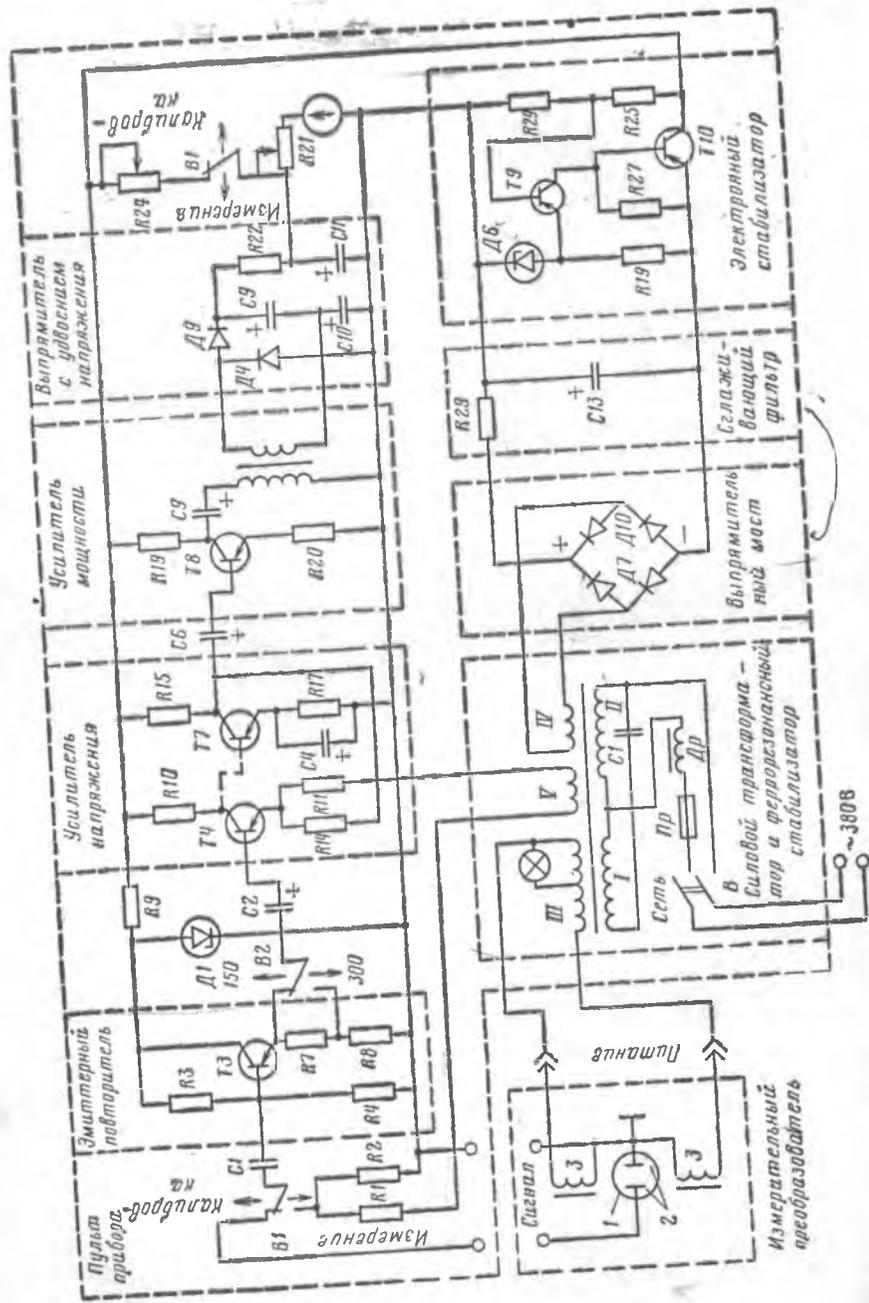


Рис. 9.10. Схема расходомера ЭМР-2

электронного стабилизатора, а с его выхода — на питание измерительного усилителя. С обмотки V снимается напряжение калибровочного сигнала около 1,5 В.

Измерительный усилитель предназначен для усиления сигнала, поступающего с преобразователя, до величины, обеспечивающей необходимую точность измерения. Он состоит из эмиттерного повторителя, усилителя напряжения, усилителя мощности и выпрямителя с удвоением напряжения.

Эмиттерный повторитель согласует выходное сопротивление измерительного преобразователя с входным сопротивлением усилителя. Нагрузкой повторителя являются резисторы R7 и R8. При работе прибора с пределом измерения 300 л/мин выходное напряжение снимается с резистора R8. При использовании предела измерения 150 л/мин с преобразователя поступает вдвое меньший сигнал, но при этом напряжение снимается с резисторов R7 и R8. Поэтому в обоих случаях предельное напряжение сигнала на выходе повторителя одинаково, что обеспечивает одинаковое предельное отклонение измерительного прибора.

Усилитель напряжения и усилитель мощности обеспечивают требуемое усиление измеряемого сигнала. В коллекторную цепь транзистора T8 включена первичная обмотка понижающего трансформатора, согласующего сопротивления транзистора и нагрузки. Вторичная обмотка этого трансформатора соединена с выпрямителем, собранным по параллельной схеме удвоения напряжения. Выход выпрямителя нагружен на измерительный прибор.

Для обеспечения устойчивой работы усилителя в широком диапазоне температур от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  предусмотрен ряд мер. К ним относятся: стабилизация напряжения питания усилителя с помощью компенсационного электронного стабилизатора, дополнительная стабилизация питания эмиттерного повторителя с помощью электронного стабилизатора параметрического типа (D1, R9), глубокая отрицательная обратная связь, осуществляемая подачей части напряжения с выхода транзистора T7 через резистор R14 на вход транзистора T4 в противофазе с напряжением входного сигнала и др.

### Принцип работы

При включении питания переменный ток, протекающий по обмоткам возбуждения преобразователя, создает переменный магнитный поток, пронизывающий трубопровод и находящуюся в нем жидкость. Пока жидкость неподвижна, э. д. с. в ней не индуцируется, напряжение на выходе преобразователя отсутствует, сигнал на вход усилителя не поступает, во вторичной обмотке выходного трансформатора тока нет, и стрелка измерительного прибора находится на нулевой отметке.

При движении жидкости через трубу преобразователя в жидкости индуцируется переменная э. д. с., часть этой э. д. с., пропорциональная средней скорости движения жидкости, снимается элек-

тромами, вмонтированными в диаметрально противоположных точках трубы в плоскости, перпендикулярной к силовым линиям магнитного поля преобразователя.

Напряжение на выходе преобразователя определяется по формуле

$$U = \alpha Q, \quad (9.18)$$

где  $Q$  — расход жидкости,  $\text{см}^3/\text{с}$ ;  $\alpha$  — коэффициент преобразования,  $\text{В} \cdot \text{с}/\text{см}^3$ . Для преобразователя ЭМР  $\alpha = 1,5 \cdot 10^6 \text{ В} \cdot \text{с}/\text{см}^3$ . При расходе жидкости  $Q = 100 \text{ л}/\text{мин} = 1,66 \cdot 10^3 \text{ см}^3/\text{с}$ , напряжение на выходе преобразователя составит

$$U = \alpha Q = 1,5 \cdot 10^6 \cdot 1,66 \cdot 10^3 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ В} = 2,5 \text{ мВ},$$

а при расходе жидкости  $10 \text{ л}/\text{мин}$  — всего  $0,25 \text{ мВ}$ .

Измеряемый сигнал с выхода преобразователя через тумблер  $B1$ , установленный в положение «Измерение», поступает на вход эмиттерного повторителя. Выходное напряжение повторителя, снимаемое с резистора  $R8$  или с резисторов  $R7$  и  $R8$ , в зависимости от положения тумблера  $B2$  прикладывается через конденсатор связи  $C2$  к участку эмиттер — база транзистора  $T4$ . Усиленный по напряжению сигнал с коллекторной нагрузки  $R15$ , выходного каскада усилителя напряжения через конденсатор связи  $C6$  подается на базу транзистора усилителя мощности  $T8$  и после усиления через выходной трансформатор поступает на выпрямитель. Выпрямленное и удвоенное напряжение с конденсатора  $C11$  подается на измерительный прибор; угол отклонения стрелки прибора пропорционален расходу жидкости.

### Эксплуатация

Измерительный преобразователь монтируется в систему подачи промывочной жидкости на расстоянии не менее  $2 \text{ м}$  от насоса с помощью штуцеров, входящих в комплект расходомера. Пульт прибора размещается в месте, удобном для наблюдения, с учетом длины соединительных кабелей. Пульт и кабели должны быть защищены от прямого попадания жидкости. Корпус прибора соединяется с общим заземлением станка. Подключение соединительных кабелей и замена предохранителей должны производиться при выключенном магнитном пускателе.

После монтажа и внешнего осмотра приступают к подготовке расходомера к работе.

1. Включается пакетный выключатель «Сеть» на боковой стене пульта; при этом должна загореться индикаторная лампа на передней панели пульта.

2. Тумблер «Измерение — калибровка» устанавливается в положение «Калибровка». При этом с обмотки  $V$ -силового трансформатора на вход усилителя подается напряжение около  $1,5 \text{ В}$ ; стрелка измерительного прибора должна отклониться от нулевого деления.

3. Тумблер переключения пределов измерения  $B2$  устанавливается в положение «150» или «300» в зависимости от ожидаемого расхода жидкости.

4. Снимается заглушка «Калибровка», и отверткой регулируется сопротивление  $R21$  в цепи прибора так, чтобы стрелка установилась на соответствующую данному диапазону калибровочную отметку, нанесенную на пластинку, прикрепленную к корпусу измерителя.

5. Тумблер «Измерение — калибровка» переводится в положение «Измерение». При этом калибровочный сигнал на вход усилителя не подается, но под действием помех стрелка прибора может отклониться от нулевой отметки. В этом случае снимается заглушка «Установка нуля», и отверткой регулируется сопротивление  $R24$  так, чтобы встречный ток, проходящий по цепи — плюс, прибор,  $R21$ ,  $R24$ , минус, компенсировал ток помех. В результате стрелка прибора должна установиться на нулевую отметку.

### § 6. СКВАЖИННЫЙ РАСХОДОМЕР ДАУ-3М

В состав расходомера ДАУ-3М входят измерительный преобразователь, спускаемый в скважину на трехжильном каротажном кабеле, и измерительный блок. Схема расходомера ДАУ-3М представлена на рис. 9.11.

#### Измерительный преобразователь

Корпус преобразователя изготовлен из трубы. Снаружи к корпусу с помощью конусной гайки крепится каротажный кабель. Внутри корпуса смонтированы пластмассовая двухлопастная крыльчатка, могущая вращаться в опорах, защищенных от воздействия жидкости, и дифференциальный индуктивный преобразователь. На рис. 9.11 показаны: вал крыльчатки  $1$  с приклеенной к нему пермаллоевой пластинкой  $2$  и две неподвижные катушки  $3$  и  $4$ , намотанные на пермаллоевые сердечники. Катушки размещены одна над другой в различных плоскостях, перпендикулярных к оси вала крыльчатки, но на рис. 9.11 условно показаны в одной плоскости. Пермаллоевая пластинка  $2$  приклеена к валу крыльчатки на уровне верхней катушки. Выводы катушек соединены с тремя жилами каротажного кабеля.

#### Измерительный блок

В состав измерительного блока входят электронный генератор, выпрямитель, электронный усилитель и электронное реле. Питание элементов измерительного блока осуществляется от источника постоянного тока напряжением  $12 \text{ В}$  (например, от автомобильного аккумулятора).

1. Электронный генератор предназначен для преобразования энергии постоянного тока, получаемой от аккумулятора, в энергию

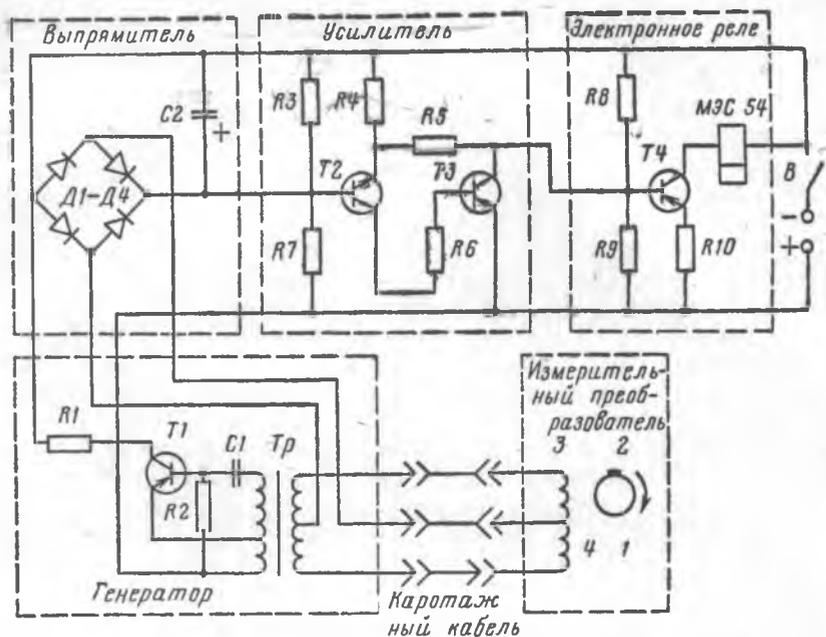


Рис. 9.11. Схема расходомера ДАУ-3М

переменного тока частотой 1,5—2 кГц, используемого для питания обмоток дифференциального индуктивного датчика. Он собран на транзисторе  $T1$  по трехточечной схеме с индуктивной обратной связью.

Выпрямитель, состоящий из диодов  $D1—D4$  и конденсатора  $C2$ , преобразует импульсы переменного тока частотой 1,5—2 кГц, поступающие с датчика, в импульсы постоянного тока.

Электронный усилитель, собранный на транзисторах  $T2$  и  $T3$ , предназначен для усиления импульсов постоянного тока, поступающих с выпрямителя. Питание транзистора  $T2$  осуществляется с помощью делителя, состоящего из резисторов  $R3, R7$ .

Электронное реле собрано на транзисторе  $T4$ , получающем питание с помощью делителя  $R8, R9$ . Сопротивление этих резисторов подобраны так, что при отсутствии входного сигнала транзистор заперт и ток в его коллекторной цепи, куда включен счетчик импульсов МЭС-54, отсутствует.

### Принцип работы

При включении тумблера  $B$  на элементы измерительного блока подается напряжение постоянного тока 12 В. Генератор вырабатывает колебания переменного тока частотой 1,5—2 кГц, которые индуктируются во вторичной обмотке трансформатора, и подаются по двум жилам каротажного кабеля в катушки индуктивного

преобразователя. Две части вторичной обмотки трансформатора совместно с двумя обмотками катушек преобразователя образуют мост переменного тока. В диагональ этого моста в качестве нагрузки включен выпрямитель.

При отсутствии движения жидкости через трубу преобразователя крыльчатка не вращается, индуктивные сопротивления обеих катушек преобразователя одинаковы, и поэтому мост переменного тока уравновешен. Потенциалы в точках  $B$  и  $C$  одинаковы, сигнал на выпрямитель не поступает, и счетчик не работает.

При движении жидкости крыльчатка вращается с частотой пропорциональной расходу жидкости. Вместе с крыльчаткой вращается и пермаллоевая пластинка 2. В моменты прохождения пластинки мимо катушки 3 через пластинку замыкается переменный магнитный поток, создаваемый током, питающим обмотки катушек. В результате общий магнитный поток, пронизывающий витки катушки 3, мимо которой проходит пермаллоевая пластинка, увеличивается, что приводит к увеличению индуктивности  $L$ , а следовательно, и индуктивного сопротивления  $X_L = 2\pi fL$ . В то же время магнитный поток и индуктивное сопротивление катушки 4 остаются неизменными. Увеличение сопротивления одного из плеч нарушает равновесие моста, и между точками  $B$  и  $C$  возникает разность потенциалов, т. е. создается напряжение переменного тока. Когда пермаллоевая пластинка удалится от катушки, магнитный поток и индуктивное сопротивление катушки станут такими же, какими были до прохождения пластинки, равновесие моста восстановится и переменное напряжение исчезнет. Таким образом, напряжение переменного тока с выхода преобразователя на вход измерительной схемы поступает импульсами, причем каждому обороту крыльчатки соответствует один импульс; число импульсов в единицу времени равно числу оборотов крыльчатки, а частота переменного тока в импульсе определяется генератором и составляет 1,5—2 кГц. Мост  $D1—D4$  выпрямляет переменный ток, а электролитический конденсатор  $C2$  отфильтровывает переменные составляющие. В результате на вход транзистора  $T2$  поступают импульсы постоянного тока с полярностью плюс на базе, а минус на эмиттере. Так как транзистор  $T2$  типа  $n-p-n$ , то напряжение такой полярности является для него пропускным. Поэтому при поступлении импульса эмиттерный и коллекторный токи возрастают, что, в свою очередь, приводит к увеличению токов транзистора  $T3$ , соединенного последовательно с  $T2$ .

В результате перераспределения токов напряжение на резисторе  $R9$ , приложенное к участку база — эмиттер  $T4$ , в пропускном направлении возрастает, транзистор открывается, и через счетчик импульсов МЭС-54, включенный в его коллекторную цепь, проходит импульс тока.

Таким образом, каждому обороту крыльчатки будет соответствовать один отсчет на счетчике. Абсолютная величина расхода жидкости в месте нахождения преобразователя расходомера определяется с помощью градуировочных графиков.

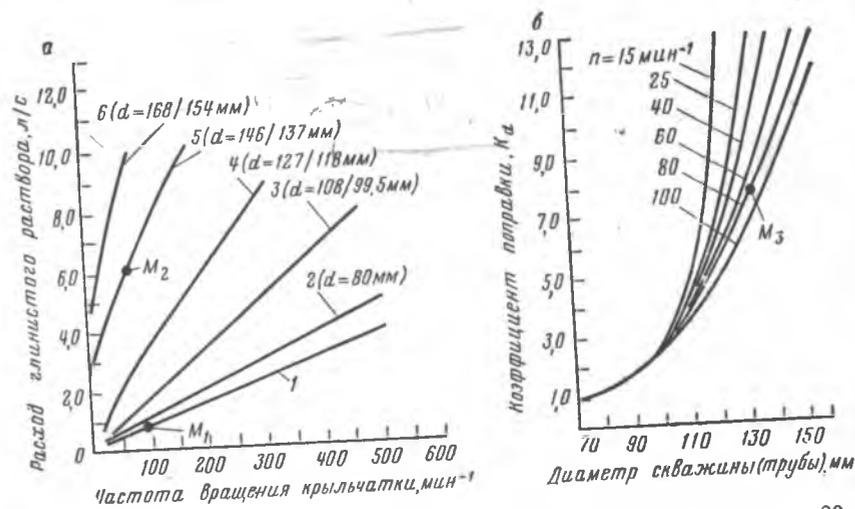


Рис. 9.12. Градуировочные графики для глинистого раствора вязкостью 20 с

### Градуировка

Градуировка скважинного расходомера производится на стенде. Измерительный преобразователь помещается в сменную трубу, имитирующую скважину. В качестве сменных труб можно использовать стандартные трубные заготовки диаметром 89/81, 108/99,5, 127/118, 146/137, 168/154 мм, длиной 2,5 м.

Каротажный кабель, соединяющий преобразователь расходомера с измерительным блоком, выводят наружу через специальное герметическое устройство. С помощью насоса в трубу накачивается жидкость. Поток жидкости, прошедший через трубу-скважину, гибким шлангом отводят в мерную вместимость. При этом с помощью секундомера определяют время заполнения вместимости, частоту вращения крыльчатки. На основании полученных данных вычисляется расход жидкости  $Q$  в л/с через трубу-скважину и соответствующая этому расходу частота вращения крыльчатки в  $\text{мин}^{-1}$ . Зависимость между расходом жидкости и частотой вращения крыльчатки изображается в виде графиков (рис. 9.12).

Для каждого вида промывочной жидкости градуировка начинается с установления зависимости между расходом жидкости, проходящей только через внутреннее сечение преобразователя, и частотой вращения крыльчатки (кривая 1 на рис. 9.12, а). В этом случае кольцевое пространство между внутренней поверхностью трубы и корпусом преобразователя перекрывается резиновыми манжетами. Затем последовательно выполняется градуировка для труб различных диаметров (кривые 2—6 рис. 9.12, а). На основании полученных для данного вида промывочной жидкости графиков  $Q = f(n)$  рассчитывается коэффициент поправки на диаметр потока

$$K_d = Q_{\text{скв}}/Q_{\text{расх}} \text{ при } n = \text{const}, \quad (9.19)$$

где  $Q_{\text{скв}}$  — расход жидкости, проходящей через трубу или скважину определенного диаметра;  $Q_{\text{расх}}$  — расход той же жидкости, проходящей только через внутреннее сечение измерительного преобразователя.

По найденным значениям  $K_d$  строятся совмещенные графики  $K_d = f(d)$  для различных значений  $n$  (см. рис. 9.12, б). Например, при частоте вращения крыльчатки  $n = 80 \text{ мин}^{-1}$  (см. рис. 9.12, а) определяют, что расход глинистого раствора, проходящего только через внутреннее сечение преобразователя, составляет 0,7 л/с (точка  $M_1$ ), а расход раствора, проходящего через трубу 146/137 мм, составляет 6,3 л/с (точка  $M_2$ ). Затем вычисляют  $K_d = Q_{\text{скв}}/Q_{\text{расх}} = 6,3/0,7 = 9$  (точка  $M_3$  на рис. 9.12, б). По найденным таким образом точкам и построены графики  $K_d = f(d)$ .

Заранее построенные графики  $Q = f(n)$  (см. рис. 9.12, а) и  $K_d = f(d)$  (см. рис. 9.12, б) позволяют в производственных условиях по показаниям счетчика ДАУ-ЗМ определять расход промывочной жидкости данного типа. Для этого необходимо по измеренному значению частоты вращения крыльчатки  $n$  найти на графике (см. рис. 9.12, а) соответствующее значение  $Q$  и найденное значение умножить на коэффициент  $K_d$ , взятый из графика (см. рис. 9.12, б) для данного диаметра скважины с учетом измеренной частоты вращения.

## Глава 10

### КОМПЛЕКСНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА БУРЕНИЯ

#### § 1. НАЗЕМНАЯ АППАРАТУРА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА БУРЕНИЯ

##### Аппаратура типа КУРС

Аппаратура типа КУРС предназначена для комплектования новых буровых установок серии УКБ.

Имеются две модификации этой аппаратуры: КУРС-613 и КУРС-411.

Аппаратурой КУРС-613 комплектуются буровые установки УКБ-7 (1200/2000), а аппаратурой КУРС-411 — установки УКБ-5 (500/800).

##### Аппаратура КУРС-613

Аппаратура позволяет:

а) измерять осевую нагрузку на породоразрушающий инструмент, усилие на крюке, скорость бурения, давление промывочной жидкости, расход промывочной жидкости, частоту вращения бурового снаряда, крутящий момент на шпинделе или роторе;

В цепь возбуждения  
электродвигателя  
бурового станка

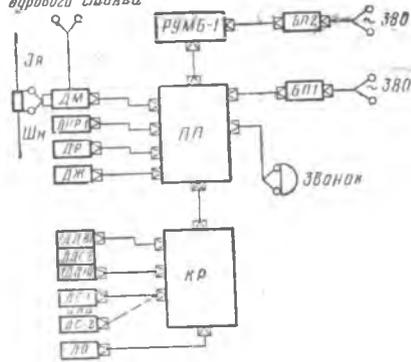


Рис. 10.1. Общая электрическая схема аппаратуры КУРС-613

- б) регистрировать осевую нагрузку на породоразрушающий инструмент и усилие на крюке<sup>1</sup>;
- в) обеспечивать световую и звуковую сигнализацию в случаях превышения установленного оператором значения крутящего момента, превышения усилия на крюке свыше  $200 \pm 20$  кН, значении расхода промывочной жидкости в пределах 0—7% от верхних пределов измерения.

Аппаратура КУРС-613 состоит из ряда систем, каждая из которых предназначена для измерения одного из перечисленных выше параметров. В большинстве случаев указанные системы копируют созданные ранее и описанные в данном учебнике приборы для измерения соответствующих параметров. Общая электрическая схема аппаратуры КУРС-613 показана на рис. 10.1.

### 1. Система измерения осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент и усилия на крюке

Данная система обеспечивает визуальный контроль и запись на суточную диаграмму значений указанных параметров. В состав системы входят измерительные преобразователи ДНР-1 и ДДС-2, а также показывающий и регистрирующий прибор ПН. Оба преобразователя магнитоупругие; по конструкции и принципу действия аналогичны соответствующим преобразователям измерителя МКН-2. Преобразователь ДНР-1 устанавливается в разрыве неподвижного конца талевого системы и осуществляет подачу сигнала при измерении усилия на крюке, а преобразователь ДДС-2 своими гидравлическими камерами посредством маслопроводов подключается соответственно к верхней и нижней частям гидроцилиндров и осуществляет подачу сигналов при изменении осевой нагрузки.

Выходные цепи преобразователей ДНР-1 и ДДС-2 соединяются последовательно с корректором нуля и потенциометром компенсации веса бурового снаряда в полярности, обеспечивающей правильную работу прибора ПН.

Показывающий и регистрирующий прибор ПН работает по

<sup>1</sup> К аппаратуре также может подключаться шестиканальный регистратор РУМБ-1.

принципу автоматической компенсации сигнала<sup>1</sup> и располагается на пульте показывающих приборов ПП. Принцип работы автоматического компенсатора рассмотрен в § 4 гл. 6.

### 2. Система измерения скорости бурения

Система обеспечивает визуальный контроль механической скорости бурения как при гидравлической, так и при свободной подаче бурового снаряда. В состав системы входят два преобразователя ДС-1 и ДС-2 и показывающий прибор ПС.

Оба преобразователя генераторные и представлены асинхронными электродвигателями с полым ротором типа АДП-362. Преобразователь ДС-1 используется при гидравлической подаче бурового снаряда и состоит из зубчато-реечной пары, гибкого вала, фрикционной и зубчатой (одностороннего действия) муфт и тахогенератора.

Этот преобразователь по устройству и принципу действия аналогичен преобразователю измерителя скорости бурения ИСБ. Преобразователь ДС-2 используется при свободной подаче бурового снаряда и состоит из прижимного устройства, повышающего редуктора и тахогенератора.

Преобразователь ДС-2 фрикционным способом подключается к торцу барабана лебедки. По конструкции и принципу действия он аналогичен преобразователю ДС автоматического регулятора подачи АРП. Сигнал от одного из преобразователей передается на вход показывающего прибора ПС, представленного однополупериодным диодным модулятором, нагрузкой которого является микроамперметр М325. Переключателем пределов измерения обеспечиваются измерения 0—3 и 0—15 м/ч.

Схема и принцип действия этой системы аналогичны прибору ИСБ (§ 2 гл. 7).

### 3. Система измерения давления промывочной жидкости

Система обеспечивает визуальный контроль давления промывочной жидкости в напорном трубопроводе.

В состав системы входят магнитоупругий преобразователь ДЖ и показывающий прибор ПД.

Преобразователь ДЖ посредством тройника подключается к нагнетательному трубопроводу, а показывающий прибор ПД размещается на пульте показывающих приборов.

Схема и принцип действия этой системы аналогичны прибору МИД (§ 1, гл. 4).

### 4. Система измерения расхода промывочной жидкости

Система обеспечивает визуальный контроль расхода промывочной жидкости в напорном трубопроводе.

<sup>1</sup> Работа остальных систем измерения параметров основана на принципе прямого преобразования измеряемой величины.

В состав системы входят преобразователь расхода *ДР* и показывающий прибор *ПР*. Преобразователь *ДР* помещается в разрыве нагнетательного трубопровода, а показывающий прибор *ПР* — на пульте *ПП*. Прибор *ПР* имеет две шкалы и переключатель на 2 предела измерения: 0—150 и 0—300 л/мин.

Система и принцип действия этой системы аналогичны прибору РПЛ-1.

## 5. Система измерения частоты вращения

Система обеспечивает визуальный контроль измерения частоты вращения шпиндельного или роторного вращателя.

В состав системы входят преобразователь частоты вращения *ДО* и показывающий прибор *ПО*.

В качестве преобразователя частоты вращения служит асинхронный электродвигатель с полным ротором типа АДП-362, работающий в генераторном режиме.

Так как буровой станок установки УКБ-7 имеет бесступенчатый привод от электродвигателя постоянного тока, то тахогенератор подключен непосредственно к валу приводного электродвигателя.

Прибор *ПО* расположен на пульте *ПП*. Схема прибора *ПО* аналогична схеме показывающего прибора измерения скорости бурения — *ПС*. Прибор *ПО* снабжен переключателем на два предела измерения: 0—750 мин<sup>-1</sup> — для вращателя роторного типа и 0—1500 мин<sup>-1</sup> — для вращателя шпиндельного типа.

## 6. Система измерения крутящего момента

Система обеспечивает измерение крутящего момента на вращателе бурового станка косвенным методом, по произведению значений магнитного потока возбуждения и тока якоря электродвигателя бурового станка.

В состав системы входят: преобразователь момента *ДМ* и показывающий прибор *ПМ*. Преобразователь *ДМ* включается в цепь обмотки возбуждения и к зажимам шунта якоря электродвигателя бурового станка, а показывающий прибор *ПМ* размещается на пульте *ПП*.

В состав преобразователя *ДМ* входят: преобразователь тока возбуждения *ПТВ*, блок перемножения *БПер*, блок питания *БП*.

Общая электрическая схема преобразователя *ДМ* дана на рис. 10.2.

Преобразователь тока возбуждения представляет собой магнитный усилитель, с помощью которого ток возбуждения электродвигателя преобразуется в напряжение постоянного тока, пропорциональное значению магнитного потока возбуждения электродвигателя.

Блок перемножения осуществляет перемножение сигналов напряжения постоянного тока, пропорциональных магнитному пото-

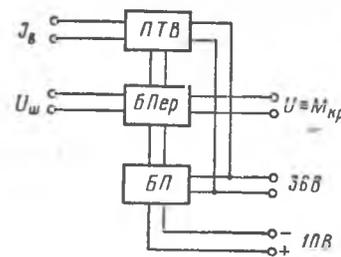


Рис. 10.2. Общая электрическая схема преобразователя *ДМ*

ку (поступающего от *ПТВ*), и тока якоря электродвигателя (поступающего с зажимов шунта якоря).

В состав блока перемножения *БПер* входят: генератор импульсов, широтно-импульсный и амплитудно-импульсный модуляторы. Напряжение на выходе *БПер* пропорционально значению крутящего момента на валу электродвигателя.

В состав показывающего прибора *ПМ* входят: дифференциальный усилитель и собственно показывающий прибор — микроамперметр М325.

Посредством переменного резистора возможна балансировка дифференциального усилителя (установка нуля при равных нулю токах якоря и возбуждения электродвигателя).

## 7. Предупредительная сигнализация

Предупредительная сигнализация обеспечивает получение светового и звукового сигналов в случае превышения предельно допустимых величин крутящего момента и усилия на крюке и снижения расхода промывочной жидкости до допустимой величины.

Система сигнализации работает на принципе сравнения двух напряжений постоянного тока, одно из которых соответствует фактическому значению, а второе — заданному. Так, для системы сигнализации крутящего момента сигнал, пропорциональный фактическому значению крутящего момента, сопоставляется с сигналом задатчика (сигналы с противоположными знаками).

Пока значение крутящего момента не превышает установленного значения на задатчике, сигнал задатчика со знаком плюс будет больше сигнала фактического значения крутящего момента со знаком минус.

Результирующее значение со знаком плюс на реле включения сигнализации не поступит, так как транзистор интегральной схемы 1УТ401А будет закрыт.

Если же сигнал фактического значения крутящего момента станет больше сигнала задатчика, то результирующее напряжение будет со знаком минус, транзистор интегральной схемы откроется и результирующее напряжение поступит на реле включения световой, а затем и звуковой сигнализации.

Принцип работы сигнализации для максимального усилия на крюке и минимального расхода промывочной жидкости аналогичны вышеописанному. Разница состоит в том, что сигнал задатчика крутящего момента с помощью переключателя может менять

<sup>1</sup> См. описание прибора ОМ-40.

свои значения, а задатчик сигнализации минимального расхода промывочной жидкости представлен постоянным резистором и, следовательно, настроен на определенное нерегулируемое значение расхода.

При усилии на крюке 200 кН срабатывает геркон, включающий подачу минусового сигнала на базу транзистора, после чего схема работает аналогично вышеописанной.

Съем сигнализации осуществляется при нажатии на кнопку «Съем».

## 8. Блоки питания БП<sub>1</sub> и БП<sub>2</sub>

Блоки питания представляют собой феррорезонансные стабилизаторы напряжения. Блок питания БП<sub>1</sub> служит для питания измерительных преобразователей и пульта ПП аппаратуры. Блок питания БП<sub>2</sub> устанавливается в случае подключения регистратора «Румб-1».

## 9. Коробка распределительная

Коробка распределительная КР, служит для подключения измерительных преобразователей, установленных на станке, к пульту ПП.

Корпус КР устанавливается на раме бурового станка.

### Подготовка к работе и эксплуатация

После монтажа и внешнего осмотра аппаратуры приступают к подготовке ее к работе.

Корректором нуля, расположенным на защитном стекле каждого из приборов М325, указывающие стрелки механическим способом устанавливаются на нулевые отметки.

Пакетный выключатель блока питания устанавливается в положение «Сеть», и если загорелись сигнальные лампы на всех измерительных системах, то дают аппаратуре прогреться в течение 2 ч.

Затем при нерабочем положении преобразователей соответствующими регулировочными резисторами стрелки измерительных приборов устанавливаются на нулевую отметку (электрический нуль).

На приборах ПС, ПР и ПО устанавливаются пределы измерений в соответствии с ожидаемым значением при измерении.

На приборе ПН ручка компенсации веса устанавливается в крайнее левое положение, а переключатель рода работ в положение «На крюке». Кроме того, прибор ПН подготавливается к регистрации показаний (перо заправляется чернилами, заводится часовой механизм, устанавливается по времени и закрепляется бланк диаграммы).

Система предупредительной сигнализации включается соответствующими тумблерами путем установки их в положение «Вкл».

После выполнения указанных подготовительных работ можно приступать к измерениям.

При измерении усилия на крюке (прибор ПН) переключатель рода работ должен находиться в положении «На крюке».

При спуско-подъемных операциях стрелка прибора покажет усиление на крюке талевого системы. Показание прибора следует умножить на 10. Измерению осевой нагрузки предшествует взвешивание бурового снаряда. При этом переключатель рода остается в прежнем положении.

Опущенный в скважину буровой снаряд с помощью гидравлики поднимается над забоем на 10—15 см. В момент, когда движение шпинделя вверх прекратится, стрелка прибора покажет значение, отождествляемое с весом бурового снаряда. Показание прибора следует умножить на 10.

Перед измерением осевой нагрузки для бурового снаряда создают такие условия, в каких он будет находиться при бурении, т. е. осуществляют подачу промывочной жидкости и включают вращение.

Пробковый кран управления гидросистемой станка устанавливается в положение «Шпиндель вниз», и создают такое давление в верхней части гидроцилиндров, которое обеспечит движение шпинделя вниз со скоростью 0,5 ÷ 1,0 м/ч.

Переключатель рода работ устанавливают в положение «Нагрузка». При этом стрелка прибора уйдет влево за нулевую отметку шкалы.

Ручкой «Компенсация веса» стрелку прибора устанавливают на нулевую отметку.

Теперь в процессе бурения стрелка прибора будет показывать значения осевой нагрузки.

Измерения других параметров заключаются во взятии отсчетов по шкалам и положению стрелок на соответствующих приборах.

Переключение пределов измерения на приборах ПС, ПО, ПР производится, когда соответствующие узлы или оборудование находится в нерабочем состоянии.

Значение крутящего момента на переключателе системы сигнализации устанавливается с учетом глубины скважины, диаметра, типа соединений, материала и степени износа буровых труб.

Предельно допустимое значение крутящего момента определяют путем расчета, а на буровых пользуются готовыми значениями, содержащимися в заранее составленных таблицах.

### Отличительные особенности аппаратуры КУРС-411

Аппаратура КУРС-411 состоит из ряда систем, обеспечивающих:

а) измерение осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент и усилие на крюке, скорости бурения, давления промывочной жидкости, расхода промывочной жидкости;

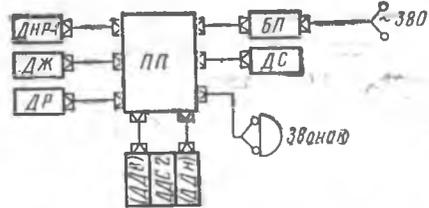


Рис. 10.3. Общая электрическая схема аппаратуры КУРС-411

- б) регистрацию осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент и усилие на крюке;
- в) включение световой и звуковой сигнализации при заданной

минимально допустимой величине расхода промывочной жидкости.

Каждая из измерительных систем состоит из преобразователя и показывающего прибора. Измерительные преобразователи размещены на узлах оборудования, а показывающие приборы — на пульте. Устройство и принцип действия соответствующих преобразователей и показывающих приборов аналогичны аппаратуре КУРС-613.

Технические данные аппаратуры КУРС-411 приведены в табл. 9, а общая электрическая схема на рис. 10.3.

Таблица 9

Показатели	Аппаратура	
	КУРС-613	КУРС-411
<b>А. Измеряемые</b>		
Усилие на крюке, кН	0—200	0—80
Нагрузка на породоразрушающий инструмент, кН	0—30	0—30
Механическая скорость бурения, м/ч	0—3; 0—15	0—3; 0—15
Давление промывочной жидкости, МПа	0—98	0—98
Расход промывочной жидкости, л/мин	0—150; 0—300	0—150; 0—300
Частота вращения, мин <sup>-1</sup> :		
на шпинделе	0—1500	—
на роторе	0—750	—
Крутящий момент, кН·м:		
на шпинделе	0—1500	—
на роторе	0—3000	—
<b>Б. Регистрируемые</b>		
Усилие на крюке, кН	0—200	0—80
Нагрузка на породоразрушающий инструмент, кН	0—30	0—30
<b>В. Сигнализация</b>		
При расходе промывочной жидкости в зависимости от верхнего предела измерений, %	0—7	0—7
Свыше установленного значения крутящего момента, Н·м:		
на шпинделе	250; 500; 750; 1000; 1250; 1500	—
на роторе	500; 1000; 1500; 2000; 2500; 3000 200 ± 20	—
При значении усилия на крюке, кН		

Таким образом, аппаратура КУРС-411 по сравнению с аппаратурой КУРС-613 обеспечивает измерение меньшего количества параметров и сигнализацию только от одного параметра.

В составе аппаратуры отсутствует распределительная коробка и имеется только один блок питания БП.

### Технологические возможности аппаратуры КУРС и методика их использования

Аппаратура КУРС в сочетании с регистратором РУМБ-1 позволяет существенно повысить производительность труда при бурении, улучшить качество работ и баланс времени. Достигается это за счет эксплуатационных качеств аппаратуры, обеспечивающих:

1. Поиск оптимальных параметров режима бурения. Поиск производится шаговым методом, при котором основные параметры режима бурения изменяются по заранее установленным ступеням. Конечная цель поиска — установление такого соотношения между параметрами, при которых скорость бурения будет максимальной.

2. Соблюдение заданных параметров режима бурения путем наблюдения за показаниями приборов.

3. Проведение механического каротажа, т. е. расчленения пород разреза по их фактической буримости.

4. Предупреждение и обнаружение аварий и осложнений в скважине.

5. Наблюдение за работой бурильных труб, породоразрушающего инструмента и агрегата в целом.

6. Составление объективного баланса рабочего времени, а также приведение более обоснованного нормирования и планирования буровых работ.

Информация с аппаратуры к оператору поступает путем визуальных наблюдений за показателями приборов, а также в результате расшифровки записей на диаграммной ленте и круговом бланке.

Для устройства расшифровки записей каждая из дорожек диаграммной ленты имеет надпись регистрируемого параметра и покрыта прямоугольной сеткой. По оси абсцисс записывается время, а по оси ординат — регистрируемый параметр.

В зависимости от желаемого масштаба записи соответственно изменяется скорость протяжки ленты.

При расшифровке записей следует пользоваться следующими положениями.

### А. Технология бурения

1. Нормальное течение процесса бурения отображается линиями записи, близкими к прямым, параллельными оси абсцисс с ординатами, пропорциональными заданным значениям параметров.

2. При неизменном положении дросселя станка изменение значений осевой нагрузки свидетельствует о смене буримых пород.

Встреча более крепких пород вызывает увеличение осевой нагрузки и снижение скорости бурения, а в мягких породах, наоборот, осевая нагрузка уменьшается, а скорость бурения увеличивается. Таким образом, по изменениям скорости бурения и осевой нагрузки можно выделять отличающиеся по твердости породы, т. е. проводить механический каротаж.

3. При бурении трещиноватых пород происходят существенные отклонения показаний скорости бурения и крутящего момента от своего среднего значения. При этом характер изменений — скачкообразный.

4. Затупление резцов и износ коронки приводят к снижению скорости бурения.

5. При самозаклинивании керна падает скорость бурения и увеличиваются значения крутящего момента и давления промывочной жидкости.

### Б. Осложнения в скважине и аварийные ситуации

1. Прихваты и зашламование бурового снаряда приводят к увеличению значений крутящего момента. Одновременно может снижаться скорость бурения и повышаться давление промывочной жидкости.

2. В случае обрыва бурильных труб крутящий момент резко уменьшается. Если колонну бурильных труб приподнять, то можно заметить уменьшение ее веса, увеличение расхода и снижение давления промывочной жидкости.

3. Прижог коронки можно обнаружить по увеличению крутящего момента и уменьшению расхода промывочной жидкости.

### В. Неисправности в работе бурового агрегата

1. Неисправности в работе насоса могут привести к пульсациям и самопроизвольным изменениям расхода и давления промывочной жидкости.

2. Износ фрикциона приводит к проскальзываниям дисков, что вызывает скачкообразные изменения значений крутящего момента.

3. Неисправности в гидравлической системе станка могут вызвать самопроизвольные изменения осевой нагрузки.

## § 2. АППАРАТУРА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ЗАБОЙНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Одним из важнейших преимуществ электрического метода измерения неэлектрических величин является возможность измерения на расстоянии. Обычно расстояние между точкой замера и электроизмерительным прибором ограничено десятками или в крайнем случае несколькими сотнями метров. При дальнейшем



Рис. 10.4. Структурная схема телеизмерительной системы

увеличении этого расстояния сильно возрастают потери энергии сигнала, передаваемого по соединительной линии с преобразователя на электроизмерительный прибор, возникающие вследствие падения напряжения на сопротивлении проводов и утечки части тока через несовершенную изоляцию линии. В результате сигнал преобразователя настолько уменьшается и искажается, что измерение становится невозможным.

Вместе с тем в процессе бурения и при эксплуатации скважин требуется проводить измерения не только наземных, но и глубинных параметров. При этом возникает необходимость в передаче показаний датчиков на расстояния до 6—7 км, а в перспективе в связи с проблемой бурения скважин на мантию земной коры до 15—18 км. В наземных условиях показания датчиков иногда необходимо передавать на расстояния, измеряемые сотнями и даже тысячами километров. Эти задачи решаются специальной областью измерительной техники, получившей название *телеизмерения*.

### Общие понятия о телеизмерительных системах

Структурная схема телеизмерительной системы показана на рис. 10.4. В систему входят: преобразователь, передающее устройство, канал связи, приемное устройство и электроизмерительный прибор.

Измеряемая неэлектрическая величина воздействует на преобразователь, в котором преобразуется в один из электрических параметров или э. д. с. Электрическая величина, образующаяся на выходе преобразователя, обычно неудобна или вовсе непригодна для передачи по каналу связи. Поэтому она поступает в передающее устройство, в котором преобразуется во вспомогательный параметр, удобный для передачи по каналу связи. С выхода канала связи сигнал поступает в приемное устройство, где происходит обратное преобразование: вспомогательный параметр, переданный по каналу, преобразуется в такую же электрическую величину, какая была на выходе преобразователя.

В наземных условиях чаще всего используются каналы проводных линий связи, а при их отсутствии, а также при передаче телеизмерительных сигналов от движущихся объектов — каналы радио- и радиорелейных линий связи.

Проводные линии связи подразделяются на воздушные, в которых голые металлические провода крепятся к фарфоровым изоляторам, размещенным на деревянных или железобетонных опорах, и кабельные, в которых медные или алюминиевые жилы

помещаются в общую резиновую или пластмассовую оболочку. Проводные линии обычно уплотняются специальной аппаратурой, которая образует на каждой двух- или четырехпроводной цепи несколько (от двух — трех до нескольких сотен) телефонных и телеграфных каналов, работающих на различных частотах и отделенных друг от друга электрическими фильтрами. Телеграфный канал позволяет передавать сигналы частотой от 0 до 120—140 Гц, а телефонный канал — от 300 до 2700 или 3400 Гц.

При использовании радиорелейных линий связи аналогичная аппаратура уплотнения подключается к радиопередающим и радиоприемным устройствам. Сигналы с выходов трактов передачи аппаратуры уплотнения поступают на радиопередатчик, где управляют радиочастотными колебаниями, которые затем излучаются антенной в требуемом направлении, воздействуют на приемную антенну, усиливаются и детектируются. С выхода радиоприемника сигналы направляются в соответствующие тракты приема аппаратуры уплотнения. Эта связь осуществляется на ультракоротких радиоволнах, и поэтому возможна только при условии прямой геометрической видимости между антеннами корреспондирующих радиостанций, т. е. до 30—50 км. При больших расстояниях между оконечными пунктами устанавливается цепочка передаточных станций.

При телеизмерениях глубинных параметров в скважинах электрические сигналы из забоя на дневную поверхность могут передаваться по проводным линиям, по силовым кабелям погружных электродвигателей, по колонне труб и по окружающей их земной поверхности. Передача информации с преобразователей возможна также гидравлическими сигналами по промывочной жидкости и акустическими сигналами по металлу труб или по жидкости.

### Телеизмерительная аппаратура ТИС-1200

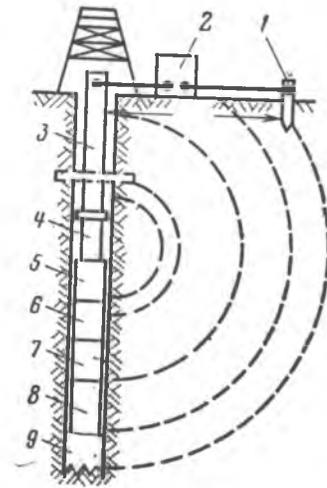
Эта аппаратура предназначена для измерения осевой нагрузки и крутящего момента непосредственно на породоразрушающем инструменте в процессе бурения; результаты измерений передаются из скважины по беспроводному каналу связи на наземную аппаратуру, установленную на буровой.

Аппаратура обеспечивает измерение осевой нагрузки и крутящего момента на глубине до 1200 м. Питание глубинного прибора — от аккумуляторов типа КНГК-10Д, а наземной аппаратуры — от сети переменного тока.

Размещение аппаратуры ТИС-1200 на буровой показано на рис. 10.5. Глубинный прибор состоит из блока преобразователя 7, блока электронной аппаратуры 6, блока питания 5, изолирующей штанги 4 и колонковой трубы 8. Промывочная жидкость и заклиночный материал проходят через отверстие в изолирующей штанге, восьмимиллиметровый кольцевой зазор, образуемый между колонковой трубой и контейнерами блоков 5 и 6, и специальные каналы в блоке 7. В состав наземной аппаратуры входят прием-

Рис. 10.5. Размещение аппаратуры ТИС-1200 на буровой:

1 — стержень заземления; 2 — наземная аппаратура; 3 — колонна бурильных труб; 4 — изолирующая труба; 5 — блок питания; 6 — блок электронной аппаратуры; 7 — блок преобразователей; 8 — колонковая труба; 9 — породоразрушающий инструмент



ник-дешифратор, два показывающих прибора типа ПКР-11 и блок питания.

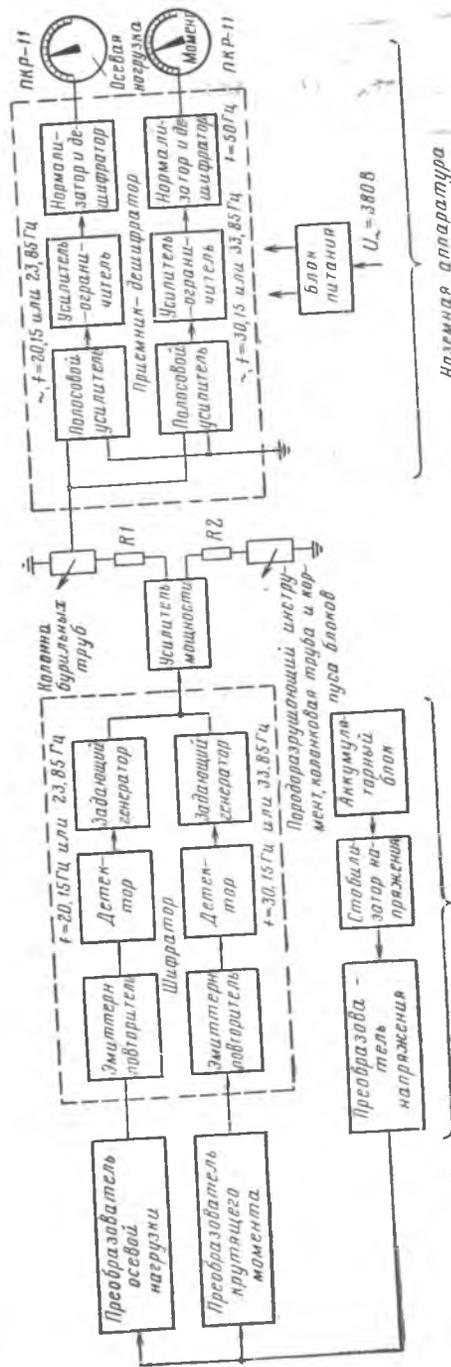
Структурная схема аппаратуры ТИС-1200 представлена на рис. 10.6. С аккумуляторов через стабилизатор напряжения постоянного тока подается на преобразователь, в котором преобразуется в переменный ток частотой 1600 Гц, используемый для питания обмоток, возбуждения магнитоупругих преобразователей осевой нагрузки и крутящего момента. В процессе работы с измерительных обмоток снимается переменное напряжение указанной частоты, амплитуда которого пропорциональна измеряемым параметрам. Это напряжение с выхода поступает в шифратор, где сигнал проходит через эмиттерный повторитель, выпрямляется детектором и поступает на задающий генератор. Генератор вырабатывает переменное напряжение, частота которого зависит от величины управляющего постоянного напряжения.

В канале измерения осевой нагрузки частота генератора изменяется в пределах от 23,85 Гц (при нулевой нагрузке) до 21,15 Гц (при максимальной нагрузке), а в канале измерения крутящего момента — от 33,85 Гц (при нулевом значении момента) до 30,15 Гц (при максимальном моменте). С выхода дешифратора частотно-модулированные сигналы подаются на усилитель мощности, усиливаются и поступают на нагрузку.

Нагрузкой усилителя являются сопротивления заземлений двух электрически изолированных друг от друга частей бурового снаряда и дополнительные резисторы  $R_1$ ,  $R_2$ .

К одной части снаряда относятся породоразрушающий инструмент 9, колонковая труба 8 и корпуса блоков 5, 6 и 7 глубинного прибора (см. рис. 10.5). Вторая часть снаряда — это вся колонна бурильных труб. Между двумя частями снаряда возникает электрическое поле, показанное на рис. 10.4 пунктирными линиями. Часть этого поля может распространиться до поверхности и создать разность потенциалов между буровой вышкой (имеющей такой же электрический потенциал, как колонна труб) и стержнем заземления 1, который ввинчивается в землю на расстояние 50—70 м от буровой.

Принятый на дневной поверхности сигнал поступает на наземную аппаратуру. Здесь с помощью полосовых усилителей, нагруженных полосовыми фильтрами, один из которых пропускает коле-



бания в диапазоне частот 20,15—23,85 Гц, а второй — 30,15—33,85 Гц, происходит разделение измерительных каналов. Затем в каждом из каналов частотно-модулированные колебания (ЧМ) повторно усиливаются, ограничиваются по амплитуде и поступают на нормализатор, в котором преобразуются в частотно-импульсно-модулированные сигналы (ЧИМ). Нормализованные импульсы подаются на дешифратор; на выходе дешифратора создается напряжение переменного тока частотой 50 Гц, амплитуда которого пропорциональна измеряемому параметру. Это напряжение и поступает на соответствующий прибор ПКР-11.

В аппаратуре ТИС-1200 предусмотрена также возможность подключения прибора СК-5 для регистрации измеряемых параметров.

Описанные выше методы измерения параметров непосредственно на породоразрушающем инструменте использовались также в аппаратуре ГРП-2. Однако в этой аппаратуре измерительная информация не передавалась сразу на наземные приборы, а записывалась на магнитную проволоку. Включение записывающего устройства осуществлялось центробежным регулятором при достижении определенной частоты вращения породоразрушающего инструмента. Через установленные периоды времени аппаратура вместе с буровым снарядом поднималась на поверхность.

Рис. 10.6. Структурная схема аппаратуры ТИС-1200

### § 3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА БУРЕНИЯ

Только при наличии КИП возможно получение необходимой информации для отыскания оптимальных параметров режима бурения.

Под оптимальным режимом бурения понимают технологический режим бурения, обеспечивающий получение наилучших технико-экономических показателей, т. е. получение наивысшей механической скорости бурения и высокого качества геологических показателей при минимальных значениях износа породоразрушающего инструмента, расхода мощности и стоимости 1 м бурения.

Так как оптимальный режим бурения составляется без учета технических возможностей оборудования, то в данном случае имеет смысл оперировать термином *рациональный* режим бурения, который эти возможности учитывает, т. е. составляется для конкретного оборудования, которым располагает данная геологоразведочная организация.

Сбор материала для исследования должен вестись с соответственно оборудованной буровой.

При этом станок должен иметь совершенную систему подачи, позволяющую с большей точностью регулировать осевую нагрузку на породоразрушающий инструмент, бесступенчатое или с набором возможно большего числа ступеней регулирования частоты вращения. Промысловый насос также должен быть обеспечен средствами регулирования производительности.

Набор КИП должен состоять из:

прибора измерения осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент (например, МКН-2);  
расходомера промывочной жидкости (ЭМР-2 или РПЛ-1);  
часов с секундной стрелкой для определения средней механической скорости за рейс.

При наличии секундомера-спидометра определение механической скорости упростится и ускорится, что позволит производить в течение рейса несколько измерений.

Методика исследований будет заключаться в поочередном изменении значений одного из параметров (осевая нагрузка, частота вращения, количество и качество промывочной жидкости, тип породоразрушающего инструмента) при постоянных значениях всех других параметров.

Например, по значениям  $u_m$  и различным значениям осевой нагрузки строят график (рис. 10.7), по которому находят рациональное значение осевой нагрузки.

Подобным образом определяют рациональные значения частоты вращения и т. д.

После этого производят проверку найденного рационального значения осевой нагрузки: будет ли оно наилучшим при найденном рациональном значении частоты вращения, расходе промывочной жидкости и т. п.

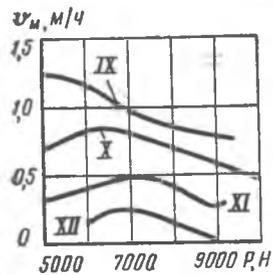


Рис. 10.7. График зависимости  $v_m$  от  $P$  для однослойных алмазных коронок в различных породах

Производя исследования, важно правильно выбрать ступени режимных параметров и их число.

Первоначальные значения параметров берут по данным практики, таблицам справочной литературы или определяют по расчетным формулам.

Следующая ступень, на которую изменяется измеряемый параметр, не должна превышать удвоенной величины погрешности, даваемой контрольно-измерительным прибором.

Чаще всего ступени режимных параметров составляют:

для осевой нагрузки  $1 \pm 2$  кН; для частоты вращения; при бесступенчатом регулировании ( $100 \text{ мин}^{-1}$ ); при ступенчатом регулировании — определяется имеющимися передачами; для количества промывочной жидкости (5—10 л/мин).

Чрезмерно большие ступени изменения режимных параметров будут давать весьма обобщенные результаты и поэтому нежелательны.

При выборе числа измерений необходимо исходить из положения, что снижение случайных ошибок ограничено точностью приборов, а мерой случайных отклонений в измерениях является величина средняя квадратическая погрешность.

Таким образом, число измерений будет определяться отношением допустимой погрешности измерений к величине среднее квадратической ошибки, при этом также учитывается величина надежности.

В зависимости от указанных факторов число измерений может колебаться от 2—10 до нескольких десятков.

Вышесказанное справедливо для случаев бурения по однородным толщам пород.

Если будет перемежаемость пород по физико-механическим свойствам, то число измерений следует увеличить на 35%.

Результаты наблюдений записывают в наблюдательный лист.

После того как рациональные значения параметров режимов бурения будут найдены, их следует распространить на все буровые, работающие на данном участке (месторождении).

При этом они вписываются в ГТН и являются руководящим материалом для бурильщика.

В процессе же бурения контроль за указанными значениями параметров режимов бурения должен быть активным, т. е. в случае обнаружения аномальных явлений в работе породоразрушающего инструмента, резком изменении механической скорости бурильщик должен изменить параметры режима бурения в соответствии со сложившейся ситуацией.

Глава II

КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

§ 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И НАЗНАЧЕНИЯ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

История создания орудий и средств труда тесно связана с их качеством. Повышение качества ведет к сбережению труда и материальных ресурсов, позволяет более полно удовлетворять потребности общества.

На всех этапах развития нашей промышленности уделяется большое внимание качеству выпускаемой продукции как одному из важнейших показателей технического прогресса.

Качество изделий зависит от многих факторов: свойств материалов, из которых они изготавливаются; степени соблюдения и совершенства технологии производства; конструкции изделий и др.

Одним из важнейших показателей качества изделий является их надежность, обуславливающая безотказность и долговечность.

Наиболее совершенными и экономически целесообразными методами определения гарантированной надежности изделий являются физические методы неразрушающего исследования и контроля ФМНК.

В отличие от классических методов механических испытаний, когда материал или деталь подвергались различным нагрузкам, приводившим к их порче, ФМНК позволяют осуществлять сбор информации о свойствах исследуемого материала (детали) без нарушения его структуры и качества.

Сбор информации по качественной характеристике исследуемого материала (детали) может вестись на различных стадиях:

при изготовлении различных профилей проката, отливок и поковок;

в процессе обработки материала на металлорежущих станках; при монтаже узлов и деталей;

периодический плановый контроль деталей, узлов, механизмов и машин в процессе их эксплуатации.

Осуществляя ФМНК, стремятся обнаружить дефекты, т. е. технически недопустимые отклонения испытуемого изделия от норм, предусмотренных ГОСТом или ТУ на изготовление или ремонт этого изделия.

Современная физика твердого тела все виды дефектов классифицирует по следующим группам:

- 1 отклонения от номинальных размеров и заданной формы;
- 2 отклонения от заданной чистоты обработки поверхности;
- 3 нарушения сплошности;
- 4 различные виды коррозии;
- 5 нежелательная металлографическая структура;
- 6 некачественная химико-термическая обработка;
- 7 недостаточная или избыточная твердость, прочность.

Вышеприведенная классификация видов дефектов с учетом целого ряда свойств исследуемого материала (электропроводность, магнитные свойства, структура и др.) позволяет осуществить рациональный выбор метода контроля.

В настоящее время известно значительное число ФМНК, каждый из которых имеет определенные области рационального применения.

Приведем описание четырех основных ФМНК, получивших наибольшее распространение в практике горно-буровых работ.

## § 2. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Ультразвуковые колебания представляют собой упругие колебания с частотой от  $20^4$  до  $10^9$  Гц. Такие колебания не воспринимаются слуховым аппаратом человека. Кроме того, в отличие от колебаний звукового диапазона ультразвуковые колебания обладают направленностью распространения, хорошо поддаются фокусировке, что позволяет повысить их интенсивность. По этой причине для характеристики ультразвуковых колебаний часто используется понятие луча. Ультразвуковой луч, проходя через различные среды, отражается от границы раздела этих сред, что также приводит к ослаблению его интенсивности.

Оценивая изменения отраженной энергии, можно получить информацию о тех препятствиях (порах, трещинах, различных включениях), которые встретились на пути ультразвукового луча. Для выявления указанных препятствий большое значение имеет частота колебаний. Если препятствие имеет размеры, большие или соизмеримые с длиной волны, то от него произойдет сильное отражение. Если же препятствие меньше длины волны, то отражение будет незначительным. Следовательно, чем выше частота упругих волн, тем меньших размеров может быть обнаружено препятствие (дефект).

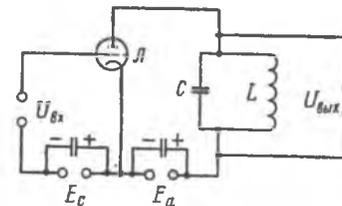
### Ультразвуковые установки

Ультразвуковая установка состоит из двух основных элементов: электронного генератора<sup>1</sup> и преобразователя.

<sup>1</sup> В определенном диапазоне частот могут быть использованы машинные генераторы.

Рис. 11.1. Упрощенная схема ультразвукового генератора:

$U_{вх}$  — напряжение возбудителя;  $LC$  — колебательный контур;  $E_a$  — анодное напряжение;  $E_c$  — напряжение смещения;  $U_{вых}$  — выходное напряжение



## Генераторы

Генератор служит для получения тока высокой частоты, а преобразователь — для превращения электрических колебаний высокой частоты в упругие механические колебания.

Упрощенная схема ультразвукового генератора с независимым возбуждением изображена на рис. 11.1.

Колебательный контур  $C$  преобразует подводимую к нему энергию в переменный ток с частотой, определяемой параметрами колебательного контура. Частота колебаний такого контура может быть определена по формуле

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad (11.1)$$

где  $F_0$  — собственная частота колебания контура;  $L$  — индуктивность, Г;  $C$  — емкость, Ф.

Для того чтобы колебания в контуре не затухали, необходимо постоянное подведение энергии от источника электрического тока и наличие электронной лампы, посредством которой регулируется подача энергии от источника тока к контуру.

## Преобразователи

В зависимости от того, в какую среду происходит излучение ультразвуковых колебаний, применяют различные типы преобразователей.

При излучении в твердую и жидкую фазы применяют пьезоэлектрические и магнитострикционные преобразователи; при излучении ультразвука в воздух — сирены и свистки.

Для целей дефектоскопии находят применение первых два типа преобразователей.

**Пьезоэлектрические преобразователи.** Явление пьезоэлектрического эффекта было рассмотрено в § 2 гл. 2. Пьезоэлектрическим эффектом обладают пластины, вырезанные в плоскости перпендикулярной к одной из трех электрических осей ( $X$ -срез) кристаллов пьезокварца, турмалина, сегнетовой соли<sup>1</sup>. В последнее время все большее распространение находит новый вид материала, обладающего пьезоэлектрическим эффектом — титанат бария.

**Магнитострикционные преобразователи.** Принцип действия магнитострикционных преобразователей основан на явлении

<sup>1</sup> Двойная натриево-калиевая соль виннокаменной кислоты с четырьмя молекулами кристаллизационной воды ( $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ).

магнитострикции, заключающемся в изменении линейных или объемных размеров ферромагнитных материалов и их сплавов<sup>1</sup> в магнитном поле.

Магнитострикционный преобразователь представляет собой пакет тонких пластин (0,1—0,2 мм) различной конфигурации с замкнутой или разомкнутой схемами магнитных потоков или цилиндр<sup>2</sup>, изготовленный из ферромагнитного материала и помещенный в катушку. При пропускании через катушку преобразователя переменного тока в такт с частотой этого тока происходит изменение магнитного поля, которое вызывает изменение геометрических размеров магнитострикционного элемента, и при этом в окружающую среду излучаются упругие волны.

### Методы ультразвуковой дефектоскопии

На практике применяется целый ряд методов ультразвуковой дефектоскопии: теневой, импульсный (эхо-метод), резонансный, структурного анализа, импедансный, свободных колебаний и др.

Рассмотрим теневой и импульсный методы.

**Теневой метод.** Этот метод основан на ослаблении проходящих ультразвуковых волн при наличии внутри детали дефектов, создающих ультразвуковую тень. При этом методе (рис. 11.2) используются два преобразователя (искательные головки), располагаемые с противоположных сторон исследуемой детали.

Один преобразователь излучает ультразвуковые колебания, а другой принимает.

Теневой метод имеет целый ряд недостатков, ограничивающих его применение. К недостаткам этого метода относятся: невысокая чувствительность; необходимость установки двух преобразователей, что далеко не всегда выполнимо; невозможно установить глубину, на которой обнаружен дефект.

Всех этих недостатков лишен импульсный метод.

**Импульсный метод (эхо-метод).** Этот метод основан на явлении отражения ультразвуковых волн.

Структурная схема импульсного метода ультразвуковой дефектоскопии показана на рис. 11.3.

Высокочастотный генератор ВЧГ вырабатывает и посредством излучателя И посылает в исследуемый материал короткие (0,5—10 мкс) импульсы с паузами в 1—2 мс. Посланный излучателем импульс, отразившись, возвращается обратно к преобразователю, который в момент пауз работает как приемник. С преобразователя сигнал поступает на усилитель У, а затем на отклоняющие пластины электроннолучевой трубки ЭЛТ.

<sup>1</sup> Никель, кобальт, пермендюр (49% Со, 49% Fe, 2% Ва), альфер (железоалюминиевый сплав с 12% Al), феррит (окиси никеля, железа, цинка).

<sup>2</sup> Разнообразие форм вызвано необходимостью уменьшения потерь на токи Фуко, создания определенной направленности излучения и др.

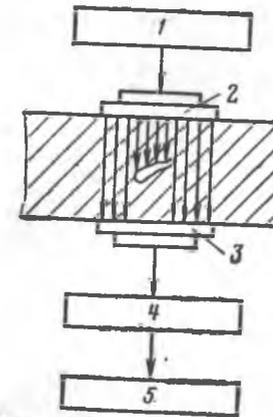


Рис. 11.2. Структурная схема теневого метода ультразвуковой дефектоскопии: 1 — генератор; 2 — излучатель; 3 — приемник; 4 — усилитель; 5 — индикатор

Для получения на электроннолучевой трубке изображения зондирующих и отраженных импульсов в схеме предусмотрен блок развертки БР.

Работой высокочастотного генератора управляет синхронизатор С, который с определенной частотой следования формирует высокочастотные импульсы.

При контроле изделий на экране индикатора видны сигналы: зондирующий — соответствующий посылаемому импульсу — и донный — от противоположной грани изделия. В случае наличия дефекта появляется третий сигнал, помещающийся между зондирующим и донным на расстоянии, пропорциональном глубине расположения дефекта. Таким образом, этот метод позволяет не только обнаружить дефект, но и определить глубину его нахождения.

### § 3. РАДИАЦИОННАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Рентгеновские и гамма-лучи радиоактивных элементов представляют собой электромагнитные колебания, отличающиеся от видимого света, ультрафиолетовых и инфракрасных излучений длиной волны.

Длина волн в Å составляет:

Длина волн в Å составляет:

Рентгеновских лучей	3,1—0,006
Гамма-лучей	1,14—0,003
Видимого света	$7,5 \cdot 10^3—4 \cdot 10^3$
Ультрафиолетовых лучей	$4 \cdot 10^3—2 \cdot 10^3$
Инфракрасных лучей	$3 \cdot 10^4—7,5 \cdot 10^4$

Гамма-лучи возникают при распаде атомов радиоактивного вещества.

Радиоактивное излучение не является однородным; под действием магнитного поля оно делится на три вида: альфа-, бета- и гамма-излучение, отличающиеся друг от друга рядом параметров. В частности, гамма-лучи обладают наибольшей проникающей способностью.

Рентгеновское излучение возникает при резком торможении потока электронов атомами материала.

Рентгеновское излучение происходит в трубках, представляющих собой стеклянный вакуумированный баллон, с противоположных концов которого расположены электроды: анод и катод. Анод представляет собой вольфрамовый диск, расположенный под углом  $45^\circ$  к оси трубки, а катод — вольфрамовую фокусирующую чашечку со спиралью, к которой подводится низкое напряжение. К электродам подводится высокое напряжение (десятки, а иногда и сотни тысяч вольт), в результате чего создается электрическое поле высокого напряжения. При подаче низкого напряжения спираль испускает тепловые электроны, которые под действием электрического поля трубки с большой энергией устремляются от катода к аноду. Бомбардируя вещество анода, электроны тормозятся и испускают при этом кванты рентгеновских лучей.

#### Установки для гамма-дефектоскопии

Конструктивно установки для гамма-дефектоскопии чрезвычайно просты: они представляют собой корпус шаровой или цилиндрической формы, изготовленный из свинца или чугуна. Внутри корпуса имеется гнездо для размещения радиоактивного изотопа: кобальта-60, цезия-137, европия 152-154, иридия-192, тулия-170. Гнездо закрывается головкой, имеющей дистанционное управление с расстояния около 5 м. При открытии затвора головки гамма-лучи попадают на исследуемый объект в виде узкого пирамидального пучка.

Пройдя через исследуемый объект, лучи попадают на фоточувствительную пленку (графия) или на экран с флюоресцирующим слоем (скопия).

Принципиальная схема гамма-дефектоскопии фотографическим методом показана на рис. 11.4.

Гамма-лучи, пройдя через исследуемый материал, фиксируются на фотопленке, которая в дальнейшем обрабатывается обычным способом.

Интенсивность облучения пленки зависит от энергии излучения, толщины и плотности материала. Наличие трещин, пустот и других дефектов изменяют плотность материала в данном месте, что приводит к более интенсивному облучению, и на фотопленке эти места будут более темными.

Для просвечивания материалов большой толщины и плотности используется изотоп кобальт-60 как обладающий наибольшей энергией излучения (жесткостью) среди других изотопов.

В процессе работы с изотопами должно быть уделено самое серьезное внимание вопросам техники безопасности.

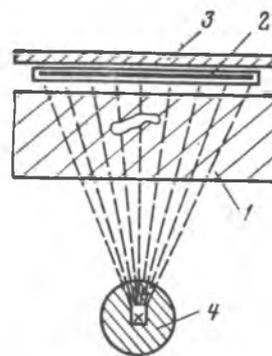


Рис. 11.4. Принципиальная схема гамма-дефектоскопии:

1 — исследуемый материал или изделие; 2 — кассета с фотопленкой; 3 — листовой свинец; 4 — контейнер с радиоактивным изотопом

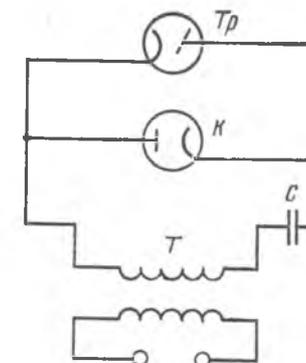


Рис. 11.5. Принципиальная схема подключения рентгеновской трубки к главному трансформатору

Основными правилами работы являются: быстрота, надежная защита от проникающей радиации и безопасное расстояние от источника излучения.

*Установка для рентгенодефектоскопии.* В состав установки входят: рентгеновская трубка, главный трансформатор с выпрямительным устройством, система охлаждения анода трубки, пульт управления.

Рентгеновские трубки, служащие для генерирования рентгеновских лучей, бывают ионные и электронные.

В электронных трубках поток электронов создается нагревом вольфрамовой нити, а в ионной — бомбардировкой катода ионами разреженного газа, находящегося в трубке между электродами.

Главный трансформатор преобразует ток промышленного напряжения в ток высокого напряжения (десятки и сотни тысяч вольт), подводимого к электродам рентгеновской трубки.

В малогабаритных рентгеновских аппаратах осуществляется безвыпрямительная схема подключения рентгеновской трубки к трансформатору (в этом случае сама трубка служит вентилем). В стационарных или передвижных аппаратах применяются схемы удвоения с пульсирующим напряжением. На рис. 11.5 показана принципиальная схема подключения рентгеновской трубки к главному трансформатору.

Так как в процессе работы установки происходит нагрев анода трубки, то для отвода тепла используется трансформаторное масло (реже вода), циркулирующее между защитным кожухом и корпусом трубки.

Для лучшего отвода тепла с анода трубки тело анода изготавливают из меди.

Управление установкой осуществляется с пульта, расположенного на расстоянии до 30 м. Связь между узлами установки и пультом кабельная.

В пульте установки расположены приборы управления, измерения и защиты.

#### § 4. МАГНИТНО-ПОРОШКОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Магнитно-порошковая дефектоскопия основана на выявлении магнитного поля рассеяния (рис. 11.6) около дефекта с помощью ферромагнитных частиц.

Физическая сущность этого явления состоит в следующем.

Если исследуемый ферромагнитный материал однороден по своим магнитным свойствам, то при его намагничивании магнитные силовые линии будут располагаться равномерно.

При встрече дефекта (трещина, пустота, немагнитное включение) магнитные силовые линии огибают этот участок, как препятствие с малой магнитной проницаемостью, и образуют над ним поле рассеяния. Это поле обладает большой энергией, так как магнитная проницаемость воздуха во много раз меньше проницаемости ферромагнитного металла.

Установлено, что поле рассеяния от дефекта будет наибольшим, если намагничивающее поле пересечет дефект под прямым углом к его направлению.

Поэтому для полной надежности контроля намагничивание изделий следует проводить в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Для обнаружения магнитных полей рассеяния помимо визуальных наблюдений за расположением линий из ферромагнитного порошка возможно фиксирование этих линий на магнитофонной ленте с последующим считыванием записи через устройство магнитофонного типа.

Для выполнения магнитно-порошковой дефектоскопии методом визуальных наблюдений необходимо иметь намагничивающее устройство и ферромагнитный порошок или суспензию.

Ферромагнитные порошки готовят из магнетита, окалина железа, ферритов и др.

Оптимальный размер частиц зависит от характера обнаруживаемых дефектов (поверхностные, подповерхностные) и их размеров.

Для лучшей контрастности порошки могут окрашиваться в различные цвета люминофором.

Магнитные суспензии представляют собой взвесь магнитного порошка в жидкости. В качестве жидкости может быть использована вода с добавкой хромпика и кальцинированной соды, керосин и керосин с веретенным или трансформаторным маслом.

Намагничивание исследуемой детали осуществляется одним из следующих (рис. 11.7) методов:

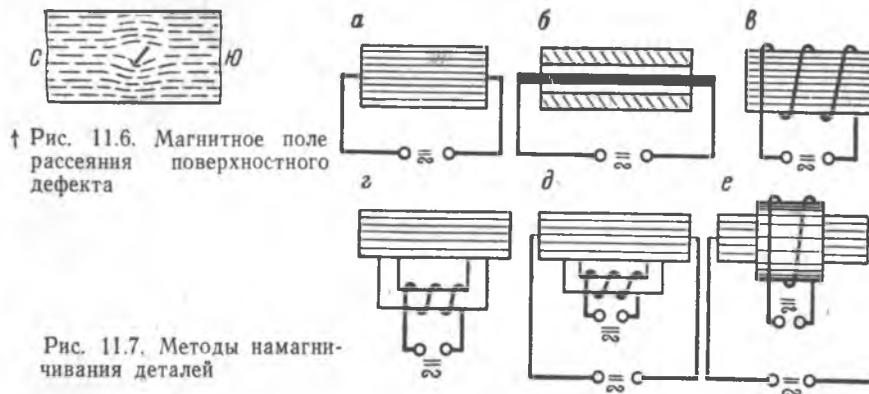


Рис. 11.6. Магнитное поле рассеяния поверхностного дефекта

Рис. 11.7. Методы намагничивания деталей

в поле постоянного или переменного тока большой силы, пропускаемого через деталь (рис. 11.7, а) или через медный стержень внутри пустотелой детали (рис. 11.7, б); в поле соленоида (рис. 11.7, в); в поле электромагнита (рис. 11.7, г); при одновременном действии продольного и поперечного циркулярного поля (рис. 11.7, д и е).

Немаловажным также является вопрос размагничивания детали после проведения дефектоскопии, так как остаточный магнетизм приводит к ускоренному износу деталей и развитию коррозии.

Однако размагничивание оказывается более сложным, чем намагничивание, особенно в крупных деталях (телах).

Основным методом размагничивания является помещение исследуемой детали в магнитное поле с постепенно убывающим до нуля переменным током.

Современные стационарные магнитно-порошковые дефектоскопы позволяют осуществлять намагничивание изделия в двух взаимно перпендикулярных направлениях, производить автоматическую поливку поверхности ферромагнитной суспензией, хорошо освещать исследуемую поверхность, а также размагничивать изделие после дефектоскопии.

#### § 5. ВИХРЕТОКОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Электроиндуктивный вихретоковый метод дефектоскопии основан на использовании влияния дефектов на вихревые токи, возбуждаемые в испытуемом участке металла. С этой целью деталь помещается в магнитное поле катушки, питаемой переменным током высокой частоты.

Возбуждаемые при этом в детали вихревые токи создают свое собственное магнитное поле, направленное навстречу основному. Вследствие этого основное поле ослабляется, индуктивные сопротивления катушки уменьшаются, а ток катушки возрастает. Таким образом, измеряя ток возбуждающей или индуктивной катушки,

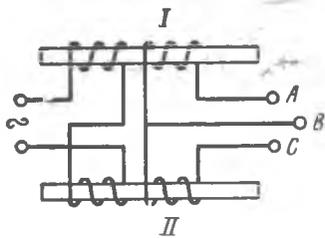


Рис. 11.8. Принципиальная электрическая схема компенсационного метода вихреговой дефектоскопии

можно косвенно судить о вихревом токе, а следовательно, и о наличии дефекта.

Величина и распределение вихревых токов, возбуждаемых в металле

при его испытании, обуславливается не только дефектами, но и многими другими факторами: электропроводимостью и магнитопроницаемостью металла, размером и формой контролируемой детали, частотой возбуждающего тока, величиной зазора между деталью и катушкой, геометрическими и электрическими параметрами катушки.

Следовательно, метод вихревых токов также может быть использован для бесконтактного измерения электропроводимости и связанных с электропроводимостью свойств, что позволяет производить сортировку деталей по маркам, контроль качества термической обработки, определять твердость металла и др.

Для ослабления действия на вихревые токи таких факторов как форма, размеры и взаимное расположение катушки и детали, применяют компенсационные методы измерений: компенсации при помощи идентичной катушки, стандартного образца, соседнего участка испытываемой детали.

На рис. 11.8 показана принципиальная электрическая схема компенсационного метода измерения при помощи стандартного образца.

Если в катушках *I*, *II* нет образцов или в них введены одинаковые по размерам, составу и другим параметрам образцы, то между точками *A* и *B* возникает «холостое напряжение», а между точками *C* и *B* — обратное по направлению и равное по величине, и в результате между точками *A* и *C* напряжение будет равно нулю.

Но если свойства испытываемого образца, помещенного в катушку *II*, будут чем-либо (толщина стенки, диаметр, химический состав, наличие включений, трещин) отличаться от свойств стандартного образца, находящегося в катушке *I*, то между точками *A* и *C* появится разность напряжений.

Обычно в комплект вихрегового дефектоскопа входят: источник питания, вихреговой преобразователь, анализатор импульсов, усилитель импульсов, индикаторная система, сигнальные и автоматические устройства.

Большое разнообразие нагрузок, которые воспринимает колонна бурильных труб при работе, значительная длина бурильного вала при его сравнительно малом сечении, а также большое число резьбовых соединений приводят к частым авариям с бурильным валом.

Все это усугубляется еще и несвоевременной выбраковкой труб с недопустимым износом и различными дефектами. Поэтому контролю состояния бурильных труб должно уделяться самое серьезное внимание. В настоящее время с этой целью применяют приборы — толщиномеры, индикаторы износа бурильных труб, дефектоскопы бурильных труб, а также разработана методика рационального комплектования колонн бурильных труб.

### § 1. ТОЛЩИНОМЕР «КВАРЦ-6»

Ультразвуковой импульсный толщиномер «Кварц-6» [16] предназначен для измерения толщины изделий в пределах 2—50 мм с максимальной погрешностью 1,5%. Комплект батарей обеспечивает его непрерывную работу в течение 30 ч.

Прибором «Кварц-6» можно измерять толщины стенок труб диаметром не менее 40 мм.

В основу ультразвукового импульсного толщиномера положен метод преобразования интервала времени в напряжение. Структурная схема толщиномера «Кварц-6» приведена на рис. 12.1. Она состоит из следующих узлов: синхронизатора *1*, служащего для временной привязки всех узлов толщиномера; блока запуска *2*, формирующего импульсы запуска; генератора *3*, возбуждающего пьезопреобразователь искательной головки; усилителя радиоимпульсов *4*; блока стробирования зондирующего импульса *5*; детектора и видеоусилителя *6*; измерительного триггера *7* (электронного реле с двумя устойчивыми состояниями), предназначенного для формирования прямоугольных импульсов постоянной амплитуды, длительность которых пропорциональна удвоенной толщине изделия; ждущего мультивибратора *8*; стрелочного индикатора *9*; устройства согласования *10*; раздельно-совмещенной искательной головки *11* и блока питания, состоящего из батарей, стабилизатора и преобразователя постоянного напряжения.

Схема работает следующим образом. Синхронизатор *1* через блок запуска *2* импульсом  $U_3$  одновременно запускает генератор *3* возбуждения генераторного пьезопреобразователя искательной головки *11* и блок стробирования *5*, а также устанавливает измерительный триггер *7* в исходное состояние (в положение «Начало измерения»).

Импульс ультразвука, отраженный от дна прозвучиваемого изделия, преобразуется приемным пьезопреобразователем в электрический импульс  $U_{пр}$ , поступающий на вход усилителя радио-

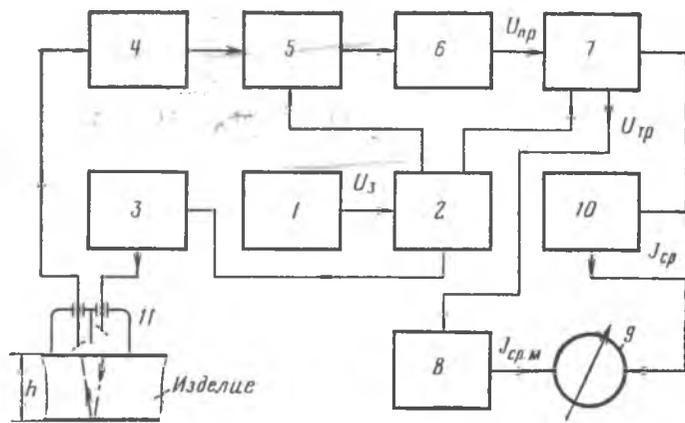


Рис. 12.1. Структурная схема толщиномера «Кварц-6»

импульсов. Усиленные радиоимпульсы проходят через блок стробирования 5, который закрыт только на время формирования зондирующего импульса. Это предотвращает просачивание зондирующего импульса на детектор и видеоусилитель и, тем самым, ложное срабатывание триггера. Блок стробирования 5 служит для предотвращения перегрузки усилителя радиоимпульсов 4 в момент подачи на пьезопреобразователь значительного по мощности зондирующего импульса.

Продетектированный и усиленный детектором и видеоусилителем 6 отраженный импульс поступает на второй ход триггера 7, опрокидывая его (устанавливая в положение «Конец измерения»). Далее процессы периодически повторяются.

Так как с триггера, находящегося в положении «Начало измерения», снимается максимальное напряжение, а в положении «Конец измерения» — минимальное, то за один цикл триггер вырабатывает импульс прямоугольной формы, который через устройство согласования 10 поступает на указывающий стрелочный прибор (микроамперметр) 9. Амплитуда этого импульса неизменна, вследствие чего среднее значение тока указателя пропорционально времени прохождения ультразвуковой посылки от генераторного до приемного пьезопреобразователя:

$$I_y = \frac{U_{мтр}}{R_y} \cdot \frac{\tau_b}{T}, \quad (12.1)$$

где  $I_y$  — ток, протекающий через указатель;  $U_{мтр}$  — амплитуда импульса триггера;  $R_y$  — сопротивление указателя;  $\tau_b$  — длительность импульса триггера;  $T$  — период повторения измерительных циклов.

Время  $\tau_b$  зависит от толщины прозвучиваемого изделия, поэтому положение стрелки указателя соответствует измеряемой толщине.

Для снижения погрешности за счет времени распространения ультразвука в призмах искательной головки другой вход указателя присоединен к выходу ждущего мультивибратора 8, запускаемого вследствие спада импульса триггера и вырабатывающего импульсы  $U_m$  регулируемой длительности. Поэтому ток, протекающий через указатель, уменьшается на величину.

$$\Delta I_y = \frac{U_{мм}}{R_y} \cdot \frac{\tau_m}{T}, \quad (12.2)$$

где  $\Delta I_y$  — уменьшение тока указателя;  $U_{мм}$  — амплитуда импульса ждущего мультивибратора;  $R_y$  — сопротивление указателя;  $\tau_m$  — длительность импульса ждущего мультивибратора.

Управляя величиной  $\tau_m$ , добиваются установки стрелки указателя на нуль перед началом измерений.

## § 2. ДЕТЕКТОР (ИНДИКАТОР) ИЗНОСА БУРИЛЬНЫХ ТРУБ ДИТ

ДИТ предназначен для подачи световых сигналов в случае уменьшения диаметра трубы на величину 3—6% от номинального значения диаметра.

Работа ДИТ осуществляется совместно с толщиномером. ДИТ обнаруживает отклонения от номинального диаметра трубы, а затем толщиномером в этом месте определяют фактическую толщину стенки трубы. Совместная работа этих приборов значительно увеличивает производительность работ по контролю износа бурильных труб.

В основу работы прибора ДИТ положен вихретоковый метод контроля.

В комплект прибора входят: преобразователь, вторичный прибор со шкальным показывающим прибором и сигнальным устройством, соединительные кабели.

### Структурная схема прибора ДИТ

Структурная схема прибора ДИТ показана на рис. 12.2. С генератора переменный ток частотой 2000 Гц поступает на усилитель напряжения, а затем на двухтактный усилитель мощности. Нагрузкой выхода усилителя мощности является мост переменного тока.

Два противоположных плеча моста имеют только активное сопротивление  $R$  и  $RI$ , а два других плеча обладают реактивным и активным сопротивлением. В одно из плеч  $L_d$ ;  $R_d$  включен преобразователь.

Напряжение разбаланса моста подается на двойной Т-образный фильтр и далее через измерительный усилитель на показывающий прибор — микроамперметр М303К, по показаниям которого можно судить о величине износа контролируемых бурильных труб.

В микроамперметре смонтирована регулируемая уставка минимально допустимого диаметра бурильной трубы.



Рис. 12.2. Структурная схема ДИТ

### Принцип работы

Преобразователь детектора износа бурильных труб монтируется внутри трубоизмерителя РТ-1200. Во время спуска или подъема бурильных труб последние движутся внутри катушки преобразователя, являясь при этом его сердечником. От высокочастотного генератора на обмотку катушки поступает переменный ток, создающий переменное магнитное поле, индуктирующее в материале трубы вихревые токи. Магнитное поле вихревых токов направлено встречно основному, в результате чего напряженность первичного поля ослабевает.

Взаимодействие первичного поля и поля вихревых токов приводит к изменению электромагнитных параметров катушки, которые могут быть измерены.

Как известно, на электромагнитные параметры катушки также оказывают влияние геометрические размеры трубы, химический состав металла и другие факторы. Но в данном случае химический состав металла труб относительно выдержан, а конструкция преобразователя исключает влияние других факторов, поэтому, измеряя активное и реактивное сопротивление моста с включенной в него катушкой преобразователя, можно будет контролировать изменения диаметра труб, а следовательно, и степень их износа.

### Краткие указания по эксплуатации

После монтажа узлов, их осмотра и подключения приступают к настройке прибора.

Настройка прибора осуществляется по стандартному образцу, представляющему собой метровый отрезок трубы с выдержанным номинальным диаметром (например  $50 \pm 0,2$  мм). При этом тумблер рода работ находится в положении «Работа».

Ручками регулировки моста («R грубо», «С точно», «С точно») балансируют прибор таким образом, чтобы стрелка микроамперметра установилась в минимальном положении. Ручкой «Чувствительность» выставляют ток контроля согласно паспортным данным.

Затем свинчивают защитный колпачок, находящийся на лицевой части М303К, и уставку сигнализации выставляют в положение соответствующее допустимому износу (для бурильных труб диаметром  $50 \pm 0,2$  мм износ допустим до диаметра 47,5 мм, или 5%).

После выполнения работ по настройке прибор готов к измерениям.

При выполнении основных работ по измерению (во время движения бурильных труб через преобразователь) необходимо следить за сигнальным фонарем.

Лампа фонаря будет загораться, если диаметр бурильной трубы окажется ниже значения уставки прибора М303К. В этот момент подъем (спуск) бурильных труб необходимо прекратить, изношенный участок трубы разместить над преобразователем на высоте 300—400 мм и, пользуясь толщиномером, замерить фактическую толщину стенки бурильной трубы.

### § 3. ДЕФЕКТОСКОП БУРИЛЬНЫХ ТРУБ ДБТ

ДБТ предназначен для обнаружения усталостных трещин у бурильных труб геологоразведочного сортамента.

Эта работа может выполняться как при спуско-подъемных операциях, так и в том случае, когда трубы лежат на стеллажах.

В основу работы ДБТ положен импульсный эхо-метод ультразвуковой дефектоскопии.

Структурная схема дефектоскопа бурильных труб ДБТ дана на рис. 12.3.

ДБТ состоит из следующих блоков: блока питания БП, показывающего прибора ПП, приставки генераторно-усилительной ПГУ, блока преобразователя БД, гидронасоса ГН со шлангом Ш, соединительных кабелей К.

Блок питания БП предназначен для подачи питания на электронасос ГН и понижающий трансформатор переменного тока, где напряжение 220 В понижается до 36 В, после чего подается на показывающий прибор ПП и генераторно-усилительную приставку ПГУ. В состав блока питания входят: предохранители, два пакетных выключателя (включение сети и электронасоса), понижающий трансформатор и феррорезонансный стабилизатор напряжения.

Показывающий прибор ПП. В качестве показывающего прибора используется портативный ультразвуковой дефектоскоп ДУК 66П. Так как развертка прибора имеет высокую линейность, то это позволяет определять расстояние до дефекта по координатной сетке, расположенной перед экраном индикаторной трубки.

Рабочие диапазоны частот прибора 1,25—10 МГц, максимальная глубина прозвучивания стальных изделий до 1200 мм, погрешность измерения расстояния до дефекта не превышает 3%.

Приставка генераторно-усилительная ПГУ состоит из: генератора зондирующих импульсов ГЗИ; усилителя высокой частоты

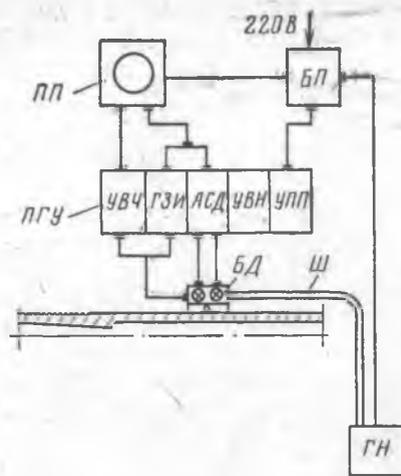


Рис. 12.3. Структурная схема дефектоскопа бурильных труб ДБТ

УВЧ; автоматического сигнализатора дефектов АСД; узла питания приставки УПП; узла высокого напряжения УВН.

ГЗИ состоит из тиратрона и ждущего мультивибратора. При подаче на сетку тиратрона положительного импульса с анода ждущего мультивибратора тиратрон поджигается и становится проводящим. В это время происходит разрядка конденсатора через тиратрон и в контуре возникают высокочастотные колеба-

ния, которые затем передаются на пьезоэлемент преобразователя. Разрядка конденсатора приводит к падению анодного напряжения тиратрона, и он гаснет. На конденсатор вновь поступает напряжение, и происходит его зарядка, а ждущий мультивибратор снова запускается синхронизирующим импульсом.

УВЧ состоит из трех каскадов усиления и выполнен по резонансной схеме. Общий коэффициент усиления — не ниже 100.

АСД состоит из двух мультивибраторов, двух триггеров, усилителя и временного селектора.

Благодаря работе АСД происходит автоматическое включение сигнальных ламп, расположенных на преобразователе.

УПП включает в себя трансформатор, два выпрямителя и стабилизатор напряжения. Трансформатор преобразует питающее напряжение 36 В в рабочие напряжения для различных узлов ПГУ. Выпрямители используются для питания ГЗИ, УВЧ и ждущих мультивибраторов.

УВН состоит из трансформатора и выпрямителя с удвоением напряжения. Со стороны низкого напряжения трансформатора включено реле времени, благодаря которому напряжение на трансформатор будет подано только через 20 с после включения пакетного выключателя. Выходное напряжение с выпрямителя 850 В поступает на анод тиратрона ГЗИ.

Блок преобразователя БД представляет собой призму с фасонными накладками, благодаря которым оператор устанавливает блок преобразователя на бурильной трубе определенным образом. Накладки выпускаются трех размеров (42, 50, 63,5 мм), что дает возможность производить дефектоскопию труб соответствующих размеров. Над призмой преобразователя помещаются зеленая и красная сигнальные лампы (ЗЛ, КЛ), катушка индуктивности и клеммы для жил кабеля. С внутренней стороны призмы размещен пьезопреобразователь типа ИП-3Б. Между пьезопреобразователем

и поверхностью контролируемой бурильной трубы выдерживается определенный зазор, заполняемый в процессе исследования водой, обеспечивающей акустический контакт. Для удержания воды вокруг преобразователя располагается резиновое уплотнение, образующее вместе с поверхностью трубы замкнутую камеру.

Внутри призмы имеются каналы, по которым вода поступает в камеру.

Для регулирования расхода воды сбоку призмы размещен кран. На штуцер крана надет шланг, по которому вода от электронасоса поступает в блок преобразователя.

### Принцип работы ДБТ

Генератор зондирующих импульсов, расположенный в блоке ПГУ, возбуждает электровзвукковые колебания в контуре блока преобразователя, состоящего из катушки индуктивности и емкости пьезопреобразователя.

Пьезопреобразователь преобразует импульсы электрических колебаний в механические и через слой воды вводит их в материал бурильной трубы.

Пьезопреобразователь по отношению к оси бурильной трубы устанавливается под острым углом, что обеспечивает прозвучивание непосредственно под поверхностью, соединяющей нижние точки впадин резьбы.

От торцевой (донной) части и от дефектов внутри материала бурильной трубы происходит отражение импульсов ультразвуковых колебаний. Отраженные импульсы принимаются тем же пьезопреобразователем, который после излучения импульса работает в режиме приема.

В пьезопреобразователе происходит преобразование импульсов механических колебаний в электрические. Принятые сигналы предварительно усиливаются в блоке ПГУ и по кабелю передаются в показывающий прибор. На экране показывающего прибора появляются импульсы (рис. 12.4).

При отсутствии дефекта таких импульсов два — зондирующий 1 и донный 3, а при наличии дефекта (трещины) между этими импульсами появляется третий 2 — от дефекта.

Наличие масштабной сетки перед экраном дефектоскопа позволяет определить расстояние от торца трубы до места нахождения дефекта.

В случае отсутствия дефектов в бурильной трубе и наличии контакта между поверхностью бурильной трубы

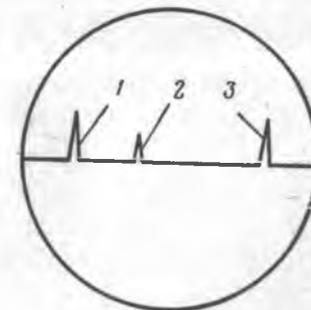


Рис. 12.4. Расположение импульсов на экране дефектоскопа

и пьезопреобразователем в АСД поступают зондирующий и отраженный донный сигналы, и в блоке преобразователя загорается зеленая лампа. Если же в трубе имеется дефект, то в АСД приходит дополнительный отраженный сигнал от дефекта, и при этом включается красная лампа преобразователя.

Таким образом, наличие сигнальных ламп обеспечивает возможность контроля бурильных труб без непрерывного наблюдения по экрану дефектоскопа, что значительно упрощает работу и экономит время.

## Глава 13

### КОМПЛЕКСНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА

#### § 1. ПЕРЕДВИЖНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ ПКДЛ-1

Рост глубин скважин и связанные с этим высокие пластовые давления и температура, агрессивность среды и увеличивающаяся прочность горных пород выдвигают все более повышенные требования к качеству бурильных и осадных труб, опускаемой в скважины аппаратуре, буровому оборудованию и инструменту.

Для решения этой задачи в заводских условиях осуществляется отбраковка деталей и узлов с дефектами путем их проверки различными методами дефектоскопии.

Так как дефекты в металле инструмента и оборудования возникают не только на стадии их изготовления и монтажа, но и при эксплуатации, то наряду с проверкой в заводских условиях все большее значение приобретает проведение оперативного комплексного контроля оборудования и инструмента непосредственно на производственных объектах в полевых условиях.

Так, на глубокоом разведочном и эксплуатационном бурении для целей дефектоскопии получила широкое применение передвижная лаборатория комплексной дефектоскопии ПКДЛ-1, разработанная Полтавским отделением УкрНИИВРИ. Лаборатория ПКДЛ-1 обнаруживает дефекты — усталостные, ликвационные, поверхностные и подповерхностные трещины, расслоения, усадочные полости, волосовины и др. Лаборатория позволяет осуществлять комплексный контроль с применением трех<sup>1</sup> основных методов: ультразвукового, магнитно-порошкового и вихретокового.

С этой целью она укомплектована серийно выпускаемым ультразвуковым дефектоскопом УДМ-3 (или ДУК66) и приборами собственной разработки: вихретоковым дефектоскопом ДИП-1 и магнитно-порошковым дефектоскопом МД-600.

<sup>1</sup> Первые выпуски лаборатории были укомплектованы четырьмя приборами; дополнительно имелся гамма-дефектоскоп ГДРТ-0,08.

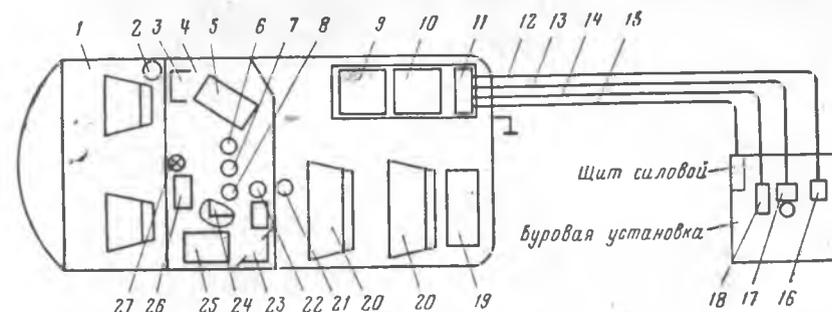


Рис. 13.1. Схема размещения оборудования ПКДЛ-1:

1 — автомобиль УАЗ-452; 2 — огнетушитель ОУ-2; 3 — магнитный дефектоскоп МД-600; 4 — пульт управления; 5 — ультразвуковой дефектоскоп УДМ-3; 6 — вольтметр; 7 — амперметр; 8 — частотомер; 9 — комплект преобразователей; 10 — набор эталонов; 11 — электрощит; 12 — шнур ШТЭМ-4; 13 — кабель РК-149; 14 — кабель ЛПРГС; 15 — кабель ШПРС; 16 — катушка намагничивающего устройства; 17 — ультразвуковой преобразователь; 18 — гарнитуры переговорного устройства; 19 — смоточное устройство; 20 — сиденье; 21 — микрофон; 22 — телефоны; 23 — усилитель НЧ; 24 — стабилизатор напряжения; 25 — регулятор напряжения; 26 — ДИП-1; 27 — лампа

Сочетание вышеуказанных методов повышает надежность контроля путем выбора рационального метода или их дублирования, а также расширяет области применения лаборатории.

#### Техническая характеристика ПКДЛ-1

Частота тока дефектоскопа УДМ-3, МГц	1,8—2,5
Максимальный намагничивающий ток МД-600, А:	
переменный	600
выпрямленный однополупериодный	400
Длина линии связи преобразователей с приборами и переговорного устройства, м	45
Длина силового кабеля, м	40
Время подготовки лаборатории к работе, мин	45
Среднее время контроля, мин:	
одного конца трубы	2
одной детали оборудования и инструмента	10
Расход воды при ультразвуковой дефектоскопии, л/ч	20
Питание от сети переменного тока	
Напряжение, В	220 ± 15 %
Частота, Гц	50 ± 1

Оборудование лаборатории размещено в салоне микроавтобуса УАЗ-452В (рис. 13.1).

Преобразователи приборов выносные, что позволяет выполнять работы по дефектоскопии на расстоянии 40—45 м от лаборатории. Связь между преобразователями и приборами лаборатории осуществляется посредством кабелей.

Обслуживают лабораторию два оператора-дефектоскописта. Один из них находится у пульта приборов, а второй работает с преобразователем. Благодаря переговорному устройству между операторами поддерживается постоянная связь.

Для осуществления неразрушающего контроля бурильных колонковых и утяжеленных бурильных труб при разведочном буре-

нии СКБ ВПО «Союзгеотехника» разработана передвижная дефектоскопическая станция ПДС. Станция позволяет:

обнаруживать наличие и оценивать глубину усталостных трещин в стальных бурильных трубах;

обнаруживать наличие износа по наружному диаметру стальных бурильных труб непосредственно в процессе спуско-подъемных операций;

измерять толщину стенки бурильных и колонковых труб;

контролировать толщину стенки у упорного торца внутренней резьбы утяжеленных бурильных труб;

обнаруживать усталостные трещины у наголовников;

контролировать износ по наружному диаметру замков и муфт.

Станция размещена на автомобиле повышенной проходимости УАЗ-452.

Станция питается переменным током напряжением 220 В.

Обслуживают станцию два оператора.

## § 2. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО КОМПЛЕКСНОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

Для эффективного использования лаборатории комплексной дефектоскопии их работа подчинена главному механику треста при общей координации работ главным инженером.

Работа по дефектоскопии выполняется как плановая, так и неплановая.

На плановую работу составляется квартальный график, тесно связанный с проведением планово-предупредительных ремонтов (ППР).

В соответствии с установленными нормами для различных узлов оборудования и инструмента устанавливаются сроки на проведение дефектоскопического контроля.

При этом также учитывается контроль, проводимый перед пуском вновь смонтированных буровых, перед спуском колонн обсадных труб, перед вскрытием продуктивных горизонтов и после ремонта оборудования и инструмента в мастерских.

Внеплановый контроль выполняется по обоснованным заявкам руководителей буровых работ в случае возникновения аварий или при обнаружении низкого качества узлов оборудования и инструмента.

Перед проведением дефектоскопических работ представляемое оборудование и инструмент должны быть очищены от грязи, крупное оборудование разобрано на узлы, и все это должно быть размещено в месте, удобном для проведения дефектоскопических работ.

Дефектоскопический контроль проводится по методике, разработанной Полтавским отделением УкрНИГРИ.

В этой методике дан перечень оборудования и инструмента, которые могут быть эффективно подвергнуты дефектоскопии, указаны наиболее вероятные места возникновения дефектов, даны

рекомендации относительно выбора более рационального метода для конкретных условий и методика их применения.

Результаты выполненных работ регистрируются в специальном журнале, и, кроме того, составляется акт в двух экземплярах, один из которых хранится на буровой, а второй в тресте.

К актам могут прилагаться эскизы с указанием мест обнаруженных дефектов.

Детали с обнаруженными дефектами дополнительно исследуются с целью выяснения причин возникновения дефектов и их предупреждения, а также для прогнозирования надежной продолжительности работы этих узлов и инструмента.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ  
ОСНОВНЫХ ПРОЦЕССОВ В БУРЕНИИ  
И НА ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ**

Глава 14

**ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

§ 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Средства автоматики заменяют труд человека при контроле и управлении различными процессами. Принцип этой замены рассмотрим на простейшем примере поддержания частоты вращения электродвигателя на заданном уровне. Чтобы выполнить эту задачу без применения автоматики, оператор должен: а) наблюдать за показаниями тахометра; б) сравнивать эти показания с заданной частотой вращения; в) в случае разности между заданной и наблюдаемой величинами изменять частоту вращения двигателя, например, перемещением ручки реостата так, чтобы свести эту разность к нулю.

С помощью автоматики эта же задача выполняется без участия человека. Регулируемая величина (в данном случае частота вращения электродвигателя) воздействует на преобразователь, где преобразуется в электрическое напряжение (рис. 14.1). С выхода преобразователя это напряжение подается на управляющий орган, в котором оно усиливается и сравнивается с заданным напряжением. При наличии расхождения управляющий орган воздействует на исполнительный орган, который и восстанавливает заданное значение регулируемой величины.

В рассматриваемом примере элементами управляющего органа могут служить реле, а исполнительным органом — секционированный реостат. Реле управляются напряжением, полученным в результате сравнения заданной и измеряемой величин, и своими контактами они включают и выключают отдельные секции реостата, изменяя тем самым частоту вращения двигателя.

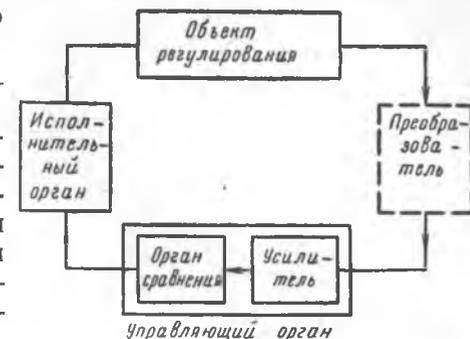
В общем случае система автоматического управления состоит из объекта регулирования и автоматического регулятора.

*Объект регулирования* — это устройство, в котором происходит подлежащий регулированию процесс.

*Автоматический регулятор* — это устройство, которое без непосредственного участия человека осуществляет контроль и управление процессом.

Автоматические регуляторы классифицируются по ряду признаков.

Рис. 14.1. Принцип автоматического регулирования



В зависимости от назначения различают регуляторы расхода скорости, уровня жидкости, регуляторы, автоматически управляющие положением движущихся объектов в пространстве (автопилоты, автоматические рулевые) и др.

В зависимости от характера изменения заданного значения регулируемой величины различают обычные регуляторы, программные регуляторы, и экстремальные, или самонастраивающиеся, регуляторы. В обычных регуляторах заданное значение регулируемой величины в течение длительного периода времени остается постоянным. В программных регуляторах заданное значение регулируемой величины в процессе работы изменяется по определенной программе. Оптимизирующие регуляторы определяют, каким должно быть значение регулируемой величины, чтобы процесс протекал наилучшим (оптимальным) образом, и затем поддерживают регулируемую величину на определенном уровне. Обычно оптимизирующие регуляторы поддерживают максимальное или минимальное значение регулируемой величины, чем и объясняется их второе название — экстремальные. В этих регуляторах преобразователь реагирует не на само значение регулируемой величины, а на его отклонение от экстремального значения. Другими словами, регулятор как бы непрерывно проверяет правильность своей настройки, и поэтому такую систему можно считать самонастраивающейся.

В зависимости от характера основных звеньев различают автоматические регуляторы непрерывного и релейного действия. В регуляторах непрерывного действия связь между входными и выходными величинами для каждого из звеньев — в ограниченной области рабочих режимов — линейная. В регуляторах релейного действия по меньшей мере в одном из основных звеньев плавному изменению входной величины соответствует скачкообразное изменение выходной величины. Такие регуляторы являются нелинейными.

В зависимости от характера реакции системы автоматического регулирования на воздействие внешних факторов, стремящихся изменить регулируемую величину, различают статические и астатические автоматические регуляторы. В статических регуляторах значение регулируемой величины в установившемся режиме в некоторой степени зависит от влияния этих внешних факторов. В астатических регуляторах установившееся значение регулируемой величины поддерживается неизменным независимо от влияния этих факторов.

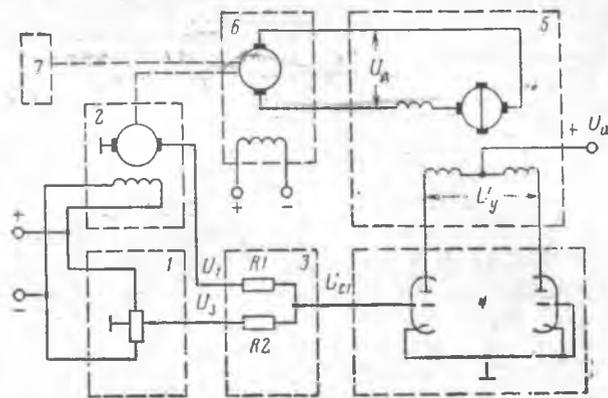


Рис. 14.2. Статический регулятор непрерывного действия

## § 2. АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Рассмотрим некоторые схемы автоматических регуляторов частоты вращения. На таком же принципе работают и регуляторы давления, температуры, расхода и т. п.

### Статический регулятор непрерывного действия

Схема, приведенная на рис. 14.2, обеспечивает вращение механизма объекта регулирования с заданной скоростью. В состав схемы входят: потенциометр (задатчик) 1, тахогенератор постоянного тока 2, резисторы  $R1$  и  $R2$  (орган сравнения) 3, электронный усилитель 4, электромашинный усилитель 5, двигатель постоянного тока с независимым возбуждением (исполнительный орган) 6 и объект регулирования 7.

Напряжение  $U_3$  поступающее с потенциометра задатчика, имеет положительный знак относительно корпуса, а напряжение  $U_T$ , поступающее с тахогенератора, — отрицательный знак. Поэтому при  $R1 = R2$  потенциал левой управляющей сетки двойного триода

$$U_{01} = \frac{U_3 - U_T}{2} \quad (14.1)$$

Пусть ползунок задатчика установлен в какое-то положение, при котором напряжение  $U_3$  соответствует заданной частоте вращения объекта регулирования. Пока  $U_3 > U_T$ , положительный потенциал левой сетки отличается от потенциала заземленной правой сетки, и поэтому анодные токи, протекающие по обмотке возбуждения электромашинного усилителя (ЭМУ), неодинаковы и на выходе ЭМУ создается напряжение  $U_d$ , подаваемое на обмотку якоря исполнительного двигателя. Исполнительный двигатель и связанный с ним через механическую передачу тахогенератор вращаются с возрастающей частотой, что приводит к увеличению на-

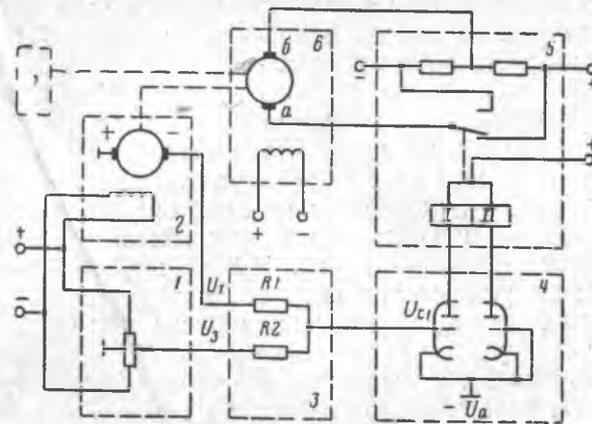


Рис. 14.3. Статический регулятор релейного действия

пряжения тахогенератора  $U_T$ , а следовательно, к уменьшению результирующего потенциала на левой сетке лампы. Это вызывает уменьшение разности между анодными токами, а значит, и уменьшение магнитного потока возбуждения и выходного напряжения ЭМУ, что приводит к уменьшению скорости исполнительного двигателя и тахогенератора и уменьшению напряжения  $U_T$ . Результирующий потенциал на левой сетке лампы теперь увеличится, и схема начнет действовать в обратном направлении и т. д. Таким образом, скорость исполнительного двигателя и объекта регулирования автоматически поддерживаются на заданном уровне. Если передвинуть движок задатчика в другое положение, напряжение  $U_3$  изменится, и тогда автоматический регулятор будет поддерживать частоту вращения на другом уровне.

### Статический регулятор релейного действия

В тех случаях, когда к системе регулирования не предъявляют высоких требований в отношении точности и плавности действия и когда мощность исполнительного двигателя может быть сравнительно невелика, применяют более простую и компактную релейную систему (рис. 14.3), в которой вместо ЭМУ используется электромагнитное поляризованное реле 5.

Предположим, что в какой-то момент времени скорость исполнительного двигателя 6 превышает заданное значение. При этом напряжение тахогенератора  $U_T$  больше, чем напряжение задатчика  $U_3$ , результирующее напряжение на левой сетке лампы — отрицательное и анодный ток, проходящий через обмотку I реле 5, меньше анодного тока, проходящего через обмотку II. При определенном значении разности этих токов реле срабатывает, его язычок перебрасывается к нижнему контакту, и через якорную обмотку исполнительного двигателя ток протекает в направлении

от щетки *a* к щетке *б*. При таком направлении тока создаваемый им момент направлен против вращения якоря, что приведет к уменьшению скорости исполнительного двигателя, а значит, и напряжения, вырабатываемого тахогенератором 2. Когда напряжение тахогенератора станет равным напряжению задатчика 1, результирующее напряжение на левой сетке станет равным нулю, но реле в этот момент еще не срабатывает, так как токи, протекающие по его обмоткам, одинаковы по величине, но противоположны по направлению и создаваемый ими магнитный поток равен нулю. Остальные позиции на рис. 14.3 те же, что на рис. 14.2. При дальнейшем уменьшении скорости исполнительного двигателя напряжение тахогенератора станет меньше, чем напряжение задатчика, результирующее напряжение на левой сетке станет положительным, анодный ток, протекающий через обмотку I, превысит ток обмотки II, реле снова срабатывает, но теперь его язычок перебросится к верхнему контакту, благодаря чему направление тока в якорной обмотке двигателя изменится, создаваемый током момент будет направлен в сторону вращения и частота вращения якоря начнет увеличиваться. Через некоторое время реле снова срабатывает, частота вращения якоря начнет уменьшаться и т. д.

Таким образом, заданное значение частоты будет поддерживаться не точно, а лишь в среднем. Качания системы около ее среднего положения называют *автоколебаниями*; чем больше время срабатывания реле, тем больше амплитуда автоколебаний.

#### Астатический регулятор непрерывного действия

Астатический регулятор скорости (рис. 14.4) отличается от статического тем, что в усилительный тракт включен вспомогательный двигатель небольшой мощности 8, который перемещает через редуктор 9 ползунок вспомогательного потенциометра 10, управляющего напряжением ЭМУ. Благодаря этому астатическая система автоматически сводит к нулю установившееся значение ошибки. Действительно, при наличии ошибки установленное на задатчике напряжение  $U_z$  и напряжение тахогенератора  $U_T$  не одинаковы, на входе и выходе электронного усилителя 4 возникает результирующее напряжение, под воздействием которого якорь вспомогательного двигателя 8 поворачивается и перемещает ползунок потенциометра 10. При этом изменяются ток возбуждения и выходное напряжение ЭМУ 5, в результате чего изменится частота вращения исполнительного двигателя 6. (Остальные позиции на рис. 14.4 те же, что на рис. 14.2). Когда заданная и фактическая частоты вращения станут одинаковыми, т. е. установившееся значение ошибки будет сведено к нулю, напряжения  $U_z$  и  $U_T$  сравняются, напряжение на входе и выходе электронного усилителя исчезнет, вспомогательный двигатель и ползунок потенциометра останутся. При данном положении движка потенциометра на выходе ЭМУ поддерживается неизменное напряжение и частота исполнительного двигателя не изменяется.

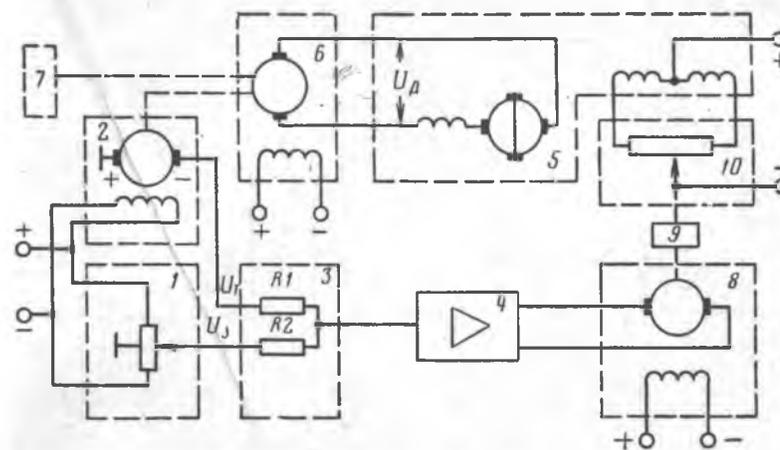


Рис. 14.4. Астатический регулятор скорости

Таким образом, при возникновении ошибки, т. е. разности между напряжением задатчика и преобразователя (тахогенератора), сама система автоматически ее устраняет.

Астатические регуляторы требуют большего времени для перехода из одного состояния в другое, так как вспомогательному двигателю или другому подобному устройству необходимо определенное время, чтобы переместить движок потенциометра на достаточную величину.

#### § 3. ПРИНЦИП ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Экстремальным называется такое регулирование, при котором какая-то величина, характеризующая определенный процесс, должна все время поддерживаться на *оптимальном уровне*. Как правило, такой уровень должен быть максимальным (например, к. п. д. установки) или минимальным (например, удельный расход горючего). Характерной особенностью экстремальной системы является то, что уровень регулируемой величины заранее не задается. В процессе регулировки необходимо, во-первых, непрерывно искать этот уровень, а во-вторых — поддерживать регулируемую величину на изменяющемся, но найденном экстремальном уровне.

Рассмотрим, как подобные задачи можно решать без применения автоматики. В качестве примера возьмем процесс регулирования частоты вращения бурового снаряда с целью поддержания механической скорости бурения на максимальном уровне. При ручном регулировании буровой мастер должен был бы, наблюдая за показаниями прибора, измеряющего механическую скорость бурения, непрерывно, но в небольших пределах изменять частоту вращения бурового снаряда то в одну, то в другую сторону. Если,

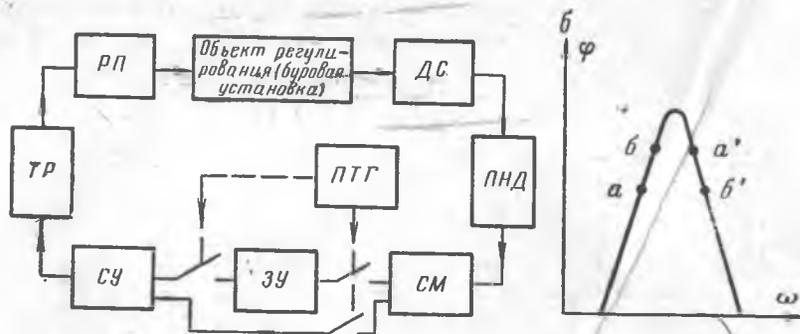


Рис. 14.5. Экстремальный регулятор:  
 а — структурная схема регулятора; б — экстремальная характеристика бурового станка

например, при уменьшении частоты вращения прибор показывает увеличение механической скорости бурения, мастер должен продолжать уменьшать частоту вращения до тех пор, пока скорость бурения, пройдя свое максимальное значение, начнет уменьшаться. Как только это произойдет, необходимо изменить направление регулировки т. е. увеличить частоту вращения бурового снаряда и т. д. На рис. 14.5 дан экстремальный регулятор.

Упрощенная структурная схема экстремальной системы автоматического регулирования показана на рис. 14.5, а. Здесь применен регулятор релейного (шагового) типа, в котором используются в основном типовые элементы вычислительной техники. В состав регулятора входят: преобразователь для определения скорости бурения ДС, преобразователь непрерывного напряжения в дискретные импульсы ПНД, сумматор СМ, пропорциональный тактовый генератор ПТГ, запоминающее устройство ЗУ, сравнивающее устройство СУ, триггер ТР и регулируемый привод бурового станка РП.

Преобразователь ДС вырабатывает непрерывное напряжение, пропорциональное скорости бурения. Это напряжение поступает на ПНД, в котором оно преобразуется в прямоугольные импульсы постоянной амплитуды; частота следования этих импульсов также пропорциональна скорости бурения. С ПНД импульсы поступают на сумматор СМ, в котором они накапливаются; напряжение на выходе сумматора пропорционально числу накопленных им импульсов.

Через определенные промежутки времени реле пропорционального тактового генератора ПТГ подключает выход сумматора к сравнивающему устройству СУ. Одновременно на СУ подается напряжение с запоминающего устройства ЗУ. В СУ происходит сравнение напряжения, поданного с сумматора, с напряжением, поданным с запоминающего устройства.

Допустим, что новому напряжению, поданному с сумматора, на экстремальной характеристике бурового станка (рис. 14.5, б) соответствует точка б, а предыдущему напряжению, поданному

с запоминающего устройства, соответствует точка а. Это означает, что скорость бурения увеличивается, т. е. происходит правильное движение к экстремуму. Далее допустим, что если  $U_b > U_a$ , то результирующее напряжение имеет положительный знак. При этом с СУ на триггер подается плюсовой импульс, на который триггер не реагирует, и с его выхода на регулируемый привод по-прежнему поступает какое-то определенное напряжение, при котором частота вращения коронки продолжает увеличиваться. В таком состоянии триггер и регулируемый привод будут находиться до тех пор, пока происходит правильное движение к экстремуму.

Как только скорость бурения, пройдя максимальное значение, начнет уменьшаться, новому значению напряжения, поданного на СУ, будет соответствовать точка б', а предыдущему значению — точка а'. В этом случае  $U_a' > U_b'$  и, следовательно, результирующее напряжение имеет отрицательный знак, на триггер подается отрицательный импульс, триггер срабатывает и подает на регулируемый привод другое напряжение. При новом значении напряжения частота вращения начнет уменьшаться и будет уменьшаться до тех пор, пока скорость бурения снова не достигнет максимального значения и т. д.

Таким образом, экстремальный регулятор, непрерывно изменяя частоту вращения коронки, автоматически поддерживает максимально возможную при данных условиях механическую скорость бурения.

#### § 4. РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРИВОД

При автоматическом регулировании изменение частоты вращения исполнительного двигателя должно осуществляться плавно и при минимальных потерях мощности в цепи управления. Для решения этих задач необходимы специальные регулируемые приводы. Рассмотрим возможности применения таких приводов для станков колонкового бурения.

В выпускаемых в настоящее время буровых станках приводной двигатель соединяется со шпинделем станка посредством понижающих редукторов, имеющих от 4 до 8 ступеней передач. Такой способ регулировки частоты вращения бурового вала имеет существенные недостатки: 1) переход от одной частоты вращения к другой вызывает неизбежные остановки снаряда; 2) при частых включениях динамические перегрузки, связанные с набором новой скорости, снижают долговечность буровой колонки; 3) интервал между соседними ступенями не всегда позволяет выбрать оптимальную частоту вращения; 4) затрудняется автоматическое регулирование частоты вращения. Эти недостатки устраняются применением регулируемого привода, в котором изменение частоты вращения бурового вала осуществляется плавной регулировкой частоты вращения приводного электродвигателя. Естественно, что надобность в коробке передач в этом случае отпадает.

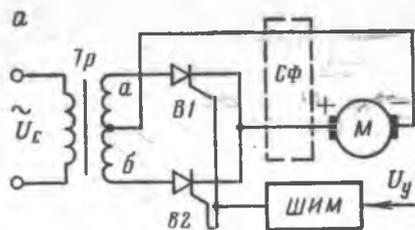
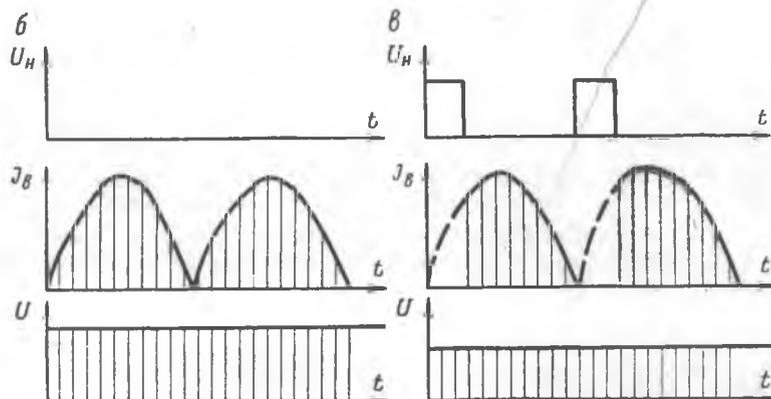


Рис. 14.6. Тиристорный привод постоянного тока:

*a* — структурная схема; *б* — график, поясняющий работу привода при отсутствии управляющих импульсов; *в* — график, поясняющий работу привода при поступлении управляющих импульсов



Регулируемый привод для станков колонкового бурения должен иметь:

- 1) плавное регулирование частоты вращения от нуля до номинального значения в пределах 15—1500 мин<sup>-1</sup>;
- 2) мощность двигателя не более 40 кВт, при этом вращающий момент на шпинделе станка не более 800—900 Н·м;
- 3) диапазон регулирования частоты вращения от номинального значения равен 3 ÷ 4;
- 4) перегрузочную способность, необходимую для ликвидации аварий, не менее 3 ÷ 4.

Как показали исследования, этим требованиям в наибольшей степени отвечает тиристорный привод постоянного тока (рис. 14.6). Одна из возможных схем такого привода показана в упрощенном виде на рис. 14.6, *a*.

Силовой трансформатор *Tr*, два тиристора *B1* и *B2* и сглаживающий фильтр *CФ* образуют двухполупериодный выпрямитель с выводом средней точки. С выхода этого выпрямителя постоянное напряжение подается на серийный двигатель, механически связанный с буровым валом станка. Управляющие электроды тиристоров соединены с выходом широтно-импульсного модулятора ШИМ, на вход которого подается управляющее напряжение, создаваемое одним из элементов автоматического регулятора.

Когда с выхода ШИМ на управляющие электроды тиристоров импульсы не подаются, тиристоры работают как обычные диоды;

в те полупериоды переменного напряжения, когда в точке *a* плюс, а в точке *б* — минус, открыт тиристор *B1*; в другие полупериоды открывается тиристор *B2* и т. д. Импульсы тока, проходящие в этом случае через тиристор, показаны на рис. 14.6, *б*. После сглаживания пульсации выпрямленное напряжение подается на двигатель, частота вращения которого при этом максимальная.

Когда на управляющие электроды тиристора с выхода ШИМ подаются импульсы постоянного тока (рис. 14.6, *в*), каждый такой импульс запирает тиристор на время, равное ширине импульса. Следовательно, в этом случае ток через тиристор может проходить не в течение всего полупериода, а только в течение какой-то его части, как показано штриховкой на рис. 14.6, *в*. В результате среднее значение выпрямленного напряжения уменьшается, что приводит к уменьшению частоты вращения двигателя.

В процессе работы автоматического регулятора на вход ШИМ подается управляющее напряжение  $U_y$ . При изменении этого напряжения меняется ширина импульсов, подаваемых с выхода ШИМ на управляющие электроды тиристоров, что приводит к изменению времени их отпирания, а следовательно, к изменению длительности импульсов выпрямленного тока. А это в свою очередь вызывает изменение величины напряжения, подаваемого на исполнительный двигатель. Таким образом обеспечивается плавная регулировка частоты вращения двигателя бурового станка.

## Глава 15

### ОСНОВНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ В КОЛОНКОВОМ БУРЕНИИ

#### § 1. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ПЕРЕХВАТЫ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

В 1957 г. нашей промышленностью были выпущены первые станки (ПБС-2ТА), снабженные автоматическим устройством перекрепления бурильных труб при подаче их в процессе бурения. Такое устройство позволило повысить время чистого бурения, облегчить условия труда буровой бригады, снизить число случаев травматизма при перекреплении зажимных патронов.

В дальнейшем идея автоперехвата была использована при создании станков подземного бурения серии БСК, где наличие автоперехвата позволило производить спуско-подъемные операции, исключив из состава оборудования лебедку и мачту. В целом это привело к снижению габаритов и массы буровой установки, уменьшению размеров камер (горных выработок) и значительно упростило процесс спуско-подъемных операций.

К станкам серии ЗИФ были выпущены автоперехваты — приставки АП, которые, однако, распространения не получили.

Современные станки серии СБА также снабжены автоматическим устройством перекрепления бурильных труб. В отличие от

прежних гидромеханических устройств они имеют электрогидравлическое устройство, позволяющее осуществлять перемещение бурильных труб в автоматическом цикле как вверх, так и вниз.

Рассмотрим особенности конструкций и принцип работы наиболее распространенных автоперехватов бурильных труб.

### Автоперехват бурильных труб станка БСК-2М-100

Автоперехват этого станка позволяет автоматизировать процесс подъема бурильных труб из вертикальных скважин или спуска бурильных труб в горизонтальные и слабовосстающие скважины.

В состав автоперехвата входят золотник реверса, упоры на траверсе вращателя, рычаг включения золотника реверса и два штангоподъемника. Общий вид и гидравлическая схема автоперехвата бурильных труб станка БСК-2М-100 представлены на рис. 15.1.

При установке двухпозиционного золотника гидросистемы станка в положение «Бурение с регулятором скорости», а трехпозиционного золотника в положение «Бурение, автоматический подъем»<sup>1</sup> масло от двух маслонасосов — шестеренчатого и плунжерного — поддается в верхние полости гидроцилиндров (рис. 15.1, б) и золотник реверса.

Если золотник реверса находится в крайнем верхнем положении, то масло поступает в верхние полости гидроцилиндров<sup>2</sup> и уходит на слив из нижних. Как только поршни гидроцилиндров достигнут крайнего нижнего положения, упор траверсы передвинет рычаг 3 из положения а в положение б и золотник реверса переместится вниз.

Масло из напорной магистрали будет одновременно подаваться в верхние и нижние полости гидроцилиндров. Ввиду разницы площадей в верхних и нижних частях поршней усилие, развиваемое снизу вверх, будет больше, чем сверху вниз, и поэтому поршни будут перемещаться вверх.

Масло, вытесняемое поршнями из верхних полостей гидроцилиндров, поступает в нижние полости, где соединяется с маслом, поступающим от маслонасосов. Увеличенное количество масла, поступающего в нижние полости гидроцилиндров, обеспечивает быстрый подъем шпинделя.

Упоры, находящиеся на траверсе, при их движении вверх и вниз посредством рычага 3 будут передвигать золотник, что обеспечит автоматический реверс траверсы (шпинделя).

Для смягчения гидроударов, возникающих при реверсировании хода, гидроцилиндры снабжены демпферами 4 (рис. 15.1, б). Захват бурильных труб во время подъема и удерживание их на весу производятся трубоподъемниками 3 (рис. 15.1, а). По конструкции они могут быть эксцентриковые или кольцевые.

<sup>1</sup> Указанные золотники на схеме не показаны.

<sup>2</sup> На схеме показан один гидроцилиндр.

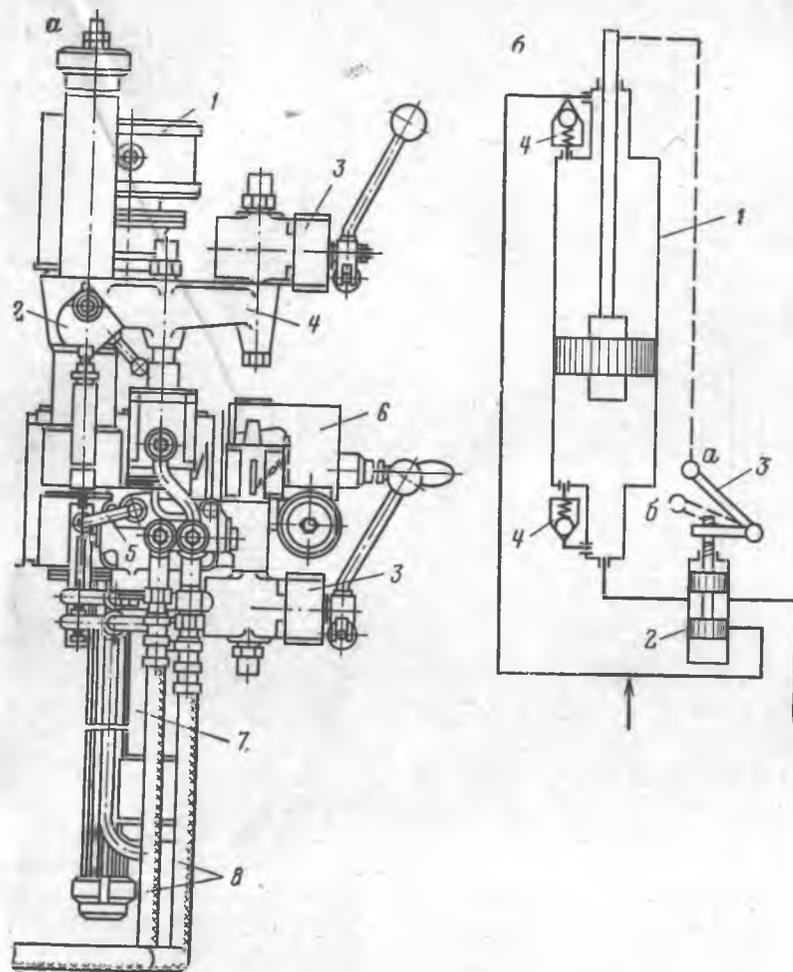


Рис. 15.1. Автоперехват станка БСК-2М-100.

а — общий вид: 1 — зажимной патрон; 2 — эксцентрик включения автомата реверса шпинделя; 3 — трубоподъемники; 4 — траверса; 5 — рычаг золотника реверса; 6 — тормоз спуска; 7 — гидроцилиндры; 8 — маслоприводы; б — гидравлическая часть: 1 — цилиндры; 2 — золотник реверса; 3 — рычаг золотника; 4 — демпферы

Нижний трубоподъемник устанавливается на неподвижной каретке, а верхний — на подвижной траверсе 4.

При движении траверсы вверх колонна бурильных труб автоматически захватывается секторами (кольцами) верхнего трубоподъемника и поднимается; нижний трубоподъемник в это время свободно пропускает колонну.

При перемещении траверсы вниз верхний трубоподъемник открыт и свободно скользит по буровой колонне, а нижний удерживает колонну на весу.

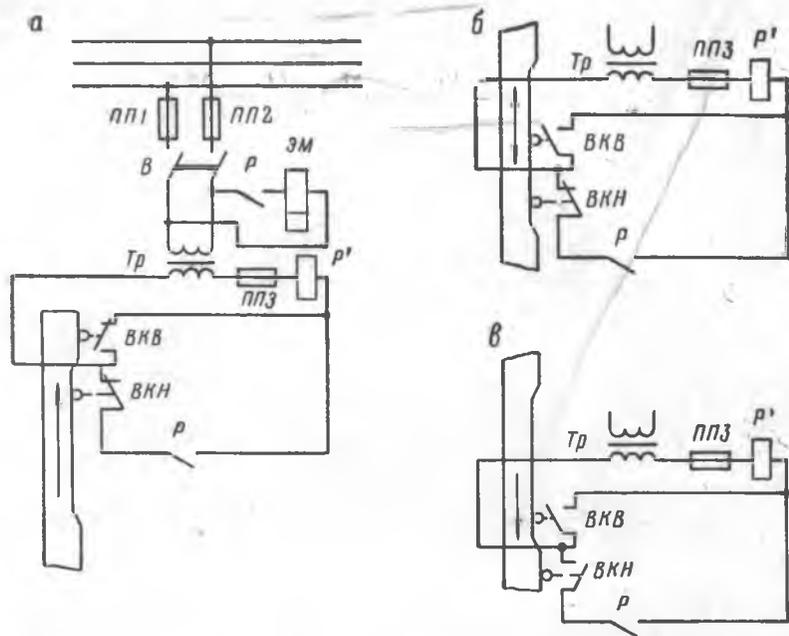


Рис. 15.2. Электрическая схема автоперехвата станка СБА-500:

ПП1, ПП2, ПП3 — предохранители; В — пакетный выключатель; Тр — трансформатор; Р' — катушка магнитного пускателя; ЭМ — электромагнит; Р — контакты магнитного пускателя; ВКВ, ВКН — микропереключатели

При бурении горизонтальных или слабовосстающих скважин оба трубоподъемника устанавливаются на подвижной траверсе и крепятся специальными болтами.

Спуск инструмента в скважину производится путем оттормаживания элементов спускового тормоза б, находящихся в соприкосновении с поверхностью бурильных труб под действием силовых пружин.

#### Автоперехват бурильных труб станка СБА-500

Электрическая схема системы автоперехвата бурильных труб — (рис. 15.2) через предохранители ПП1 и ПП2 с плавкими вставками и пакетный выключатель В подключена к силовой линии магнитной станции станка. Параллельно цепи первичной обмотки понижающего трансформатора Тр (ТСБ 2-01 380/36 В) подключены контакты магнитного пускателя Р и обмотка электромагнита ЭМ реверсивного золотника гидросистемы. В цепь вторичной обмотки трансформатора включены: предохранитель с плавкой вставкой ПП3, катушка магнитного пускателя Р', контакты этого пускателя Р и два микропереключателя: ВКВ и ВКН. Колпачки микропереключателей соприкасаются с поверхностью лыски правого направляющего штока гидросистемы.

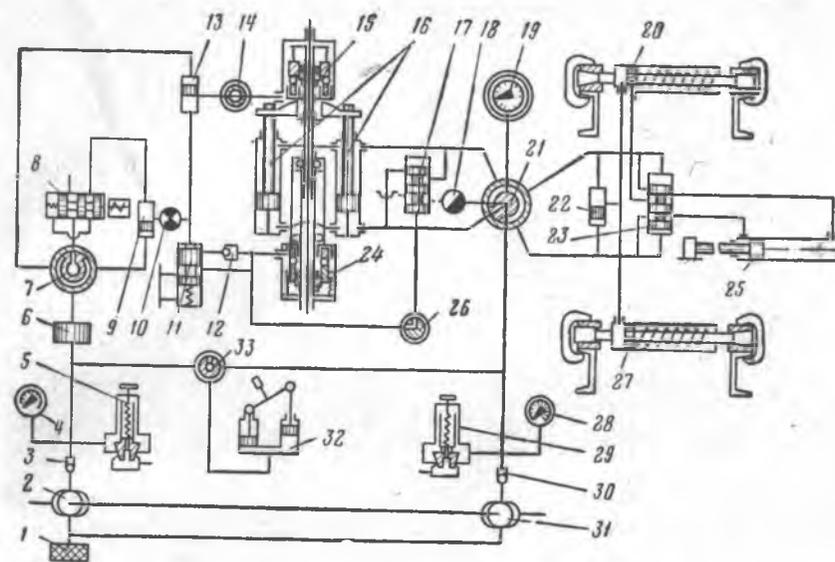


Рис. 15.3. Гидравлическая схема станка СБА-500:

1 — сетчатый фильтр; 2 — маслонасос гидропатронов; 3, 13, 30 — обратные клапаны; 4, 28 — манометры; 5, 29 — предохранительные клапаны; 6 — пластинчатый фильтр; 7 — распределитель; 8 — электрозолотник; 9, 13, 22 — золотники; 10 — демпфер; 11 — блокировка; 14 — вентиль; 15 — верхний гидропатрон; 16 — цилиндры вращателя; 17 — золотник быстрого подъема; 18 — дроссель; 19 — указатель давления; 20 — задний силовой цилиндр автоматических захватов; 21 — прибор управления; 23 — золотник распределительного устройства; 24 — нижний гидропатрон; 25 — цилиндр перемещения; 26 — переключатель обратного перемота; 27 — передний силовой цилиндр автоматических захватов; 31 — маслонасос цилиндров вращателя; 32 — ручной маслонасос; 33 — распределитель ручного маслонасоса

Так как поверхность лыски сверху и внизу имеет скосы, то при перемещении штока скосы воздействуют на колпачки и толкатели микропереключателей.

Когда шток гидросистемы находится в крайнем нижнем положении, оба микропереключателя включены (рис. 15.2, а), и цепь замыкается посредством реле магнитного пускателя. В обмотке электромагнита ЭМ появится ток, и в результате поршень золотника переместится влево.

При движении штока вверх контакты микропереключателя ВКВ размыкаются (рис. 15.2, б), но цепь с реле остается замкнутой контактами микропереключателя ВКН.

В крайнем верхнем положении штока происходит размыкание контактов микропереключателя ВКН (рис. 15.2, в); размыкается цепь, и реле магнитного пускателя обесточивает катушку электромагнита ЭМ. Теперь под действием возвратной пружины поршень золотника перемещается в исходное правое положение.

Таким образом, катушка электромагнита ЭМ и возвратная пружина обеспечивают левое и правое положения поршня золотника реверса.

При левом положении поршня золотника происходит раскрепление верхнего гидропатрона на подвижном шпинделе и закреп-

ление нижнего гидropатрона на неподвижном шпинделе, после чего подвижной шпиндель начинает двигаться вверх.

При правом положении поршня золотника верхний гидropатрон закрепляет бурильные трубы, нижний — открепляет, и подвижной шпиндель движется вниз.

Гидравлическая система станка СБА-500 показана на рис. 15.3.

## § 2. БУРОВЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Автоматические регуляторы позволяют автоматизировать процесс поддержания осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент. В разведочном бурении известны конструкции регуляторов БР-1 и АРП.

Регулятор БР-1 может быть применен только совместно с аппаратурой для измерения и регистрации параметров бурения типа ИРБ; автоматический регулятор подачи АРП в этом смысле автономен.

Оба регулятора по принципу действия являются регуляторами непрерывного действия с электрогидравлическим исполнительным механизмом.

В качестве примера рассмотрим автоматический регулятор подачи АРП.

### Автоматический регулятор подачи АРП

Автоматический регулятор подачи АРП предназначен для плавной подачи бурового снаряда с тормоза лебедки при бурении станками ЗИФ-1200 МР.

Помимо автоматического регулирования подачи в соответствии с физико-механическими свойствами разбуриваемых пород регулятор АРП позволяет осуществлять непрерывное измерение и регистрацию осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент, нагрузку на крюке при спуско-подъемных операциях, а также измерение скорости подачи инструмента.

В комплект АРП входят следующие основные узлы и механизмы: измерительно-задающий блок ИЗБ, преобразователь осевой нагрузки ДНР, преобразователь скорости подачи бурового снаряда ДС, исполнительный механизм ИМ, рабочий гидроцилиндр РГЦ, блок питания и комплект кабелей и трубопроводов.

### Принцип работы регулятора подачи АРП

Структурная схема автоматического регулятора подачи АРП дана на рис. 15.4.

Сигналы  $U_{сп}$  и  $U_n$  от преобразователей ДС и ДНР, пропорциональные соответственно скорости подачи инструмента и усилию на неподвижном конце каната, подаются на вход ИЗБ.

Сигнал  $U_n$  через делитель напряжения  $R$ , которым согласуется величина сигнала при работе с талевой оснасткой  $1 \times 2$

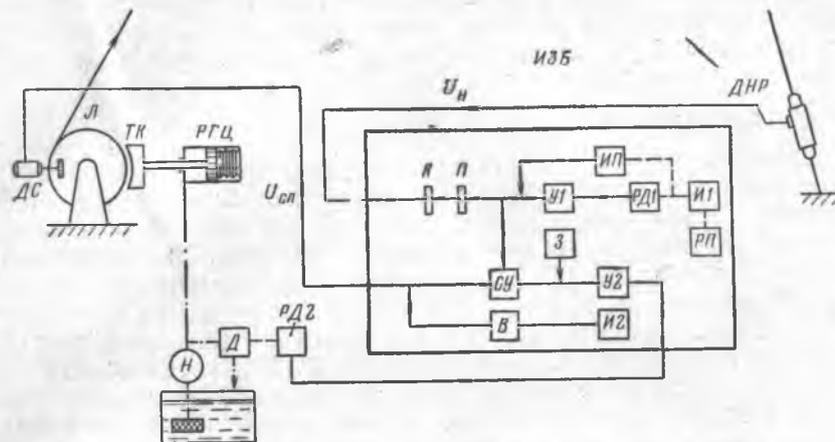


Рис. 15.4. Структурная схема автоматического регулятора подачи АРП

или  $2 \times 3$ , и переключатель рода работ (бурение — спуско-подъем) поступает на потенциометр  $П$  компенсации веса бурового снаряда. После взвешивания бурового снаряда с помощью потенциометра  $П$  стрелка измерительного прибора  $И1$  устанавливается на нулевую отметку шкалы. Таким образом, напряжение на выходе потенциометра в процессе бурения оказывается пропорциональным осевой нагрузке на породоразрушающий инструмент.

Указанное напряжение подается в двух направлениях: на суммирующее устройство  $СУ$  и на вход усилителя  $У1$ , где сравнивается с напряжением индукционного потенциометра  $ИП$ .

Результирующее напряжение после усиления подается к реверсивному двигателю  $РД1$ , вращающему ротор потенциометра  $ИП$ , стрелку измерительного прибора  $И1$  и перо регистрирующего прибора  $РП$  до полной компенсации входного напряжения, пропорционального осевой нагрузке.

Сигнал  $U_{сп}$  от преобразователя ДС также подается в двух направлениях: через выпрямитель  $В$  удвоения напряжения на измерительный прибор  $И2$  и одновременно на суммирующее устройство  $СУ$ .

Суммарное напряжение  $U_{сп} + U_n$ , поступающее в  $СУ$ , находится в противофазе с сигналом  $U_n$  задатчика  $З$ , задающего значение осевой нагрузки.

Результирующее напряжение указанных сигналов поступает на вход усилителя  $У2$ .

В случае  $U_{сп} + U_n = U_n$  на входе  $ИЗБ$  появляется напряжение, управляющее работой реверсивного двигателя  $РД2$ . Частота вращения ротора  $РД2$  будет зависеть от величины напряжения баланса, а направление вращения — от знака фазы.

Двигатель  $РД2$  управляет работой дросселя  $Д$ , регулирующего подачу масла в рабочий гидроцилиндр  $РГЦ$ .

Зажим тормозной шайбы лебедки *Л* осуществляется тормозными колодками *ТК* силой разжатия тарельчатых пружин.

Обратное перемещение тормозных колодок происходит в результате подачи масла в рабочую полость гидроцилиндра.

#### Устройство основных узлов

*Измерительно-задающий блок.* Внутри корпуса *ИЗБ* монтируются детали электрической схемы, реверсивный двигатель, индукционный потенциометр, привод на стрелку, часовой механизм и привод на диск крепления диаграммного бланка. За открывающейся крышкой с остекленным окном располагается шкала измерений осевой нагрузки на крюке.

На передней панели корпуса смонтированы измерительный прибор скорости подачи бурового снаряда *М-325*, потенциометр компенсации веса, переключатель рода работ (бурение — спуско-подъем), потенциометр задания осевой нагрузки и переключатель согласования входного сигнала с количеством струн талевого оснастки (1 × 2 или 2 × 3).

*ИЗБ* крепится на стене бурового здания в месте, удобном для визуальных наблюдений.

*Преобразователь осевой нагрузки.* Преобразователь магнитоупругий, конструкция и принцип действия аналогичны преобразователю, применяемому в измерителе *МКН*. Размещается на неподвижном конце каната талевого системы.

*Преобразователь скорости подачи.* В качестве преобразователя используется двухфазный асинхронный двигатель с полым ротором, работающий в генераторном режиме.

Преобразователь приводится в действие за счет фрикционного зацепления с торцевой частью барабана лебедки станка.

*Исполнительный механизм* состоит из дросселя и привода. Привод обеспечивает как ручное, так и автоматическое управление дросселем.

В состав привода входит асинхронный двухфазный двигатель *РД-09*, от которого вращательное движение передается через редуктор и червячную пару на винтовую пару, где вращательное движение преобразуется в поступательное сообщаемое игле дросселя.

Для ручного управления дросселем имеется маховичок, вращением которого осуществляется непосредственное воздействие на иглу дросселя.

*Рабочий гидроцилиндр.* Внутри гидравлического цилиндра помещены шток, поршень и тарельчатые пружины. Силой разжатия пружин поршень со штоком перемещаются и воздействуют на тормозные колодки, прижимая их к поверхности тормозной шайбы лебедки.

Регулируемое дросселем давление масла, поступающего в рабочую полость гидроцилиндра, приводит к оттормаживанию шайбы, в результате чего поворачивается барабан лебедки и происходит подача каната вместе с буровым снарядам.

*РГЦ* монтируется на тормозе лебедки.

#### Эксплуатация

Подготовку к работе следует начать с внешнего осмотра и проверки состояния узлов и соединений *АРП*.

Последующие работы выполнять в таком порядке: включить блок питания и прогреть узлы регулятора в течение 30 мин;

завести часовой механизм (один раз в 5 дней) и, если требуется, сменить бланк диаграммы, перо самописца заправить чернилами;

поставить тумблер «1 × 2» — «2 × 3» в положение, соответствующее числу ветвей каната талевого системы;

поставить переключатель рода работ в положение «Т × 10». Включить вращение и подачу промывочной жидкости. При удерживании бурового снаряда на весу произвести его взвешивание;

поставить переключатель рода работ в положение «Бурение» и вращением ручки потенциометра «Компенсация веса» установить стрелку определения нагрузки на нуль;

установить указателем «Задание» требуемую нагрузку на породоразрушающий инструмент;

управляя тормозом лебедки, поставить породоразрушающий инструмент на забой;

включить тумблер на исполнительном механизме и дождаться, когда стрелка измерения осевой нагрузки покажет то же значение, что и указатель «Задание»;

в дальнейшем, если потребуется изменить поддерживаемую регулятором нагрузку, следует установить указатель «Задание» в соответствующее положение.

#### § 3. ПРИНЦИП КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ

В 1959 г. Специальным конструкторским бюро Министерства геологии СССР были начаты работы по созданию системы автоматизации основных процессов разведочного колонкового бурения.

В качестве объекта автоматизации был выбран буровой станок с гидравлической подачей шпинделя, обладающий рядом качеств, способствующих проведению этих работ.

В основу схемы автоматизации были положены:

принцип стабилизации крутящего момента на шпинделе бурового станка путем регулирования осевой нагрузки;

регулируемый расход промывочной жидкости, закачиваемой в скважину, в зависимости от скорости проходки.

В случае зашламования скважины предусматривалось увеличение расхода промывочной жидкости, снижение осевой нагрузки, а при резком росте крутящего момента — отключение электродвигателя.

По принципу действия схема автоматизации процесса бурения представляет собой астатический регулятор непрерывного действия,

созданный на базе аппаратуры ИРБ и исполнительного механизма бурового регулятора БР-1.

В состав схемы входят: преобразователи (осевой нагрузки, крутящего момента, скорости бурения и расхода промывочной жидкости), показывающие приборы с компенсационной схемой измерения, задатчики, электронные усилители, исполнительные механизмы и др.

Недостатком указанной системы автоматического регулирования являются ее ограниченные возможности. Так, ею не учитывается мгновенная механическая скорость, являющаяся функцией многих переменных; отсутствует автоматическое изменение частоты вращения в зависимости от крутящего момента и т. д.

Для автоматизации процесса бурения более целесообразной следует считать самонастраивающуюся систему регулирования, обеспечивающую отыскание и поддержание наиболее выгодной программы. Одним из видов самонастраивающейся системы является система с экстремальным регулятором.

Впервые экстремальный регулятор был применен на станке ВИТР-1200. Благодаря этому регулятору осуществлялись поиск и поддержание оптимального режима бурения, обеспечивающего максимальную скорость проходки.

С изменением условий бурения (смена пород, затупление резцов коронок и т. д.) регулятор отыскивал и затем поддерживал новые параметры режима бурения.

В сочетании с экстремальным регулятором в станке ВИТР-1200 был применен комплексный турботрансформатор, позволяющий осуществлять бесступенчатое регулирование частоты вращения в зависимости от крутящего момента.

Структурная схема экстремального регулятора показана на рис. 15.5. Преобразователь скорости проходки ДС преобразует скорость перемещения направляющего штока (шпинделя) в электрические импульсы. Частота импульсов пропорциональна скорости движения штока и скорости бурения. Импульсы от преобразователя поступают в измерительное устройство ИУ, в котором они измеряются, «запоминаются» и сравниваются с предыдущими. Результат сравнения импульсов (скоростей бурения) подается в логический элемент ЛЭ, который в зависимости от увеличения или уменьшения скорости бурения дает соответствующую команду в выходное устройство ВУ. В результате происходят изменения осевой нагрузки, частоты вращения и крутящего момента. Система также имеет устройство, предупреждающее повышение осевой нагрузки до таких значений, при которых возможна поломка бурильных труб.

Последовательную работу элементов системы в цикле и повторение циклов обеспечивает устройство ЦУ.

В работах Е. А. Козловского, Р. Х. Гафиятуллина, А. Е. Тропа и других даются обоснования принципов построения систем автоматического управления процессом бурения и приводятся некоторые результаты исследований в этом направлении, в частности,

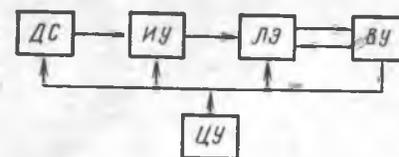


Рис. 15.5. Структурная схема экстремального регулятора:

ДС — преобразователь скорости проходки; ИУ — измерительное устройство; ЛЭ — логический элемент; ВУ — выходное устройство; ЦУ — устройство, обеспечивающее повторение циклов

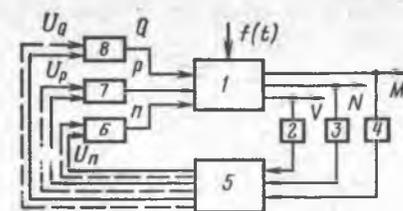


Рис. 15.6. Структурная схема автоматического управления процессом бурения

систем экстремального регулирования и возможности их применения на станках разведочного бурения.

Одна из схем [9] системы автоматического управления процессом бурения приведена на рис. 15.6. В данной схеме объектом автоматического управления является сложная динамическая система, которую в первом приближении можно представить как буровой станок — буровой снаряд — породоразрушающий инструмент-забой скважины. Эта система имеет три основных входных регулируемых параметра: частоту вращения бурового снаряда  $n$ , осевую нагрузку на породоразрушающий инструмент  $P$  и количество промывочной жидкости  $Q$ . Кроме регулируемых входных переменных, состояние объекта управления определяется также выходными переменными параметрами, к которым следует отнести проходку  $L$  или ее производную по времени — механическую скорость  $v = dL/dt$ , потребляемую мощность  $N$  и крутящий момент  $M$ .

Выходные параметры являются сложными функциями, зависящими от физико-механических свойств породы, состояния породоразрушающего инструмента, входных параметров и т. д. К возмущающим воздействиям  $f(t)$  могут быть отнесены физико-механические свойства породы, состояние породоразрушающего инструмента, условия бурения на забое и т. д.

Управляющая система при помощи преобразователей 2, 3, 4 получает информацию о значениях выходных переменных, описывающих состояние управляемого объекта в определенные моменты времени, после чего преобразует эту информацию и вырабатывает управляющие сигналы  $U_n$ ;  $U_P$ ;  $U_Q$ , предназначенные для приведения системы к необходимому состоянию. Эффективность достижения управляемым объектом цели управления характеризуют показатели эффективности  $E$ , зависящие от выходных параметров. Цель управления достигается, если управляющие сигналы  $U_n$ ;  $U_P$ ;  $U_Q$ ; обеспечивают экстремальное значение показателя эффективности  $E$ , совместимое с ограничивающими условиями и динамикой объекта. Если объект управления обладает экстремальными характеристиками и по усло-

виям технико-экономической целесообразности его работа необходима в экстремальных точках этих характеристик, в качестве показателя эффективности может быть выбран показатель экстремума. При этом алгоритм (закон) управления реализуется сравнительно просто, а управляющая система 5 может представлять собой многоканальный экстремальный регулятор. Применительно к процессу бурения таким показателем экстремума может явиться максимум механической скорости бурения и другие критерии.

Путем регулирования входных переменных  $n$ ,  $P$ ,  $Q$  многоканальный экстремальный регулятор обеспечит достижение максимальной механической скорости бурения.

Буровая установка как объект управления может обладать экстремальными характеристиками показателя эффективности по максимуму механической скорости бурения, максимуму рейсовой скорости, минимуму себестоимости бурения и т. п.

## Глава 16

### ОСНОВНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ В РОТОРНОМ БУРЕНИИ

#### § 1. АВТОМАТИЗАЦИЯ СПУСКО-ПОДЪЕМНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Из всех работ, связанных с бурением скважины, наиболее трудоемкими являются спуск и подъем бурильных труб. В зависимости от глубины скважины и крепости буримых пород на выполнение этих работ может расходоваться от 25 до 50% производительного времени.

При спуске и подъеме бурового снаряда многократно выполняются однотипные операции (захват, освобождение, свинчивание, развинчивание, спуск, подъем), требующие большого физического напряжения.

Следовательно, из-за большого числа однотипных операций (при глубоких скважинах достигающих нескольких десятков тысяч метров), спуско-подъемные операции в первую очередь необходимо комплексно механизировать и автоматизировать.

Для этого институтом Гипронефтемаш были разработаны комплексы АСП, предназначенные для комплексной механизации спуско-подъемных операций на глубоком бурении. Для буровых установок БУ-125 выпущен комплекс АСП-III, а для установок БУ-300 — комплекс АСП-V. Существенных отличий в принципе действия этих комплексов нет. Комплекс АСП-III позволяет вести работу со свечами 24 м на глубину до 4000 м, а комплект АСП-V соответственно 36 и 8000 м.

Наличие комплексов АСП в составе буровых установок позволяет:

совмещать во времени спуск и подъем свечей бурильных труб и ненагруженного элеватора с установкой свечи на подсвечник и ее вынос;

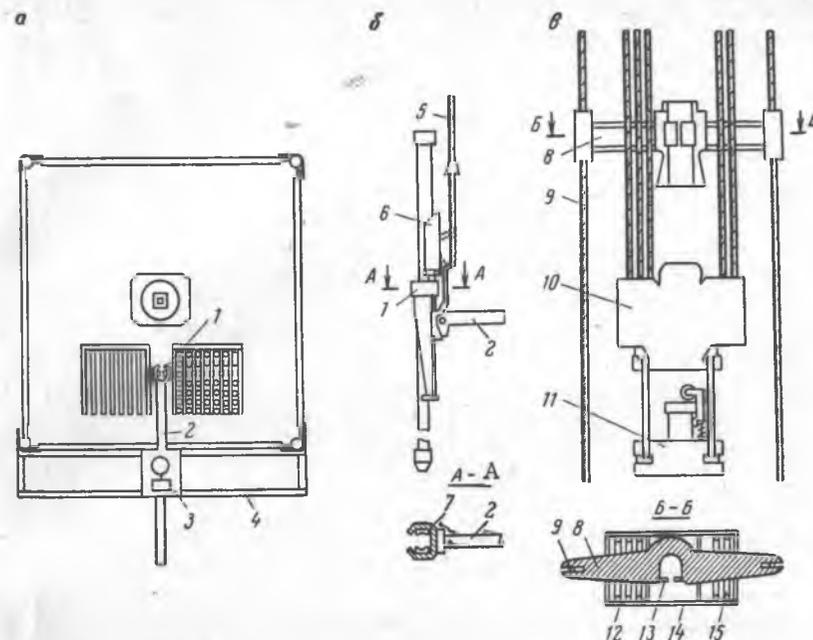


Рис. 16.1. Основные узлы и механизмы установки АСП-III:

*a* — тележка со стрелой; *b* — свечезахватное устройство; *в* — центратор, талевый блок элеватора; 1 — механизм захвата свечи; 2 — стрела; 3 — тележка; 4 — направляющие; 5 — канат свечезахватного устройства; 6 — наголовник; 7 — клинья; 8 — центратор; 9 — направляющие канаты; 10 — блок; 11 — автоматический элеватор; 12, 15 — секции талевого блока; 13 — запорные кулачки; 14 — соединительная рама

- механизировать свинчивание и развинчивание свечей;
- механизировать установку свечей на подсвечник и вынос их к центру скважины;
- механизировать наращивание бурильных труб;
- автоматизировать захват и освобождение бурильных труб элеватором;
- механизировать смазку резьб замковых соединений.

#### Комплексная установка АСП-III

Механизмы, входящие в состав АСП-III, размещаются на раме кронблока, металлоконструкциях вышки и на основании (рис.16.1).

Около шестого пояса вышки на специальном балконе укреплены направляющие швеллера, по которым параллельно передней панели перемещается тележка. Ее ход вправо и влево от оси скважины составляет 2,2 м.

На тележке размещены привод и выдвижная стрела с приводом. В передней части стрелы крепится механизм захвата свечи, способный помимо перемещений в горизонтальной плоскости подниматься или опускаться на высоту до 0,8 м. Выполняется это посредством каната, пропущенного через вспомогательный ролик

кронблока. Один конец каната крепится к свечезахватному механизму, а второй — к штоку пневмоцилиндра подъема свечи. Благодаря такому устройству во время выноса или постановки свечи на подсвечник ее вес на стрелу не действует. В исходном положении стрела задвинута в тележку, а механизм захвата находится на оси скважины.

В процессе захвата свечи стрела выдвигается до тех пор, пока свечезахватный механизм не будет прижат к свече с определенным усилием. Захват и освобождение свечи производятся автоматически клиньями свечезахватного механизма при натяжении или ослаблении каната пневмоцилиндром. Во время свинчивания или развинчивания свеча удерживается в вертикальном положении центратором 8.

При постановке свечи из подсвечника на устье скважины ее верхний конец заводится в центратор, а при обратном движении освобождается через боковой вырез, снабженный запорными кулачками 13. Кулачки открываются внутрь свечей, а наружу — конусным наголовником 6, находящимся в верхней части механизма захвата свечи. Корпус центратора по сторонам снабжен кронштейнами с смонтированными в них роликами, с помощью которых он может подниматься или опускаться по направляющим канатам. Благодаря такому устройству, при подъеме свечи из скважины центратор вначале поднимается талевым блоком, а затем, когда свеча отвинчивается, а талевый блок с элеватором движутся вниз, он несколько опускается, и верхний конец свечи оказывается внутри центратора.

Захват и освобождение свечей при спуско-подъемных операциях выполняется автоматическим элеватором 11. Он представлен двумя группами деталей: силовой — воспринимающей нагрузки от веса буровой колонны и рычажной — осуществляющей автоматический захват и освобождение замков буровых труб.

Элеватор крепится к талевому блоку, состоящему из двух секций и соединительной рамы. В первой секции блока находятся два ролика, а во второй — три. Секции блока расположены по обе стороны от центральной вертикальной оси. Зазор между секциями таких размеров, что блок может свободно подниматься или опускаться, пропуская сквозь себя буровые трубы.

Схема работы механизмов установки АСП-III при спуске и подъеме буровых труб показана на рис. 16.2. Колонна буровых труб за верхний конец захватывается автоматическим элеватором 5 и поднимается на длину одной свечи. Верх следующей свечи закрепляется в роторе пневматическим клиновым захватом. Верхняя свеча отвинчивается ключом 8. Одновременно с этим ненагруженный талевый блок 7 с автоматическим элеватором опускается вниз, пропуская сквозь себя отвинчиваемую свечу, поддерживаемую центратором в вертикальном положении. Когда элеватор и талевый блок достигнут крайнего нижнего положения, отвинчивание свечи закончится; с помощью механизмов захвата, подъема

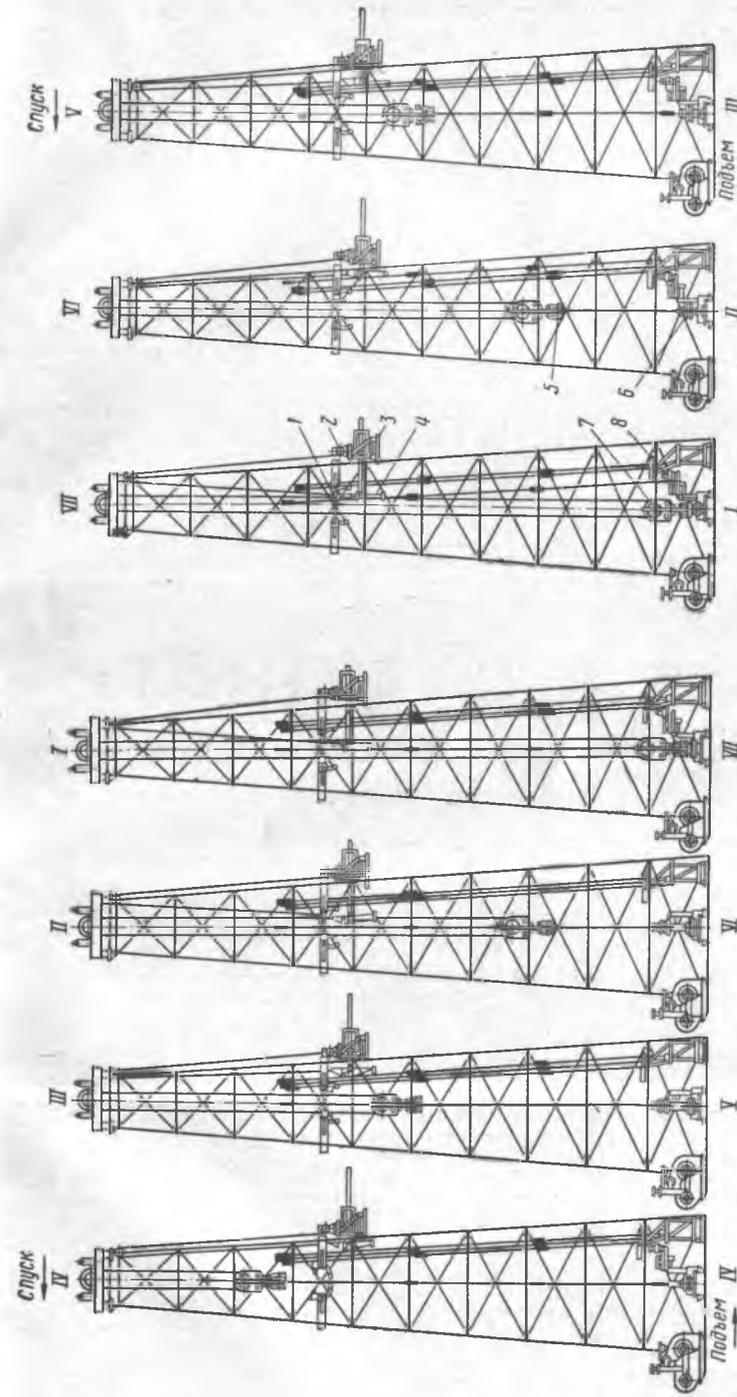


Рис. 16.2. Схема работы механизмов установки АСП-III:

1 — центратор; 2 — двигатель телесжки; 3 — тележка со стрелой; 4 — свечезахватное устройство; 5 — автоматический элеватор; 6 — клиновое захват; 7 — талевый блок; 8 — ключ

и переноса свеча от центра скважины переносится на подсвечник. Одновременно с этой операцией верхний конец колонны, выступающий над ротором, захватывается автоматически элеватором, освобождаются клинья и производится подъем. Аналогичные операции при подъеме совершаются с остальными свечами.

При спуске труб в скважину работы с АСП-III выполняются в такой последовательности:

механизмом захвата, подъема и переноса свеча берется из подсвечника и выводится к центру скважины. Верхний конец свечи заводится в центратор, а на нижний, когда свеча находится еще на весу, одевается элеватор;

в тот момент, когда элеватор и талевый блок движутся по колонне вверх, свеча освобождается механизмом захвата и ключом АКБ-3М свечи соединяются;

при своем движении вверх талевый блок поднимает центратор, а элеватор захватывает за замок свечи. Колонна несколько приподнимается, освобождаются клинья, после чего следует спуск.

Управление АСП-III ведется с трех дистанционных постов:

бурильщик управляет работой лебедки и при помощи ножной педали пневматическим клиновым захватом;

помощник бурильщика ключом АКБ-3М;

рабочий включает механизмы захвата, подъема и переноса свечей.

Внедрение комплексов АСП в производство позволило ускорить процесс спуско-подъемных операций на 30%, а в отдельных случаях до 50%. Однако более значительное ускорение спуско-подъемных операций возможно только при более полной механизации и автоматизации работ.

## § 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДАЧИ БУРОВОГО СНАРЯДА НА ЗАБОИ

Механическая скорость разрушения горных пород зависит от рационального сочетания основных параметров режима бурения — осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент (долото), частоты вращения, интенсивности промывки забоя.

— Данные отечественной и зарубежной практики позволяют сделать вывод, что при плавной и равномерной подаче бурового снаряда, обеспечивающей заданную осевую нагрузку на долото, можно получить существенный прирост механической скорости, особенно в однородных породах.

Таким образом, основным определяющим параметром режима бурения является осевая нагрузка на долото, регулируемая различными типами устройств подачи.

Вопросом создания регуляторов и автоматов подачи в СССР и за рубежом занимаются давно<sup>1</sup>, и до настоящего времени создано большое число конструкций таких устройств.

<sup>1</sup> Автомат Хилда начали применять с 1924 г., а автомат Скворцова — с 1925 г.

По степени автоматизации подачи долота на забой эти устройства могут быть подразделены на механизмы подачи долота, полуавтоматы и автоматы.

Механизмы подачи облегчают труд бурильщика и обеспечивают плавную подачу бурового снаряда.

Полуавтоматы — устройства, автоматически поддерживающие постоянную осевую нагрузку, скорость подачи или крутящий момент (в турбинном бурении). Характерным отличием полуавтоматов от механизмов подачи является наличие преобразователя для измерения регулируемой величины.

Автоматы — устройства, производящие автоматический поиск и поддержание оптимальных значений основных параметров режима бурения.

— Следует отметить, что в настоящее время более распространенными являются полуавтоматы, механизмы подачи часто громоздки и несовершенны, а автоматы сложны и дорогостоящи. Рассмотрим особенности конструкции и принцип действия двух наиболее распространенных в настоящее время полуавтоматов подачи долота СВМ и РПДЭ-3.

### Стабилизатор веса СВМ

Стабилизатор веса СВМ (рис. 163) — пневмофрикционного типа, осуществляющий регулируемую подачу долота путем воздействия на тормоз барабана лебедки.

Исполнительный механизм стабилизатора представлен пневмоцилиндром 3, шарнирно прикрепленным к полу буровой. Шток 2 одним концом ввернут в поршень, а другим связан с рукояткой 1 тормоза барабана лебедки.

Нижняя полость цилиндра через два последовательно включенных электромагнитных пневмоклапана 5 и 6 соединена с пневматической системой управления лебедкой. Клапан 5 — рабочий и управляется генератором импульсов, расположен в пульте 7. Клапан 6 — аварийный и открывается электроконтактным манометром 11, если нагрузка на долото существенно превысит заданную величину.

На неподвижном конце каната талевой системы помещен преобразователь 8, представленный трансформатором давления по типу аппаратуры ГИВ. Давление жидкости от преобразователя по трубопроводу передается электроконтактному манометру 9, находящемуся на пульте 7.

Перед включением стабилизатора веса в работу бурильщик устанавливает заданное значение осевой нагрузки на долото путем перемещения стрелки-уставки электроконтактного манометра.

Если осевая нагрузка на долото уменьшится против заданной, то произойдет замыкание контактов манометра, что вызовет включение электроимпульсного генератора. Электроимпульсы определенной продолжительности будут поступать на катушку электромагнита клапана 5, в результате чего откроется доступ сжатому воздуху в пневмоцилиндр 3.

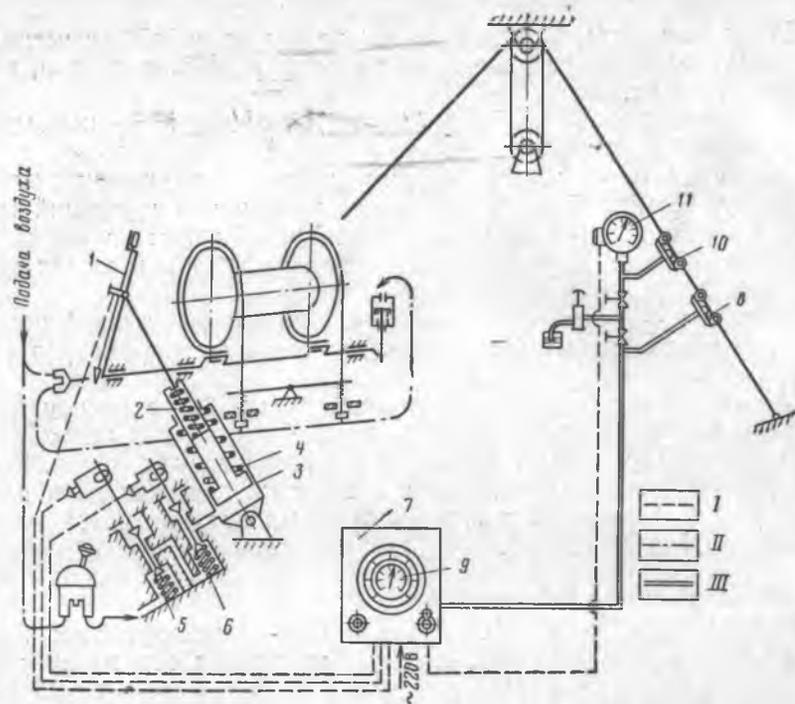


Рис. 16.3. Стабилизатор веса СВМ:

I — гидравлическая линия; II — воздушная линия; III — электрическая линия

Периодическое растормаживание лебедки толчками приведет к подаче бурового снаряда. Это будет происходить до тех пор, пока фактическая осевая нагрузка не станет равной заданной; контакты манометра 9 разомкнутся и генератор будет выключен.

Параллельно с рабочим преобразователем (трансформатором давления) 8 работает аварийный преобразователь 10.

Если осевая нагрузка на долото превысит заданную на 30—50 кН (аварийное положение), замкнутся контакты манометра 11 и на катушку электромагнита клапана 6 поступит сигнал, что приведет к закрытию клапана. Прекратится подача сжатого воздуха в пневмоцилиндр, и действием возвратной пружины 4 будет осуществлено торможение лебедки.

### Регулятор подачи долота электрический РПДЭ-3

Регулятор входит в комплект буровых установок, рассчитанных на грузоподъемность 80, 125, 130 и 200 т. Регулятор РПДЭ-3 позволяет поддерживать заданное значение осевой нагрузки на долото или постоянную скорость подачи (подъема) бурового снаряда.

Структурная схема РПДЭ-3 приведена на рис. 16.4.

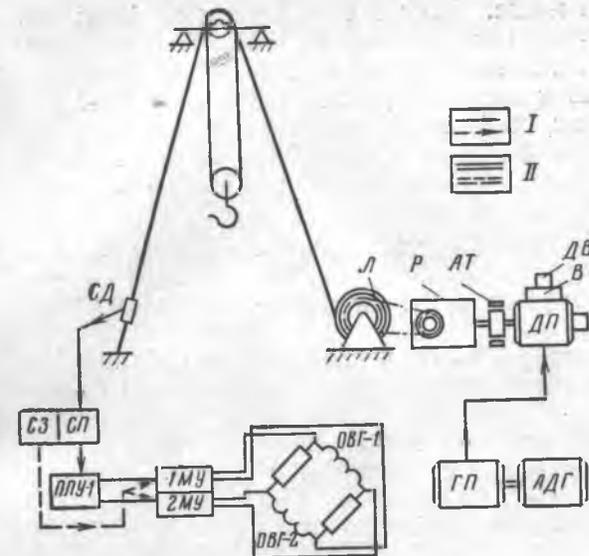


Рис. 16.4. Структурная схема регулятора подачи долота РПДЭ-3:  
I — электрические цепи; II — механические передачи

Регулятор РПДЭ-3 состоит из следующих основных узлов: преобразователя веса, пульта контроля и управления; полупроводникового и магнитных усилителей; двигателя генератора, силового узла.

Преобразователь веса рессорный, электрический типа ДВР-26, устанавливается на неподвижном конце каната талевой системы.

В случае натяжения талевых канатов образуется прогиб рессоры, в результате которого поворачивается ротор сельсин-преобразователя СД. В паре с сельсин-преобразователем СД работает сельсин-приемник СП, находящийся на пульте управления. Ротор сельсина СП поворачивается от руки и связан с установкой веса.

При взвешивании бурового снаряда ротор сельсина СП ставится в согласованное положение с ротором сельсина СД. При этом напряжение на выходе сельсинов СД и СП будет равно нулю.

В процессе бурения ротор сельсина СП устанавливается в положение в соответствии с осевой нагрузкой на долото, что приводит к рассогласованию сигналов СД и СП. Напряжение с выхода сельсинной пары для предварительного усиления поступает на двухкаскадный полупроводниковый фазочувствительный усилитель ПЛУ-1. Усиление сигнала по мощности происходит в трехфазных магнитных усилителях 1МУ и 2МУ, нагрузкой выхода которых является две полуобмотки возбуждения ОВГ-1 и ОВГ-2 генератора постоянного тока ГП. Для обеспечения реверса тока в полуобмотках ОВГ-1 и ОВГ-2 их включение выполнено

в виде плеч моста. Тогда в зависимости от фазы сигнала усилителя ППУ-1 открывается один из магнитных усилителей и закрывается другой. В зависимости от того, какой из магнитных усилителей открыт и насколько, в полуобмотках ОВГ-1 и ОВГ-2 будет протекать ток соответствующей силы и направления. На якоре генератора ГП появится напряжение такой полярности, что двигатель ДП будет соответственно вращаться в сторону подачи или подъема бурового снаряда

В состав силового узла помимо приводного двигателя ДП входят:

вентилятор В с приводом ДВ — для охлаждения приводного двигателя;

тахогенератор ТГ — для контроля за механической скоростью бурения (показывающий прибор расположен на пульте управления);

аварийный тормоз АТ с электрогидравлическим толкателем — для защиты от коротких замыканий;

редуктор Р — для снижения частоты вращения. Цепной передачей вращение от редуктора передается на лебедку Л буровой установки.

Включение регулятора РПДЭ-3 в работу производится в такой последовательности. После взвешивания бурового снаряда установку веса — ротор сельсина СП ставят в положение, соответствующее усилению разгрузки.

Допустим, при взвешивании бурового снаряда получено значение в 1000 кН, заданная нагрузка на долото 300 кН, тогда лимб установки совместно с ротором сельсина СП устанавливают на отметку шкалы 700 кН (разгружающее усилие).

На входе усилителя ППУ-1 появится сигнал такой фазы, при которой магнитный усилитель 1МУ откроется, а 2МУ закроется. Полярность напряжения на якоре генератора возникает такая, что исполнительный двигатель ДП будет вращать редуктор и лебедку в направлении подачи бурового снаряда. Вначале подачи, когда буровой снаряд находится на весу, а нагрузка на долото отсутствует, скорость подачи будет большой. По мере увеличения нагрузки скорость подачи станет уменьшаться.

В установленном режиме (для нашего примера нагрузка на долото 300 кН) подача бурового снаряда будет происходить со скоростью разрушения породы.

Если произойдет резкая смена пород с мягких на твердые, это приведет к увеличению нагрузки на долото. Напряжение на входе усилителя ППУ-1 поменяет фазу, и двигатель ДП начнет работать на подъем бурового снаряда до тех пор, пока не установится заданная нагрузка.

Таким образом, регулятор будет поддерживать заданное значение осевой нагрузки на долото с определенной точностью.

В случае необходимости проработки ствола скважины или при аварийном отказе главного привода возможна работа регулятора с постоянной скоростью подачи или подъема.

Для этого предусмотрено устройство ручного управления, в составе которого находятся сельсин СЗ и два выпрямителя. С включением сельсина СЗ выключается сельсинная пара СД — СП и усилитель ППУ-1.

Сигнал с СЗ поступает непосредственно на магнитные усилители. В зависимости от того, в каком направлении от нейтрального положения будет повернут ротор сельсина СЗ, соответственно откроется первый или второй магнитный усилитель, что в конечном счете приведет к подаче или подъему бурового снаряда с постоянной скоростью.

### Забойные регуляторы подачи

С увеличением глубины (свыше 3000 м) и ухудшением состояния ствола скважины применение наземных регуляторов подачи становится малоэффективным. Это объясняется увеличением сил трения бурового снаряда о стенки скважины, что приводит к искажению показаний осевой нагрузки.

Особенно большие искажения возможны, если вес бурового снаряда составляет сотни тонн, а нагрузка на породоразрушающий инструмент (алмазное долото) всего несколько килоньютонов, т. е. может быть равной или меньше сил трения. Существенными искажения также будут в случае бурения с применением забойных двигателей, когда колонна бурильных труб не вращается.

С увеличением глубины скважины возрастает время поступления информации с забоя на поверхность, и действие исполнительного механизма происходит в обратном направлении. Иногда за это время условия разрушения породы успевают измениться, и исполнительному механизму дается неверная команда.

Решением перечисленных проблем может явиться перенос измерительных приборов и исполнительных механизмов регулятора с поверхности на забой, где непосредственно у породоразрушающего инструмента может быть получена информация об основных параметрах бурения и передана команда исполнительному механизму.

Однако с решением одних проблем при внедрении забойных регуляторов возникают и новые трудности: вибрация и высокие динамические нагрузки, высокая температура и давление, агрессивность и абразивность среды.

Первые схемы забойных регуляторов подачи долота были предложены в 30-х годах.

Аналогично поверхностным регуляторам забойные регуляторы также делятся на стабилизаторы нагрузки (механизмы подачи), полуавтоматы и автоматы подачи.

Принципиальная схема простейшего забойного стабилизатора, обеспечивающего подачу долота с постоянной нагрузкой, показана на рис. 16.5.

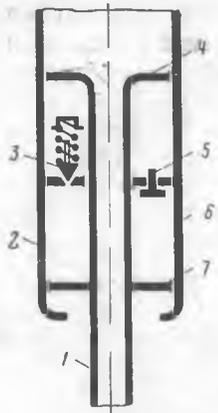


Рис. 16.5. Принципиальная схема забойного стабилизатора нагрузки.

Корпус сервоцилиндра 2 соединен с буровыми трубами, а шток 1 с турбобуром. На штоке укреплены два поршня 4 и 7, а внутри сервоцилиндра находится разделительная перегородка 6 с регулировочным клапаном 3 и обратным клапаном 5. Плотность сервоцилиндра между поршнями заполнена водой или маслом. Во время работы забойного стабилизатора нагрузки подача бурового снаряда с поверхности в скважину осуществляется ручным или автоматическим регулятором с постоянной скоростью.

При движении бурового снаряда вниз давление жидкости над поршнем 7 растет и одновременно увеличивается нагрузка на долото. Как только нагрузка на долото сравняется с заданной, откроется регулировочный клапан, и жидкость станет поступать в полость сервоцилиндра над разделительной перегородкой.

После окончания рабочего хода (2—3 м) производится перезарядка стабилизатора, для чего буровой снаряд совместно с корпусом сервоцилиндра лебедкой буровой установки поднимают вверх. При этом рабочая жидкость перетекает в обратном направлении через клапан 5. Перед спуском стабилизатора в скважину регулировочный клапан 3 настраивается на заданную осевую нагрузку.

### § 3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ

#### Автоматизированная буровая установка БА-25-ЛЭ

На основании работ, проведенных Всесоюзным институтом техники разведки (ВИТР), была создана комплексно автоматизированная буровая установка БА-25-ЛЭ, позволившая автоматизировать спуско-подъем, наращивание буровых труб и операции с ведущей трубой.

#### Краткая техническая характеристика установки БА-25-ЛЭ

Грузоподъемность на крюке, т:	
номинальная	25
предельная	40
Глубина бурения, м:	
буровыми трубами 50 и 63,5 мм	3000
» » 73 и 89 мм	2000
Мощность электропривода вращателя и лебедки, кВт	160
Тип вращателя	Ротор
Частота вращателя ротора, мин <sup>-1</sup>	60, 85, 135, 190, 270, 300, 525

Тип лебедки	Однорабанная
Диаметр каната, мм	22,5
Талевая оснастка	2×3
Натяжение каната, кН:	
номинальное	75
максимальное	115
Скорости движения талевого блока при подъеме, м/с	0,25—2,2
Система управления установкой	Электрогидравлическая автоматическая
Буровые насосы (2 шт.)	9МГр
Мощность электропривода насосов, кВт	2×95
Высота вышки, м	31
Длина свечи, м	18, 8; 0,1

Кинетическая схема БА-25-ЛЭ представлена на рис. 16.6.

От электродвигателя 1 вращение передается на четырехскоростную коробку передач 2 и далее карданным валом 7 на раздаточный редуктор 4 с зубчатыми муфтами 5 и 8, благодаря которым к силовому приводу подключается блок лебедки или блок ротора 22. В состав блока лебедки входят планетарный механизм 16 с тормозом подъема 15 и однорабанная лебедка 17 с двумя тормозами спуска 18. В процессе бурения к лебедочному блоку через редуктор 9 подключается автомат подачи 12. Контроль за скоростью вращения барабана лебедки осуществляется тахогенератором 19. Вращение на блок ротора передается через угловой редуктор 21. В составе блока ротора находятся: собственно ротор 24, самозатягивающийся планетарного типа ключ 25 и трубодержатель. Для страгивания резьбы при развинчивании буровых труб используется силовой гидравлический цилиндр с зубчатой рейкой 23; в дальнейшем привод осуществляется от гидродвигателя<sup>1</sup>.

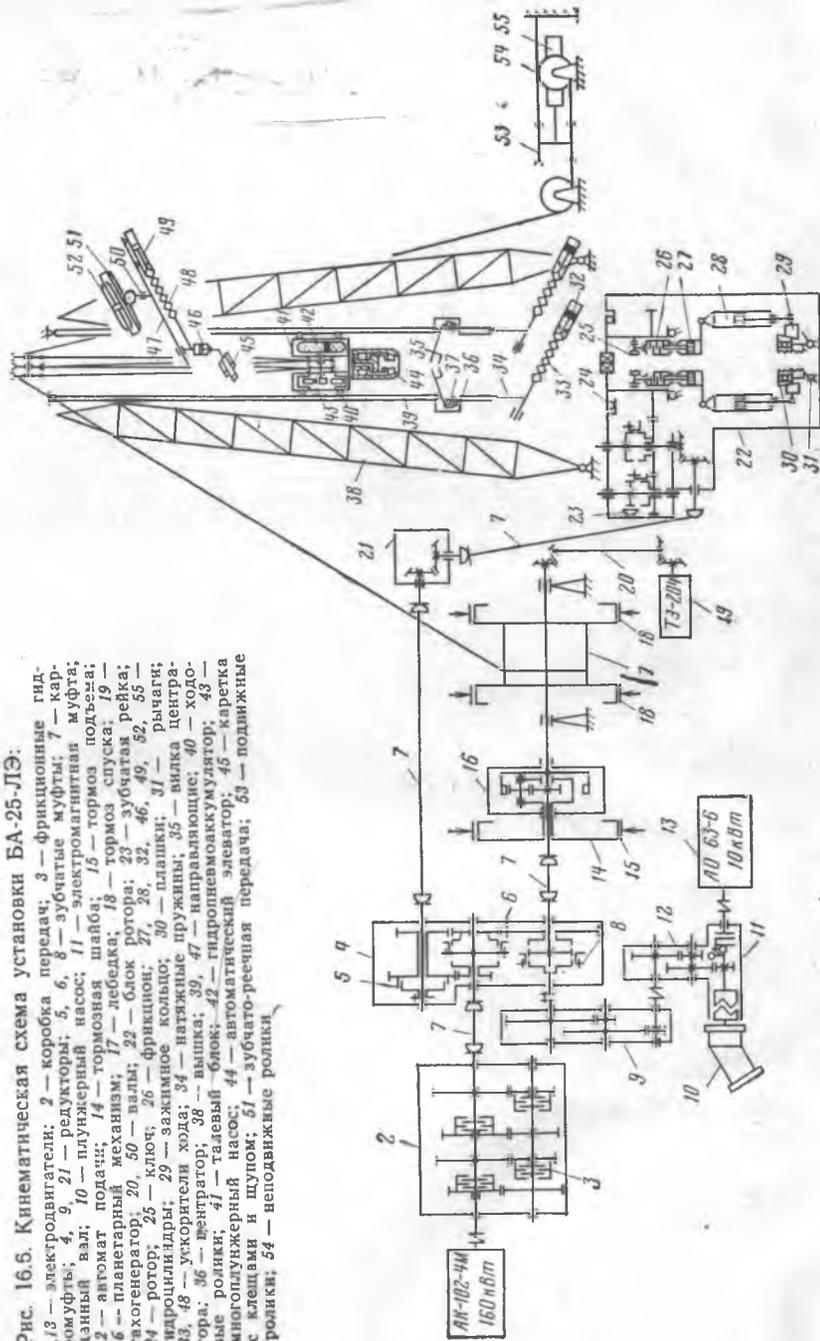
На вышке монтируются направляющие 39, по которым перемещается талевый блок 41 с автоматическим элеватором 44. Плашки элеватора сводятся и разводятся гидроцилиндром, питание которого осуществляется от гидропневмоаккумулятора 42. Подача рабочей жидкости в гидропневмоаккумулятор происходит от многоплунжерного насоса 43, приводимого в действие от одного из роликов талевого блока. Для точных малых перемещений талевого блока используется натяжное устройство, подключенное к неподвижному концу каната талевого системы. Оно состоит из группы подвижных роликов 53 и неподвижных 54, расстояние между которыми изменяется действием гидроцилиндра 55.

Свечеподающее устройство имеет полярную систему движения. Валом 50 поворачивается толкатель 48, перемещающий по направляющим каретку с клещами и щупом 45. Клещи производят фрикционный захват верхней части свечи, после чего гидроцилиндром 46 они могут быть несколько приподняты или опущены. Свечи устанавливаются в кассеты свечеприемного устройства.

<sup>1</sup> На схеме не показан.

Рис. 16.5. Кинематическая схема установки БА-25-ЛЭ:

1, 13 — электродвигатели; 2 — коробка передач; 3 — фрикционные гидромуфты; 4, 9, 21 — редукторы; 5, 6, 8 — зубчатые муфты; 7 — карданный вал; 10 — плунжерный насос; 11 — электромагнитная муфта; 12 — автомат подачи; 14 — тормозная шайба; 15 — тормоз поддона; 16 — планетарный механизм; 17 — лебедка; 18 — тормозная шайба; 19 — тахогенератор; 20, 50 — валы; 22 — блок ротора; 23 — зубчатая рейка; 24 — ротор; 25 — ключ; 26 — фрикцион; 27, 28, 46, 49, 62, 55 — гидродиллиндры; 29 — зажимное кольцо; 30 — планки; 31 — рычаги; 33, 48 — ускорители хода; 34 — натяжные пружины; 35 — вилка центра-тора; 36 — вентилятор; 38 — вилка; 39, 47 — направляющие; 40 — ходовые ролики; 41 — центратор; 38 — вилка; 42 — гидронакопитель; 43 — многоплунжерный насос; 44 — автоматический элеватор; 45 — каретка с вешалкой и щупом; 51 — зубчатая передача; 53 — подвижные ролики; 54 — неподвижные ролики.



Для центрирования нижней части свечи в процессе ее выноса на ось скважины свечеподающим устройством служит центратор 36. Перед выносом ведущей трубы в шурф направляющие 39 посредством гидроцилиндров 32 устанавливаются в наклонное положение. Преобразователи, находящиеся в каждом из блоков, обеспечивают поступление в систему управления соответствующих сигналов, которые преобразуются в команды на последующие действия механизмов.

Установка может работать в трех режимах:

- наладочном, при дистанционном управлении с кабины оператора;
- полуавтоматическом, с увеличенным числом выполняемых операций от одной команды;
- автоматическом.

### Назначение и конструктивные особенности блоков установки

Большинство механизмов установки выполнено в виде блоков, каждый из которых способен выполнять определенные операции. Блоки смонтированы на рамах, удобных для транспортировки, и снабжены электрогидросистемами для приводов. Связь между блоками осуществляется карданными валами, маслопроводами и электрокабелями.

**Блок привода.** В состав блока привода входят: электродвигатель 1 (тип АК 102-4М), коробка передач 2 и маслонасосная станция (см. рис. 16.6).

Коробка скоростей трехвальная, четырехступенчатая. Все валы пропущены через шариковые радиальные и роликовые радиально-упорные подшипники, способные воспринимать как осевые, так и радиальные нагрузки.

Шестерни первичного и вторичного валов находятся в постоянном зацеплении с шестернями промежуточного вала. При этом шестерни с жесткой посадкой зацеплены с шестернями свободной посадки. Включение шестерен свободной посадки производится фрикционными гидромуфтами 3. Гидромуфта состоит из бустера и серии металлических ведущих и металлокерамических ведомых дисков. При подаче масла в бустер диски сжимаются. Управление включением производится дистанционно с пульта буровщика — кнопкой или автоматически при воздействии электро-сигналов на магниты соответствующих золотников. Назначение маслонасосной станции — осуществлять смазку шестерен и подшипников коробки скоростей и подавать масло к гидромуфтам.

**Блок раздачи.** Механизмы блока раздачи смонтированы на общей раме. В состав этого блока входят: раздаточный редуктор 4, редуктор автомата подачи 12, электродвигатель 13, тахометр и промежуточный редуктор 9. Раздаточный редуктор обеспечивает передачу вращательного движения на ротор и лебедку как от основного электродвигателя, так и от вспомогательного, на случай аварии или отсутствия электроэнергии. Включение вспомога-

тельного электродвигателя производится электромагнитной муфтой (ЭМ-42) 11. Автомат подачи применен от установки БУ-50-Бр-1. Принцип его работы состоит в том, что при подаче бурового снаряда на забой поступательное движение через талевую систему, лебедку и редуктор преобразуется во вращательное, от которого осуществляется привод плунжерного насоса (НПА-64) 10.

На пути перекачиваемого масла установлен дроссель, обеспечивающий постоянное давление рабочей жидкости в тормозных гидравлических цилиндрах лебедки. Тахометр ДТМ-1<sup>1</sup> соединен с валом плунжерного насоса и служит для определения мгновенной скорости проходки.

Управление работой электромагнитной муфты, дросселем, а также включение и выключение электродвигателя (АО-63-6) осуществляются с центрального пульта управления.

**Блок лебедки.** На общей раме укреплены планетарный механизм и однобарабанная лебедка.

Внутри корпуса планетарного механизма находятся: водило с планетарными шестернями-сателлитами, зубчатый венец и солнечная шестерня.

На ведущем валу закреплена солнечная шестерня, от которой вращение передается трем сателлитам, свободно посаженным на оси водила. По внешнему ободу сателлиты охватываются зубчатым венцом, закрепленным на валу барабана лебедки. Планетарный механизм и барабан лебедки снабжены шкивами с тормозными колодками.

Тормоз планетарного механизма нормально разомкнут; при его включении вращательное движение сообщается барабану лебедки. Оба тормоза барабана лебедки нормально замкнутые; их включение осуществляется действием пружин сжатия, а выключение — гидравликой.

Управление гидроцилиндрами тормозов осуществляется автоматически или дистанционно из пульта оператора.

К свободному концу вала лебедки через угловой редуктор подключен тахогенератор 19, благодаря которому получают сигнал, пропорциональный частоте вращения барабана лебедки. Второй сигнал, пропорциональный заданной скорости спуска или подъема, выдается программным устройством через датчик. Оба сигнала — от датчика и тахогенератора — поступают на преобразователи, а затем на усилители — полупроводниковый и электромашинный. Усиленный сигнал управления воздействует на реверсивный двигатель, который управляет перемещением иглы дросселя.

При спуске или подъеме инструмента, если фактическая скорость отклонится от заданной, возникает разность сигналов, которая поступит на усилитель. В зависимости от фазы усиленного сигнала реверсивный двигатель заставит перемещаться иглу дросселя до тех пор, пока фактическая скорость не станет равной

<sup>1</sup> На схеме не показан.

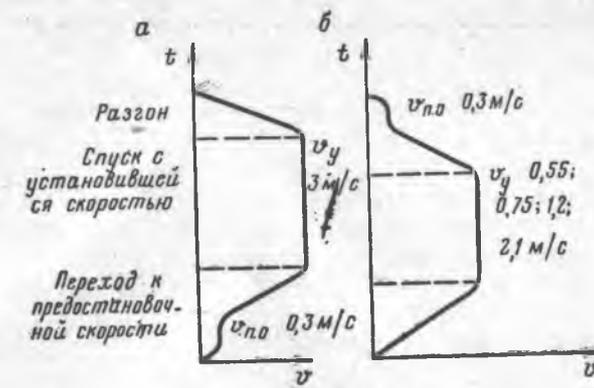


Рис. 16.7. Диаграмма скоростей спуска и подъема бурильных труб: а — режим спуска; б — режим подъема

заданной. Диаграмма скоростей спуска и подъема бурильных труб показана на рис. 16.7.

В систему автоматического управления лебедкой поступают следующие сигналы:

входной сигнал на спуск или подъем соответственно от преобразователей на элеваторе или трубодержателе;

сигналы, определяющие график скорости движения, — от конечных включателей, расположенных на направляющих, по которым движутся талевый блок и элеватор;

сигнал останова (при подъеме свечи) — индуктивного преобразователя, фиксирующего момент входа замка свечи в трубодержатель.

**Блок натяжения.** Блок натяжения является дополнением к лебедке и представляет собой талевую систему, состоящую из двух пар роликов. Одна пара роликов (см. рис. 16.6) 54 укреплена на неподвижных осях, а вторая 53 вместе с кареткой может перемещаться гидравлическим цилиндром 55 по направляющим рамы, обеспечивая при этом малые точные перемещения талевого блока с целью:

припусков или приподъемов свечи или ведущей трубы в процессе спуско-подъемных операций;

разгрузки резьбовых соединений при свинчивании и развинчивании свечей.

На раме блока натяжения установлены путевые переключатели и сливной золотник, определяющий ход и скорость перемещения каретки в автоматическом цикле.

**Талевый блок с элеватором.** Талевый блок с элеватором представляют собой единый узел с целым рядом оригинальных конструктивных решений.

Перемещение талевого блока вверх и вниз осуществляется благодаря двум канатным роликам, подвешенным на рабочих вет-

вах талевой системы, и четырех ходовых роликов 40, входящих в пазы направляющих.

В правом и левом отсеках корпуса талевого блока размещено устройство по аккумуляции энергии, необходимой для раскрытия и закрытия элеватора. Это устройство состоит из многоплунжерного насоса 43, закачивающего масло в пневмогидравлический аккумулятор 42. Привод насоса производится эксцентриком от одного из роликов талевого блока.

Гидропневмоаккумулятор представляет собой герметический баллон емкостью 90 л, заполненный сжатым воздухом. Дополнительное давление на сжатый воздух создается нагнетаемым маслом через разделительный поршень.

При зарядке пневмогидроаккумулятора в нем устанавливается рабочее давление 3 МПа. Энергии сжатого воздуха достаточно для однократного открытия и закрытия плашек элеватора. Внутри элеватора находится подвижной поршень. Давлением масла он может подниматься или опускаться, увлекая за собой плашки.

Так как плашки Т-образными выступами связаны с пазами наклонных направляющих, то, двигаясь вверх или вниз, они одновременно будут сходиться или расходиться, осуществляя фрикционный захват бурильных труб. Для безударной посадки элеватора на торец свечи и полной его остановки элеватор снабжен электромеханическим преобразователем.

Управление элеватором осуществляется через троллеи, проложенные вдоль направляющих, и токосъемники, находящиеся на корпусе талевого блока.

*Блок ротора.* Блок ротора предназначен для: передачи вращательного движения колонне бурильных труб; свинчивания и развинчивания свечей; удержания бурильной колонны на весу при свинчивании и развинчивании свеч.

Все механизмы блока ротора установлены на общих салазках и закрыты общим кожухом.

В составе блока ротора находятся такие механизмы и устройства:

собственно ротор, ключ для свинчивания и развинчивания, трубодержатель, устройство для останова колонны бурильных труб при подъеме, привод механизмов, маслонасосная станция.

В верхней части корпуса блока ротора на радиально-упорных подшипниках размещена планшайба, оснащенная с внешней стороны зубчатым венцом.

В зависимости от выполняемой работы вращение на планшайбу может передаваться от трех источников энергии:

в процессе бурения — от основного привода;

при свинчивании и развинчивании труб — от гидравлического двигателя<sup>1</sup>;

<sup>1</sup> На схеме не показан.

при страгивании резьбы — от гидропривода, представленного гидроцилиндром с зубчатой рейкой 23.

На корпусе планшайбы закреплен стол ротора, в квадратное отверстие которого вставлены вкладыши.

Во внутренней части планшайбы подвижно установлена опора ключа. Это сделано для того, чтобы ключ мог несколько подниматься или опускаться при свинчивании или развинчивании труб. Ключ 25 планетарного типа с самозатягивающимися зажимными секторами.

Включение ключа происходит при торможении осей секторов посредством дискового тормоза с гидравлическим включением.

Трубодержатель представляет собой клиновой зажим, расположенный в нижней части блока. Он состоит из зажимного кольца 29, подвижных плашек 30, двухплечих рычагов 31 и двух приводных гидроцилиндров 28. При подаче жидкости в соответствующие полости гидроцилиндров происходит поднятие или опускание зажимного кольца. Так как внутренняя поверхность кольца и внешняя поверхность плашек скошены, при перемещении кольца плашки сводятся или разводятся. Наличие двухплечих рычагов позволяет осуществлять предварительное сведение плашек при захвате труб и значительно раскрывать их при подъеме, пропуская при этом не только бурильные трубы, но и породоразрушающий инструмент.

Освобождение бурильных труб трубодержателем возможно только после передачи веса колонны на элеватор.

Для достижения высокой точности остановки замка свечей между ключом и трубодержателем в трубодержателе помещен индуктивный преобразователь. Две катушки этого преобразователя являются плечами мостовой схемы. При прохождении через корпус преобразователя замка с кольцом из диаманитного материала (алюминий) происходит разбаланс моста. С помощью фазочувствительного усилителя и реле в систему управления тормозами лебедки передается команда «Стоп». Чтобы реле не сработало от ложного сигнала, предусмотрено его включение только на малой (предостановочной) скорости.

*Направляющие талевого блока и центратор.* Направляющие 39 (см. рис. 16.6) состоят из параллельно расположенных двутавровых балок, по которым перемещается талевый блок с элеватором. Правая и левая направляющие имеют аналогичную конструкцию и состоят из трех стыкуемых секций. Верхние концы направляющих шарнирно укреплены на подкронблочной раме. К нижним концам посредством натяжных пружин 34 подсоединены ускорители хода 33 с гидроцилиндрами 32, благодаря которым направляющие могут занимать вертикальное или наклонное положение. Вертикальное положение направляющих обеспечивает движение талевого блока с элеватором строго по оси скважины, а наклонное используется для выноса ведущей трубы в шурф.

Вдоль направляющих проложены троллеи и установлены конечные выключатели для передачи команд на талевый блок и элеватор.

На нижней секции направляющих находится центратор 36, которым осуществляется центрирование свечи при подаче ее свечеподающим устройством на ось скважины.

Вилки центратора 35 в процессе работы могут занимать вертикальное, наклонное и горизонтальное положение. В наклонном положении вилки улавливают свечу, а в горизонтальном — центрируют. Движение вилок обеспечивается гидроцилиндрами 37.

**Блок свечеподачи.** В состав блока свечеподачи входят правый и левый свечеприемники, прикрепленные к металлоконструкциям вышки, и свечеподающее устройство. Свечеприемники имеют по три радиально размещенные кассеты, в каждой из которых может поместиться по 26 свечей.

Свечеподающее устройство имеет полярную систему движения и состоит из клещей со щупом, толкателя, механизма поворота и механизма приспуска и приподъема клещей. Вал 50 с направляющими толкателя поворачивается зубчато-реечной передачей 51, приводимой в действие гидроцилиндром двойного действия 52.

По направляющим толкателя 47 гидроцилиндром 49 с ускорителем хода 48 перемещается каретка.

На каретке укреплены: щуп, клещи 45 и механизм приспуска и приподъема клещей 46. Щуп по отношению к клещам выдвинут вперед. При движении каретки он первым соприкасается со свечой и посредством преобразователя дает команду толкателю на предостановочную скорость. Одновременно срабатывают клещи, осуществляя фрикционный захват свечи. Зажим клещей производится гидравлическим цилиндром, а разжим — пружинами.

Механизмом приспуска и приподъема свеча несколько приподымается перед переносом ее с подсвечника на ротор и затем опускается при попадании конуса замка в муфту.

Приподъем выполняется гидроцилиндром, а приспуск происходит под действием собственного веса свечи.

Привод всех механизмов блока свечеподачи обеспечивается работой пяти гидравлических цилиндров. Силовым агрегатом является маслонасосная станция, устанавливаемая на специальной площадке свечеподачи.

**Подсвечник.** На подсвечник устанавливаются нижние концы свечей. В отличие от свечеприемников, в которых кассеты расположены радиально, отсеки подсвечников расположены параллельно.

При переносе свечи от устья скважины она вначале нижним концом попадает в поперечный ручей, а затем в один из отсеков. После того как будет заполнен наиболее отдаленный отсек, ручей перекрывается клапаном, и в дальнейшем свечи будут поступать только во второй, а затем третий ближний отсек.

В начале и конце каждого отсека установлены рычажные ме-

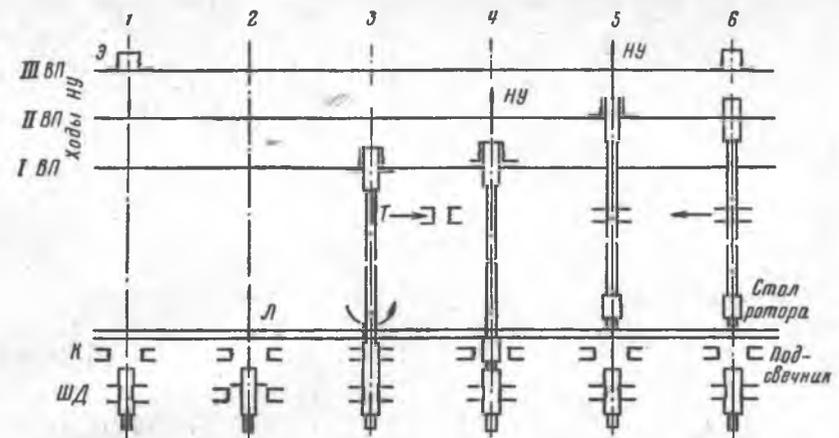


Рис. 16.8. Цикл подъема свечи:

ШД — трубодержатель; НУ — натяжное устройство; Т — толкатель свечеподающего устройства; Л — лебедка; К — ключ; Э — элеватор; I ВП, II ВП, III ВП — соответственно первое, второе и третье верхние положения

ханизмы. Воздействуя на конечные выключатели, они тем самым регулируют заполнение и освобождение отсеков.

Работа подсвечника и свечеприемника скоординирована.

При освобождении отсека и снятии последней свечи с педали рычажного механизма подается команда свечеподающему устройству о переключении его на соседнюю кассету свечеприемника.

При работе в холодное время подсвечник обогревается, что исключает образование льда на замках.

### Примеры автоматизированных процессов выполняемых установкой БА-25-ЛЭ

Установка БА-25-ЛЭ позволяет автоматизировать спуско-подъем бурильных труб (свечей), наращивание бурильных труб, спуско-подъем ведущей трубы.

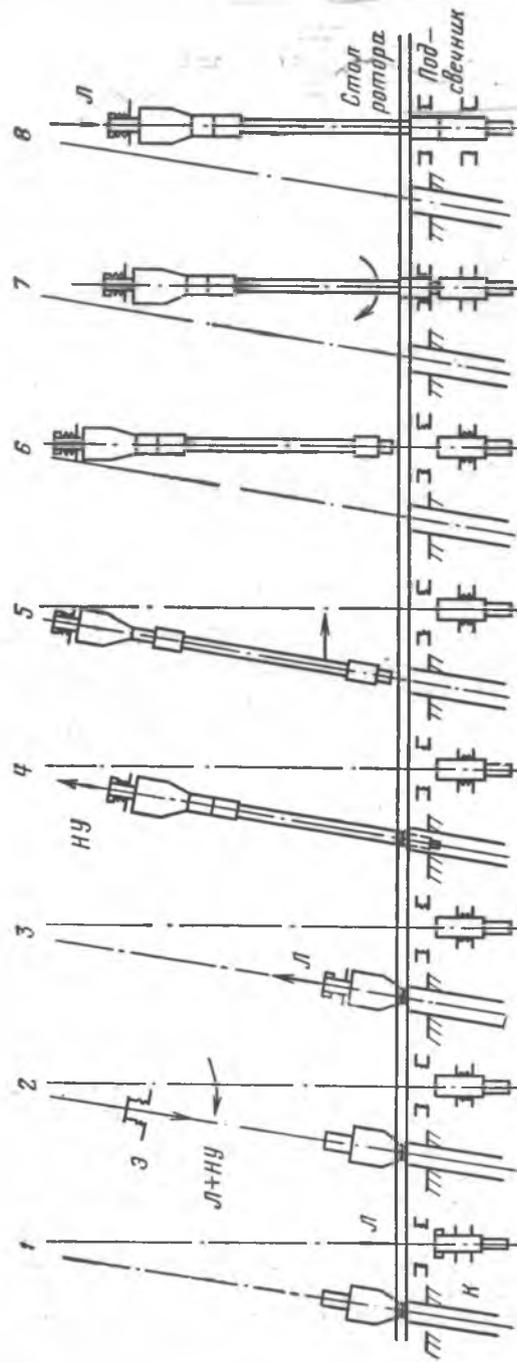
В качестве примера рассмотрим два цикла: подъем свечи и подъем ведущей трубы.

**Цикл подъема свечи.** Этот цикл может быть охарактеризован шестью положениями, показанными на рис. 16.8.

**Положение 1.** Часть колонны бурильных труб опущена в скважину и удерживается на весу трубодержателем ШД. Секторы ключа К подготовлены к операции «развинчивание». Элеватор и талевый блок находятся в крайнем верхнем положении.

**Положение 2.** Элеватор и талевый блок лебедкой опускаются вниз. Точная постановка элеватора на замок свечи выполняется натяжным устройством. Элеватор захватывает бурильные трубы, а трубодержатель — освобождает.

**Положение 3.** Талевый блок, элеватор и лебедка Л производят подъем свечи. Остановка при подъеме происходит по команде от



индуктивного преобразователя. Натяжное устройство разгружает талевый канат, и нагрузка от веса колбы бурильных труб передается на трубодержатель.

Положение 4. Ключ отвинчивает свечу и одновременно разгружает резьбовое соединение.

Положение 5. Натяжным устройством *НУ* свеча приподымается над столом ротора. Клещи толкателем подаются на ось скважины и захватывают свечу, после чего элеватор освобождается.

Положение 6. Натяжным устройством элеватор снимается со свечи. Свечеподающее устройство переносит свечу в свечеприемник, а остальные механизмы повторяют положение 1.

*Цикл спуска ведущей трубы.* Работа установки в этом цикле показана на рис. 16.9.

Свечеподающее устройство в выполнении этого цикла не участвует и не должно находиться на оси скважины.

Положение 1. Ведущая труба находится в шурфе. Направляющие талевого блока в вертикальном положении. На-

Рис. 16.9. Цикл спуска ведущей трубы:  
К — ключ; Э — элеватор; Л — лебедка; НУ — натяжное устройство

тяжное устройство подготовлено к операции спуска ведущей трубы.

Положение 2. Талевый блок и элеватор поднимаются лебедкой на высоту, соответствующую длине ведущей трубы. Направляющие отклоняются от вертикали и устанавливаются по оси шурфа.

Положение 3. Элеватор опускается лебедкой к устью шурфа. Натяжным устройством достигается точная постановка элеватора на выступ вертлюга, после чего происходит его захват.

Положение 4. Ведущая труба лебедкой извлекается из шурфа. Перед выходом нижнего конца трубы из шурфа центратор переходит в горизонтальное положение и удерживает конец трубы в плоскости направляющих.

Положение 5. Натяжным устройством ведущая труба полностью извлекается из шурфа.

Положение 6. Направляющие совместно с талевым блоком, элеватором и центратором переходят из наклонного положения в вертикальное.

Положение 7. Натяжным устройством ведущая труба опускается до постановки ее нижнего конца в муфту бурильной трубы.

Положение 8. Ключом *К* ведущая труба соединяется с колонной бурильных труб, после чего трубодержатель раскрывается.

#### Автоматизированная буровая установка Уралмаш-125А

В настоящее время в Гомельской области БССР проходят промышленные испытания новая буровая установка Уралмаш-125А, созданная ВИТР, ВНИИЭП и заводом Уралмаш.

Технико-экономические обоснования на создание этой установки разработаны МГ СССР.

По своим технико-экономическим показателям и степени автоматизации работ установка Уралмаш-125А является еще более совершенной, чем установка БА-25-ЛЭ.

Характерными особенностями этой установки являются:

1. Полная автоматизация: поддержания заданных параметров режима бурения; спуско-подъемных операций, включая спуск-подъем одиночных бурильных и утяжеленных труб, спуск-подъем ведущей бурильной трубы, первичного приготовления промывочного раствора по заданному удельному весу; обработки промывочного раствора химическими реагентами.

2. Частичная автоматизация: смены долота; спуска обсадных труб; сборки и разборки бурильной колонны.

Управление установкой возможно в трех режимах: пооперационном (наладочном), цикловом автоматическом (полуавтоматическом), автоматическом.

В качестве привода буровой лебедки и ротора применяются электродвигатели постоянного тока, обеспечивающие бесступенчатое регулирование частоты вращения.

В составе буровой установки наряду с серийным технологическим оборудованием (вышка, основание, ротор, буровые насосы, кронблок, дизельный агрегат, компрессоры и др.) применяется совершенно уникальное оборудование, обеспечившее высокий уровень механизации и автоматизации.

1. Комплекс механизмов для подачи бурильных труб на скважину, состоящий из: автоматизированного трубоукладчика с автоматическим захватом труб, эстакады с автоматическими вертикальными стеллажами для бурильных труб и УБТ, манипулятора.

2. Комплекс механизмов для подачи свеч, состоящий из свечеподающего устройства, свечеприемников, автоматического подсвечника.

3. Механизм подачи ведущей бурильной трубы с оси скважины к шурфу и обратно.

4. Комплекс устройств для работы с обсадными трубами.

5. Комплекс оборудования для приготовления и обработки промывочного раствора.

6. Гидроблок с насосным и распределительным оборудованием, обеспечивающий привод гидрофицированных механизмов установки и др.

## Глава 17

### ОСНОВНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Горные и горно-разведочные работы относятся к категории наиболее трудоемких, физически тяжелых, позволяющих обеспечить лишь минимальное (по сравнению с другими работами) количество элементов комфорта. Поэтому для повышения производительности и ликвидации тяжелого физического труда на этих работах широко внедряются механизация и автоматизация основных и большинства вспомогательных операций.

Автоматизация технологических процессов на шахтах и рудниках может быть классифицирована по следующим основным разделам:

автоматизация выемочных машин;

автоматизация подземного транспорта — конвейерных линий, погрузочных пунктов, разгрузки вагонеток в околоствольных дворах;

автоматизация установок гидромеханизации — выемка руд, гидротранспорта, дробления крупных кусков, гидроподъема, насосных станций;

автоматизация шахтных и рудничных водоотливных установок;

автоматизация шахтной и рудничной вентиляции;

автоматизация работ на поверхности шахт и рудников — обмена вагонеток, лебедок породных отвалов, компрессорных станций, калориферных установок, зарядки индивидуальных аккумуляторных светильников.

При проходке горно-разведочных выработок, обладающих небольшим сечением, малой протяженностью, ограниченным сроком службы и рядом других отличительных особенностей, степень автоматизации не может достигать таких же размеров, как при эксплуатации шахт и рудников. При проведении горно-разведочных работ наиболее целесообразно автоматизировать водоотливные, подъемные, вентиляционные и компрессорные установки.

### § 1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВОДООТЛИВА ИЗ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Автоматизация водоотливных установок должна обеспечить автоматическое выполнение следующих операций:

заливку насосов водой перед пуском;

пуск и остановку насосов в зависимости от изменения уровня воды в водосборнике;

контроль за режимом работы насосных агрегатов;

остановку неисправного насосного агрегата и включение резервного;

электрическую защиту двигателей насосных агрегатов;

простой и быстрый переход с автоматического управления на ручное.

Шахтные водоотливные установки подразделяются на главные и вспомогательные.

Главная водоотливная установка обеспечивает откачку всего притока воды шахты (горизонта), на ней устанавливается не менее трех насосов.

К вспомогательным относятся участковые, проходческие и зумфовые установки. Участковая установка откачивает воду с одного или нескольких участков шахты в главный водосборник.

В водоотливных установках малой мощности при условии присутствия вблизи установки дежурного персонала может применяться простейшая схема автоматизации (рис. 17.1). В состав схемы входят насосный агрегат, штанговый преобразователь для определения уровня, магнитный пускатель, реле и сигнальные лампы.

3 При повышении уровня воды до заданного предела поплавок 1 со штангой 2 поднимаются, и рычаг штанги 3 нажимает кнопку «Пуск». При этом электромагнит пускателя срабатывает, его контакты Э замыкаются и подключают сеть трехфазного тока к двигателю М, насосный агрегат начинает откачивать воду. Одновременно срабатывает реле Р и загорается красная сигнальная лампа Л1; при необходимости может включаться также звуковой сигнал (звонок или сирена).

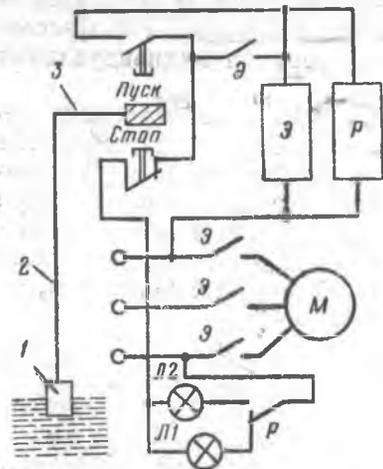


Рис. 17.1. Простейшая схема автоматизации водоотливной установки

Благодаря блокировочным контактам Э цепь электромагнита остается замкнутой, и насос продолжает работать и после того, как рычаг Э перестанет нажимать на кнопку «Пуск» в результате понижения уровня воды.

Когда уровень воды понизится до заданного значения, поплавки опустятся, и рычаг штанги нажмет на кнопку «Стоп». Электромагнит пускателя и реле обесточатся, контакты Э разомкнутся,

отключат двигатель от сети, и насосный агрегат остановится. Контакты Р замкнут цепь лампы Л1 и цепь зеленой лампы Л2.

Так как кнопка «Стоп» имеет самовозврат, то после того как рычаг Э перестанет на нее нажимать, ее контакты снова замкнутся и тем самым подготовят цепь пуска; замкнется же эта цепь только тогда, когда уровень воды вновь повысится до установленного предела.

Главные и мощные участковые водоотливные установки автоматизируются с помощью специальной комплексной аппаратуры типа УАВ, АВВ-3М, АВН-1М, в состав которой входят различные преобразователи, реле, электроприводы, коммутационные устройства и др.

Аппаратура автоматизации водоотливных установок, оборудованных насосными агрегатами с низковольтными (380/660 В) двигателями, обеспечивает автоматическое включение и отключение каждого из трех насосов, поочередную работу насосов, автоматическое отключение неисправного насоса и включение резервного, одновременную работу двух насосов при аварийном уровне воды, дистанционный контроль уровня воды в водосборнике, сигнализацию об аварийном уровне, о неисправности насосов, о наличии питания аппаратуры, приведение аппаратуры в исходное положение при снятии и повторной подаче напряжения, дозирование заливки насосов по времени, защиту от гидравлической неисправности и перегрева подшипников насосов, электрическую защиту двигателей и пусковой аппаратуры.

Аппаратура автоматизации водоотливных установок, оборудованных насосными агрегатами с высоковольтными (3 или 6кВ) двигателями, дополнительно обеспечивает возможность дистанционного пуска и остановки насосных агрегатов при понижении уровня воды в пределах регулируемой емкости водосборника, контроль подачи насосов и сигнализацию о неисправности при умень-

шении подачи на 15—20 % по сравнению с оптимальной, защиту от гидравлического удара.

Аппаратура обеих групп обеспечивает также возможность простого и быстрого перевода с автоматического управления на ручное.

В центробежных насосах, работающих в автоматизированных системах, должна предусматриваться автоматическая заливка их перед пуском. Такая заливка может осуществляться сифонным способом (заливка из вышележащих горизонтов), устройством заглубленных насосных камер, с помощью баковых аккумуляторов, из нагнетательного трубопровода или с помощью вспомогательных насосов. Последний способ считается лучшим.

## § 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Шахтные подъемные установки являются одним из важнейших объектов автоматизации в угольной и горнорудной промышленности и на горно-разведочных работах. Автоматизация обеспечивает точное выполнение заданной программы скорости движения (тахограммы) и выдерживания пауз, во время которых осуществляется загрузка и разгрузка подъемных сосудов, благодаря чему увеличивается производительность и повышается эксплуатационная надежность подъемных установок.

подавляющее большинство шахтных подъемных установок приводится в действие асинхронными двигателями. Как известно, основным способом регулирования скорости такого двигателя является изменение сопротивления в цепи его ротора. Поэтому для подъемных установок применяют асинхронные двигатели не с короткозамкнутым, а с фазным ротором, в обмотки которого можно включать регулировочный реостат.

В зависимости от типа применяемого подъемного сосуда (скип, клеть и т. д.) и глубины выработки процесс подъема разбивается на то или иное число периодов.

Так, например, в шестипериодной диаграмме скоростей (рис. 17.2) различают:

1) движение приемного сосуда в разгрузочных кривых; 2) разгон сосуда с ускорением порядка  $0,8 \text{ м/с}^2$ ; 3) равномерное движение; 4) замедление порядка  $1 \text{ м/с}^2$ ; 5) дотягивание подъемного сосуда; 6) стопорение.

Автоматизация периода разгона осуществляется с помощью схем релейного действия путем изменения пусковых сопротивлений в цепи роторных обмоток; при этом в процессе разгона пусковые сопротивления выводятся через определенные промежутки времени (регулировка в функции времени) в зависимости от величины ускорения (регулировка в функции ускорения) или в зависимо-

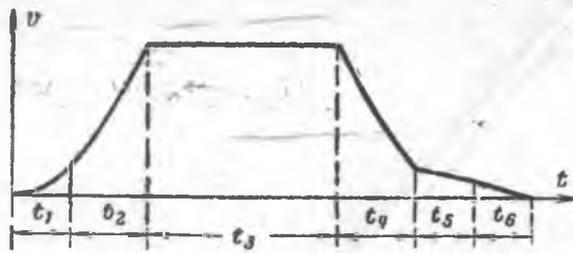


Рис. 17.2. Шестипериодная диаграмма скоростей движения подъемного сосуда

сти от ускорения и нагрузки двигателя (регулировка в функции ускорения и тока).

В период равномерного хода частота вращения ротора асинхронного двигателя практически не изменяется (жесткая характеристика), и поэтому здесь специальные средства автоматизации не требуются. В этот период осуществляется только контроль и ограничение скорости с тем, чтобы она не превысила максимально допустимую.

Автоматизация замедления осуществляется по замкнутой системе регулирования с применением динамического торможения. В период дотягивания, т. е. при переходе подъемных сосудов к грузочным и разгрузочным устройствам, автоматизация может обеспечиваться:

- 1) дополнительными элементами схемы динамического торможения;
- 2) применением специальных импульсных схем, позволяющих переключать подъемный двигатель с тормозного режима на двигательный и обратно и тем самым с большой точностью регулировать скорость при входе подъемного сосуда в разгрузочные кривые;
- 3) применением микропривода с двигателем, мощность которого составляет около 10 % мощности главного двигателя; такой микродвигатель включается одновременно с отключением от сети главного двигателя и переводом его в режим динамического торможения.

Стопорение подъемных сосудов осуществляется с помощью индукционных или конечных выключателей.

### § 3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИИ

Вентиляторные установки, обеспечивающие подачу свежего воздуха в шахты и забои, являются одним из важнейших производственных комплексов шахты или рудника. В задачи автоматизации вентиляционных установок входят:

дистанционный пуск, остановка и переключение электродвигателей вентиляторов;

управление устройством для реверсирования воздушной струи; контроль за режимом работы установок; аварийная остановка вентилятора при возникновении ненормального режима.

В зависимости от назначения различают вентиляторные установки главного и флангового проветривания и шурфовые. Для установок главного проветривания в настоящее время применяется преимущественно аппаратура УКВГ, обеспечивающая автоматизацию одной вентиляторной установки, удаленной от шахты на расстояние не более 2 км, а для шурфовых установок — аппаратура АДШВ, обеспечивающая автоматизацию до 12 вентиляторных установок (в том числе двух — главного проветривания), удаленных от шахты до 5—6 км.

Аппаратура УКВГ обеспечивает:  
дистанционное и местное управление приводными двигателями вентиляторов и реверсирующими устройствами;  
световую сигнализацию у диспетчера о работающем вентиляторе, и наличии напряжения в цепях дистанционного управления;  
световую и звуковую сигнализацию об аварийной обстановке вентилятора, об отклонении производительности и депрессии от заданных предельных значений и о перегреве подшипников и статорных обмоток;  
контроль расхода воздуха и депрессии в вентиляторном канале с непрерывной регистрацией параметров.

### § 4. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

Автоматизация передвижных компрессорных установок, используемых на геологоразведочных работах, позволяет повысить их коэффициент полезного действия и снизить себестоимость сжатого воздуха. В зависимости от условий эксплуатации предусмотрены три степени автоматизации.

Первая степень автоматизации обеспечивает контроль за давлением в первой и второй ступенях компрессорной установки, системой смазки и системой охлаждения. В схему автоматизации входят четыре реле и четыре преобразователя: преобразователи для контроля струи охлаждения и давления первой ступени, преобразователь, предназначенный для контроля состояния клапанов, установленный между нагнетательными клапанами первой ступени и всасывающими клапанами второй ступени, и преобразователь для контроля уровня масла в картере.

После нажатия пусковой кнопки схема при помощи реле времени блокируется на 18—20 с, в течение которых давление в первой ступени и охлаждающая струя достигают установленных значений. В дальнейшем, когда один из контролируемых параметров выходит из пределов регулирования, срабатывает исполнительное реле и своими контактами размыкает цепь управления магнитного пускателя, в результате чего компрессор останавливается.

Вторая степень автоматизации, кроме того, обеспечивает возможность дистанционного пуска и остановки компрессора с места потребления сжатого воздуха на расстоянии 300—400 м.

Третья степень автоматизации кроме выполнения функций второй должна также обеспечивать работу компрессорной установки без обслуживающего персонала в течение 200—300 ч, в том числе подготовительные работы для пуска в холодное время года.

## Глава 18

### АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТ В РЕМОНТНЫХ МАСТЕРСКИХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

Перед каждым видом ремонтных баз геологоразведочных организаций — РМЗ, ЦРММ, РММ<sup>1</sup> стоят следующие специфические задачи:

- ремонт горно-бурового и транспортного оборудования;
- изготовление индивидуального и несерийного оборудования;
- изготовление специализированного (аварийного, породоразрушающего и др.) инструмента;
- изготовление запасных частей и механизмов;
- термическая обработка бурильных труб и породоразрушающего инструмента и др.

Перечень выполняемых работ на ремонтных базах свидетельствует о том, что основным видом работ являются ремонт оборудования и несерийное изготовление различных деталей и инструментов, в связи с чем перед такими организациями не стоит вопрос о внедрении комплексной автоматизации.

Однако в ряде случаев может оказаться экономически оправданным применение частичной автоматизации и отдельных автоматических устройств. Как правило, такие устройства и отдельные установки создаются новаторами производства или разрабатываются конструкторскими бюро ремонтных баз. Крайне редко на таких базах встречаются станки-автоматы серийного производства. Характерной особенностью автоматических устройств, применяемых при обработке металлов, является то, что наряду с применением средств автоматики для получения, преобразования и использования информации широко применяются простейшие автоматические устройства в виде кулачков и копиров, обеспечивающих заданную скорость, направление и последовательность операций.

<sup>1</sup> РМЗ — ремонтно-механический завод; ЦРММ — центральные ремонтно-механические мастерские; РММ — ремонтно-механические мастерские.

Процесс изготовления каркасов для фильтров является однотипным и весьма трудоемким. Как известно, он заключается в фрезеровании, сверлении, штамповке или резке автогеном круглых отверстий или продолговатых щелей в трубных заготовках из металла, асбоцемента, пластмассы и других материалов.

Наибольшее распространение получили сверление отверстий и фрезерование щелей. Однако при частичной механизации производительность этих работ незначительна: до 6 отверстий в минуту.

Для повышения производительности при сверлении отверстий, облегчения и экономии труда обслуживающего персонала в ЦРММ Управления геологии при Совете Министров Грузинской ССР создан автомат, полностью исключая применение ручного труда. Внедрение этого автомата на производстве позволило повысить производительность труда в 2,5 раза.

#### Кинематическая схема и принцип действия автомата для сверления трубчатых каркасов под фильтры

Кинематическая схема автомата для перфорации труб дана на рис. 18.1.

Автомат состоит из следующих основных узлов: станины, суппорта с кареткой, механизма подачи, двух сверлильных станков Н-12, приводов и распределительного вала.

Станина автомата подобна станине трубонарезного станка, снабжена направляющими, по которым механизмом подачи перемещается суппорт. Внутри суппорта находится шпиндель 2 с кулачками 3 для зажима перфорируемой трубы. Периодически суппорт с кареткой и шпинделем сообщают трубе поступательное и поворотное движения, что позволяет вести сверловку отверстий по винтовым линиям.

От электродвигателя 18 через червячный редуктор 17 вращательное движение передается распределительному валу 16, на котором находятся три кулачка. Два кулачка 27 на валу укреплены жестко, а кулачок 13 может перемещаться вдоль вала благодаря скользящей шпонке. При вращении распределительного вала кулачок 13 через ролик 14 поворачивает коромысло 11, которое своим вторым концом перемещает тягу 5 с собачкой 10. При движении собачки вправо оно поворачивает храповик 9 и сидящую с ним на одном валу шестерню 8. При повороте кулачка на 180° собачка возвращается в исходное положение пружиной 6, помещенной на тяге 5. От шестерни 8 вращательное движение последовательно передается на шестерни 4 и 15. Шестерня 4 поворачивает шпиндель и перфорируемую трубу, а шестерня 15 через скользящую шпонку вращает винт подачи 19, опирающийся своими концами на подшипники.

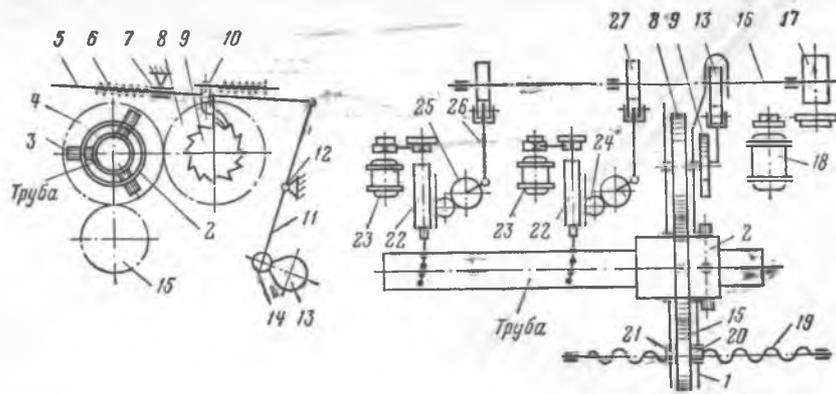


Рис. 18.1. Кинематическая схема автомата для перфорации труб:  
 1 — каретка шпинделя; 2 — шпиндель; 3, 13, 27 — кулачки; 4, 8, 15, 24 — шестерни; 5, 26 — тяги; 6 — пружина; 7 — подшипник; 9 — храповик; 10 — собачка; 11 — коромысло; 12 — шарнир; 14 — ролики; 16 — вал; 17 — редуктор; 18, 23 — электродвигатели; 19 — винт подачи; 20, 21 — разрезные гайки; 22 — сверлильные станки; 25 — зубчатые секторы

В щеках каретки расположены разрезные гайки 20, 21, которые при вращении винта подачи обеспечивают каретке, а значит и шпинделю, поступательные движения.

Положение кулачков на распределительном валу отрегулировано так, что после поворота и подачи перфорируемой трубы посредством тяг 26, зубчатых секторов 25 и шестерен подачи 24, опускаются шпиндели сверлильных станков 22 и происходит сверление отверстий.

Частота вращения шпинделей сверлильных станков и частота вращения распределительного вала регулируются шкивами клиноременных передач, а угол поворота перфорируемой трубы — числом зубьев сменного храповика 9.

Подача трубы с поворотом и сверление отверстий чередуются до тех пор, пока каретка шпинделя не дойдет до сверлильного станка, установленного на середине станины (ход 2000 мм), после чего автомат остановится. Открыв кулачки 3 и разведя гайки 20, 21, маховичком вращают шестерню<sup>1</sup>, которая перекачивается по зубьям рейки и откатывает каретку со шпинделем в исходное положение, после чего закрепляют кулачки и включают автомат.

#### Техническая характеристика автомата

Диаметр отверстий, мм	4—10
Возможное число отверстий за один оборот трубы, шт	9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 24
Шаг винтовой линии, мм	16, 20, 24, 28
Диаметры перфорируемых труб, мм	50—168
Длина перфорируемых труб, м	10—12

<sup>1</sup> На схеме не показана.

#### Материал труб

Сталь, асбоцемент, полиэтилен и др.  
16, 23, 30, 37, 44

Число отверстий, просверливаемых в 1 мин, шт  
 Мощность электродвигателей, кВт:  
 привод подачи 1,7  
 сверлильные станки 2×0,65  
 насос охлаждения 0,125  
 Габаритные размеры, мм:  
 длина 3000  
 ширина 250  
 высота 1700

## § 2. АВТОМАТ ДЛЯ ЗАКАЛКИ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

Термическая обработка бурильных и колонковых труб существенно (в 5—10 раз) повышает их износостойкость, что особенно важно при бурении сильно абразивных пород.

На практике получила широкое распространение закалка труб токами высокой частоты.

Сущность высокочастотного индукционного нагрева заключается в использовании явлений электромагнитной индукции, поверхностного эффекта и теплового действия тока.

В металле (трубах), помещенном в магнитное поле индуктора, возникает электродвижущая сила, равная

$$E = 4,44fn\Phi \cdot 10^{-8}, \quad (18.1)$$

где  $\bar{E}$  — электродвижущая сила, В;  $f$  — частота тока в индукторе, Гц;  $n$  — число витков индуктора;  $\Phi$  — магнитный поток, Вб.

Под действием электродвижущей силы в металле труб возникает ток

$$I = E/Z, \quad (18.2)$$

где  $I$  — ток, А;  $E$  — электродвижущая сила, В;  $Z$  — полное сопротивление металла труб, Ом.

При прохождении тока через металл трубы происходит ее нагрев. Глубина нагрева зависит от плотности тока. Наибольшая плотность тока будет в поверхностном слое под индуктором. По мере удаления вглубь плотность тока<sup>1</sup>, а следовательно, и глубина нагрева уменьшаются.

Глубина нагрева может быть определена по формуле

$$\delta = 5,03 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \quad (18.3)$$

где  $\delta$  — глубина нагреваемого слоя, см;  $\rho$  — удельное сопротивление металла труб Ом · см;  $\mu$  — магнитная проницаемость, Ом · с/см;  $f$  — частота тока, Гц.

<sup>1</sup> Плотность тока зависит от частоты тока, магнитной проницаемости и удельного сопротивления материала труб.

Для приближенных вычислений глубины нагрева стали можно пользоваться формулой

$$\delta = 50/\sqrt{f}. \quad (18.4)$$

Для закалки труб токами высокой частоты известны вертикальные установки конструкций ЦКБ, Уральского геологического управления и др. Общим недостатком перечисленных установок является то, что в них много тратится времени на подготовительные операции. Конструкторским бюро объединения Ворошиловградгеология разработана горизонтальная высокопроизводительная автоматизированная установка для закалки труб токами высокой частоты, позволяющая повысить производство труб до 270 м в смену. Принципиальная схема установки для закалки бурильных труб дана на рис. 18.2.

На верхней наклонной раме стеллажа 1, изготовленного из труб диаметром 89 мм, укладывается 100—150 шт. бурильных труб. В нижней части стеллажа, куда до упоров 2 скатываются бурильные трубы, расположен механизм подачи труб на роликовый транспортер. Этот механизм состоит из электродвигателя 3 с редуктором 4, кривошипно-шатунного механизма 5 и отсекателя 6. Отсекатель имеет форму рамы, две планки которой с одной стороны шарнирно прикреплены к упорам 8 роликового транспортера, а с другой скреплены между собой стяжным болтом и соединены шатуном. Фасонные выступы свободных концов планок отсекателя при подъеме захватывают бурильную трубу и перебрасывают ее через упор 2 на роликовый транспортер 7. Ролики транспортера по отношению к продольной оси опорных балок установлены наклонно, что при их вращении сообщает бурильным трубам не только поступательное (1 м в 1 мин), но и вращательное (42—44 мин<sup>-1</sup>) движение. Привод роликов осуществляется от электродвигателей 10 и 16 через приводные валы с коническими шестернями. В средней части транспортера размещен трубчатый кольцевой индуктор 11, подключенный к электронному генератору высокочастотной установки ЛПЗ-670 (или ЛПЗ-2-67 м) 12.

При проходке бурильных труб через индуктор происходит их нагрев. Рядом с кольцом индуктора расположено трубчатое кольцо, через отверстия которого подается охлаждающая вода, обеспечивая непрерывно-последовательный метод закалки. Циркуляция воды обеспечивается центробежным насосом, установленным в баке 9. В связи с тем, что подача бурильных труб совмещена с вращением, закалка происходит по винтовой линии с шагом 20—22 мм (10—12 мм сырая зона и 8—10 мм закаленная) на глубину примерно 1 мм. Двигаясь по роликам, бурильная труба в конце транспортера упирается в отбойную планку 19, за которой находится пружина 17 и концевой выключатель 18. При нажатии отбойной планки на выключатель срабатывают реле, обеспечивающие одновременное включение механизма сброса 13, 14, 15 закаленной бурильной трубы в накопитель 20 и механизма подачи 3, 4, 5, 6 новой бурильной трубы на роликовый транспортер. Длина

транспортера такова, что на нем последовательно с некоторыми зазорами могут поместиться три бурильные трубы. Таким образом, процесс подачи труб на транспортер, их закалка и поступление готовой продукции в накопитель происходит непрерывно и полностью автоматизирован.

### § 3. АВТОМАТ ДЛЯ НАПЛАВКИ МЕТАЛЛА НА ПОВЕРХНОСТЬ ТОРМОЗНЫХ ШАЙБ ЛЕБЕДОК БУРОВЫХ СТАНКОВ

При бурении глубоких скважин, когда вес бурового снаряда достигает 50—100 кН, на тормозных шайбах лебедок развиваются значительные тормозные усилия, в результате которых происходит быстрый износ накладок тормозных колодок и поверхности тормозных шайб.

В процессе ремонта станков с целью восстановления тормозных шайб до первоначального диаметра используется метод наплавки металла при помощи сварочного автомата, разработанного Институтом электросварки им. акад. Е. О. Патона.

Установка для наплавки металла на поверхность тормозных шайб (рис. 18.3) разработана в ЦРММ объединения Ворошиловградгеология и состоит из сварочного трансформатора или преобразователя (Д—Г), П-образной рамы, станка и универсального сварочного автомата.

Использование сварочного трансформатора или сварочного преобразователя определяется тем, какой

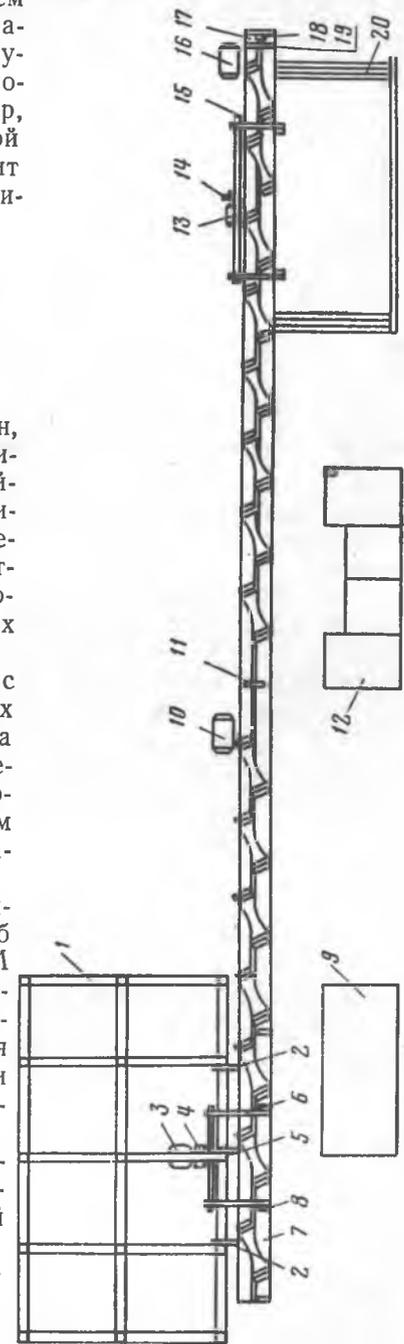


Рис. 18.2. Принципиальная схема установки для закалки бурильных труб токами высокой частоты

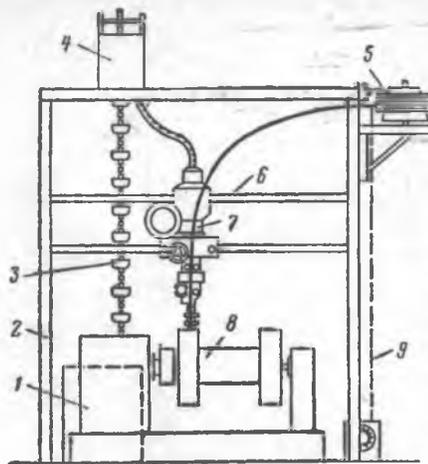


Рис. 18.3. Принципиальная схема автоматизированной установки для наплавки металла на поверхность тормозных шайб

ток будет использован для сварки — переменный или постоянный. П-образная рама 2 устанавливается над станком 1 и служит для размещения на ней сварочного автомата и вспомогательного оборудования. Материалом для изготовления рамы служат трубы, уголок и швеллерное железо.

В левой верхней части рамы закреплен бункер 4, из которого в процессе наплавки поступает флюс (АН-348) в флюсоаппарат сварочного автомата. Наполнение бункера флюсом осуществляется ковшовым транспортером 3 из запасной емкости, установленной на полу.

В правой верхней части рамы на специальной площадке укреплен вертушка 5 со сварочной проволокой диаметром 5 мм марки 1А.

Площадка с вертушкой специальным подъемником 9 может перемещаться вдоль вертикальных направляющих рамы.

На двух параллельно расположенных балках 6 из швеллера, укрепленных горизонтально в средней части П-образной рамы, размещен сварочный автомат 7. В станке, переоборудованном из токарного или трубонарезного, закрепляется подлежащий ремонту барабан лебедки 8.

Назначение станка состоит в сообщении барабану лебедки в процессе наплавки тормозных шайб вращательного движения с определенной скоростью.

Для наплавки металла используется серийно выпускаемый универсальный сварочный автомат марки АБС.

В состав автомата входят: главный механизм, правильный механизм, подвеска с корректировочным механизмом, подъемный механизм, флюсоаппарат, самоходная тележка и пульт управления.

Главный механизм служит для подачи электродной проволоки в зону наплавки и состоит из электродвигателя и замедляющего редуктора. Шестерни редуктора сменные, что позволяет изменять скорость подачи проволоки в пределах 28,5—225 м/ч.

Правильный механизм служит для правки электродной проволоки и подвода к ней сварочного тока.

Подвеска с корректировочным механизмом служит для крепления головки автомата к самоходной тележке, а также для их поперечной корректировки.

Подъемный механизм предназначен для регулирования уровня головки автомата над изделием.

Флюсоаппарат служит для непрерывной подачи флюса через мундштук в зону наплавки. Вместимость бункера флюсоаппарата 22 л.

Самоходная тележка обеспечивает передвижение головки автомата параллельно оси вала лебедки. Представляет собой трехроликовую тележку, передвигающуюся по швеллерным балкам. С этой целью тележка снабжена электродвигателем, редуктором со сменными шестернями и роликами-бегунками. Путем смены шестерен можно обеспечить скорость передвижения тележки в пределах 13,5—112 м/ч. Реверс тележки достигается путем реверса электродвигателя.

Пульт управления состоит из кнопок пуска, остановки и узла управления реверсом тележки.

#### ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТЫ УСТАНОВКИ

Предварительно на тормозные шайбы наваривают реборды из 10-мм прутковой стали. Затем вал лебедки закрепляют между пинолью и зажимным патроном станка. Включают станок, и барабан лебедки начинает вращаться со скоростью 0,45 м/мин. Включают подачу сварочного тока, регулируют высоту головки над наплавляемой поверхностью тормозной шайбы, включают подачу флюса и механизм перемещения тележки.

После процесса наплавки: подача проволоки, флюса, реверсированное движение тележки, и вращение барабана лебедки происходит без вмешательства оператора. После 9 оборотов барабана<sup>1</sup> движение тележки автоматически переключается на обратный ход. Наплавка металла на поверхность тормозной шайбы осуществляется в 15 слоев.

#### § 4. АВТОМАТ ДЛЯ НАРЕЗКИ РЕЗЬБ НА БУРИЛЬНЫХ ТРУБАХ

В ряде случаев трубные заводы поставляют геологоразведочным организациям не готовые бурильные трубы, а трубные заготовки, которые впоследствии подвергаются высадке, нарезке и термической обработке. Ремонт бурильных труб также связан с повторной нарезкой. Таким образом, на ремонтных базах приходится выполнять большой объем работ по нарезке концов бурильных труб. Характер выполняемых при этом работ однотипный, несложный, часто повторяющийся, в связи с чем в ряде ЦРММ созданы полуавтоматические или автоматические линии для выполнения указанной работы.

Рассмотрим принципиальную схему (рис. 18.4) и работу автомата по нарезке концов бурильных труб, созданного в ЦРММ объединения Южукргеология.

Установка состоит из двух токарных станков 11 и 13, двух роликовых транспортеров 3 и 12, стеллажа с верхней и нижней рамами, трубоприемника-накопителя, механизмов дозирования и

<sup>1</sup> Для тормозных шайб станка ЗИФ-1200А.

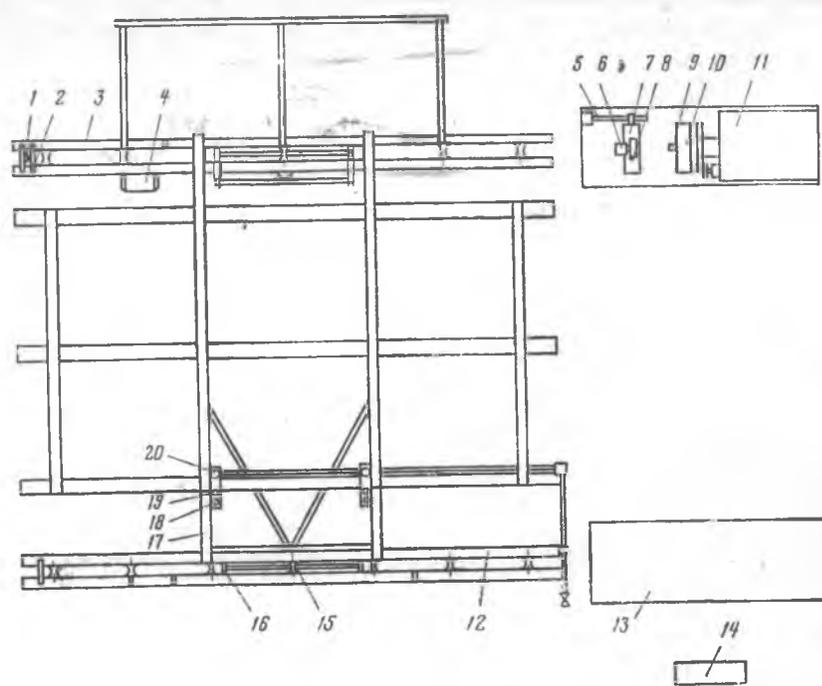


Рис. 18.4. Принципиальная схема автоматизированной установки для нарезки резьбы на буровых трубах

подачи буровых труб на транспортеры 19, 18, 16 и шкафа с командоуправлением 14.

Токарный станок 13 служит для выполнения подготовительной работы — обточки концов буровых труб перед нарезкой; работа на этом станке ведется без применения элементов автоматизации. Подача буровой трубы к станку производится с верхней рамы стеллажа через дозирующее устройство 20, 19, 18 и роликотный транспортер 12. Дозирующее устройство состоит из системы рычагов, штифтов и отсекающего устройства, обеспечивающих поступление со стеллажа на роликотный транспортер только одной буровой трубы. При перемещении рукоятки управления на себя отсекающий элемент 20 и штифт 19 опускаются (утопают), а штифт 18 поднимается. При этом буровые трубы, скатываясь по наклонной верхней раме стеллажа, упираются в штифт 18. Если рукоятку управления опустить, то под действием пружин произойдет перемещение отсекающего устройства и штифтов в обратном направлении, т. е. отсекающий элемент 20 и штифт 19 поднимутся, а штифт 18 опустится. В зазоре между штифтами 19 и 18 может поместиться только одна буровая труба, которая после опускания штифта 18 по наклонным планкам 17 будет подана на роликотный транспортер. После обточки конца буровой трубы на токарном станке она возвращается в исходное положение на роликотном транспортере. Путем

включения гидроцилиндра 15 поднимаются пластины 16 со скошенными верхними гранями и перебрасывают буровую трубу с транспортера на нижнюю раму стеллажа. Здесь происходит складирование труб, подготовленных для нарезки концов автоматом.

Вторым дозатором буровая труба с нижней рамы стеллажа подается на роликотный транспортер 3, по которому движется до упора 9, находящегося в центре трубонарезной головки 10. Нажатие буровой трубы на упор приводит к включению командоаппарата, который обеспечивает следующую последовательность операций.

1. Включается электродвигатель 6, который через редуктор 8 и фрикцион осуществляет привод самоцентрирующего зажимного патрона 7.

2. Включается вращение трубонарезной головки, снабженной для нарезки труб специальными плашками 4.

3. Включается ходовой винт 5, что приводит к передвижению суппорта вместе с зажимным патроном и буровой трубой в направлении трубонарезной головки.

4. Гидроцилиндром сжимаются пружины, находящиеся внутри трубонарезной головки.

5. После нарезки конца трубы на заданную длину срабатывает концевой выключатель, который через командоаппарат обеспечивает дальнейшие операции в такой последовательности: останавливается вращение трубонарезной головки и раскрываются плашки; зажимной патрон освобождает буровую трубу; силовые пружины трубонарезной головки отбрасывают буровую трубу влево, где она подхватывается роликами транспортера и движется до упора 2, за которым находится концевой выключатель 1; суппорт с зажимным патроном возвращается в исходное положение; концевой выключатель 1 включает дозатор и механизм переброски, которые сбрасывают нарезанную буровую трубу в приемник-накопитель, и одновременно новую буровую трубу подают со стеллажа на роликотный транспортер; роликотным транспортером новая труба подается к трубонарезной головке, и цикл повторяется.

Производительность установки — до 400 нарезанных концов в смену.

1. Безкорвайный П. М., Широков Н. Г. Электрические измерения. М., Машиностроение, 1971.
2. Бурдун Г. Д. Справочник по международной системе единиц. М., Издательство стандартов, 1972.
3. Вайнберг И. Б., Калитенко К. А. Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. М., Высшая школа, 1971.
4. Гордин Е. М., Стародуб К. Я. Автоматическое регулирование. М., Высшая школа, 1976.
5. Дэрро С. И., Корнилов Н. И., Орлов Л. Н. Буровой станок СБА-500. М., Недра, 1971.
6. Исакович Р. Я. Технологические измерения и приборы. М., Недра, 1970.
7. Исакович Р. Я., Кучин Б. Л., Попадков В. Е. Контроль и автоматизация добычи нефти и газа. М., Недра, 1976.
8. Исаков Ю. А., Платонов А. П., Руденко В. С. Основы промышленной электроники. Киев, Техника, 1976.
9. Козловский Е. А. Оптимизация процесса разведочного бурения. М., Недра, 1975.
10. Козловский Е. А., Гафиятулин Р. Х. Автоматизация процесса геолого-разведочного бурения. М., Недра, 1977.
11. Котляров А. М. Автоматизация буровых агрегатов. М., Недра, 1971.
12. Леонтьев О. П., Бройтман П. М. Контроль и регулирование режима колонкового бурения. М., Недра, 1972.
13. Нейфельд И. Е. Контроль качества сварки магистральных трубопроводов просвечиванием. М., Недра, 1971.
14. Овчаренко В. М., Брацлавский И. А. Основы автоматизации производства и контрольно-измерительные приборы. М., Недра, 1974.
15. Сена Л. А. Единицы физических величин и их размерности. М., Наука, 1977.
16. Субботин С. С., Соколова Н. Г., Брюханов О. Ф. Дефектоскопия нефтяного оборудования. М., Недра, 1975.
17. Харбенко И. Г. В мире неслышимых звуков. М., Машиностроение, 1971.
18. Хусанов М. Х. Магнитографический контроль сварных швов. М., Недра, 1973.
19. Шамшев Ф. А., Тараканов С. Н., Кудряшов Б. Б. Технология и техника разведочного бурения. М., Недра, 1973.

Предисловие . . . . .	3
<b>РАЗДЕЛ I. ИЗМЕРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ В БУРЕНИИ И НА ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ</b>	
<b>Глава 1. Основные сведения об измерениях и средствах измерений</b>	
§ 1. Определения, способы измерений и единицы физических величин . . . . .	5
§ 2. Средства измерений . . . . .	7
§ 3. Погрешности измерений . . . . .	9
§ 4. Надзор за средствами измерений . . . . .	10
<b>Глава 2. Электроизмерительные приборы и измерительные преобразователи</b>	
§ 1. Электроизмерительные приборы . . . . .	11
§ 2. Электроизмерительные преобразователи. . . . .	16
<b>Глава 3. Элементы измерительных установок и средств автоматики</b>	
§ 1. Выпрямители, стабилизаторы и преобразователи напряжения . . . . .	24
§ 2. Усилители . . . . .	29
§ 3. Переключающие элементы . . . . .	38
§ 4. Распределительные элементы . . . . .	43
§ 5. Исполнительные элементы . . . . .	44
§ 6. Счетчики электрических импульсов . . . . .	50
<b>Глава 4. Измерение давления и разрежения</b>	
§ 1. Манометры общепромышленного типа . . . . .	51
§ 2. Специальные манометры, применяемые в бурении . . . . .	59
<b>Глава 5. Измерение температур</b>	
§ 1. Термометры общепромышленного типа . . . . .	63
§ 2. Глубинные термометры . . . . .	68
<b>Глава 6. Измерение осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент</b>	
§ 1. Пружинные динамометры и гидравлические индикаторы нагрузки, размещаемые на неподвижном конце каната талевого системы . . . . .	71
§ 2. Пружинные и плунжерные индикаторы нагрузки, включаемые в гидросистему станка . . . . .	73
§ 3. Гидравлические индикаторы нагрузки типа ГИВ . . . . .	74
§ 4. Магнитоупругий компенсационный измеритель нагрузки МКН-2 . . . . .	79
<b>Глава 7. Измерение скорости бурения</b>	
§ 1. Измерение механической скорости бурения . . . . .	86
§ 2. Измерение мгновенной скорости бурения . . . . .	88
§ 3. Измерение рейсовой скорости бурения . . . . .	91
<b>Глава 8. Измерение крутящего момента и потребляемой мощности</b>	
§ 1. Измеритель и автоматический ограничитель крутящего момента ОМ-40 . . . . .	95
§ 2. Измеритель крутящего момента ИКМ . . . . .	98
§ 3. Самопишущий ваттметр Н-348. . . . .	100
§ 4. Расшифровка записей на диаграммной ленте самопишущего ваттметра . . . . .	104

**Глава 9. Измерение количества и расхода жидкости и газа**

§ 1. Счетчики . . . . .	107
§ 2. Анемометры . . . . .	108
§ 3. Расходомеры переменного перепада давления . . . . .	110
§ 4. Расходомеры постоянного перепада давления (ротаметры) . . . . .	115
§ 5. Электрические расходомеры . . . . .	117
§ 6. Скважинный расходомер ДАУ-3М . . . . .	127

**Глава 10. Комплексная аппаратура для измерения и регистрации параметров режима бурения**

§ 1. Наземная аппаратура параметров режима бурения . . . . .	131
§ 2. Аппаратура телеметрических измерений забойных параметров . . . . .	140
§ 3. Использование результатов измерений для разработки оптимальных параметров режима бурения . . . . .	145

**РАЗДЕЛ II. ОСНОВЫ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ**

**Глава 11. Классификация и характеристика основных методов дефектоскопии**

§ 1. Общие понятия и значение дефектоскопии . . . . .	147
§ 2. Ультразвуковая дефектоскопия . . . . .	148
§ 3. Радиационная дефектоскопия . . . . .	151
§ 4. Магнитно-порошковая дефектоскопия . . . . .	154
§ 5. Вихретоковая дефектоскопия . . . . .	155

**Глава 12. Контроль износа бурильных труб**

§ 1. Толщиномер «Кварц-5» . . . . .	157
§ 2. Детектор (индикатор) износа бурильных труб ДИТ . . . . .	159
§ 3. Дефектоскоп бурильных труб ДБТ . . . . .	161

**Глава 13. Комплексная дефектоскопия бурового оборудования и инструмента**

§ 1. Передвижная лаборатория комплексной дефектоскопии ПКДЛ-1 . . . . .	164
§ 2. Организация и методика проведения работ по комплексной дефектоскопии . . . . .	165

**РАЗДЕЛ III. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ПРОЦЕССОВ В БУРЕНИИ И НА ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ**

**Глава 14. Принципы автоматического регулирования**

§ 1. Основные понятия . . . . .	168
§ 2. Автоматические регуляторы . . . . .	170
§ 3. Принцип экстремального регулирования . . . . .	173
§ 4. Регулируемый привод . . . . .	175

**Глава 15. Основные средства автоматизации в колонковом бурении**

§ 1. Автоматические перехваты бурильных труб . . . . .	177
§ 2. Буровые регуляторы . . . . .	182
§ 3. Принцип комплексной автоматизации процесса колонкового бурения . . . . .	185

**Глава 16. Основные средства автоматизации в роторном бурении**

§ 1. Автоматизация спуско-подъемных операций . . . . .	188
§ 2. Автоматизация подачи бурового снаряда на забой . . . . .	192
§ 3. Автоматизированные буровые установки . . . . .	198

**Глава 17. Основные средства автоматизации горно-разведочных работ**

§ 1. Автоматизация водоотлива из горных выработок . . . . .	211
§ 2. Автоматизация шахтных подъемных установок . . . . .	213

§ 3. Автоматизация вентиляции . . . . .	214
§ 4. Автоматизация компрессорных установок . . . . .	215

**Глава 18. Автоматизация работ в ремонтных мастерских геологоразведочных организаций**

§ 1. Сверлильный автомат для изготовления фильтров . . . . .	217
§ 2. Автомат для закалки бурильных труб . . . . .	219
§ 3. Автомат для наплавки металла на поверхность тормозных шайб-лебедок буровых станков . . . . .	221
§ 4. Автомат для нарезки резьб на бурильных трубах . . . . .	223

Список литературы . . . . .	226
-----------------------------	-----

131317



**Виктор Михайлович Овчаренко,  
Иосиф Азрильевич Брацлавский**

**ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ  
И КОНТРОЛЬНО-  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ  
НА БУРОВЫХ  
И ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫХ  
РАБОТАХ**

---

Редактор издательства **Н. А. КРУГЛОВА**  
Переплет художника **Ю. Е. ФОМИНА**  
Художественный редактор **В. В. ШУТЬКО**  
Технический редактор **Н. Ю. ЯКУНИНСКАЯ**  
Корректор **В. И. ИОНКИНА**  
ИБ № 3468

Сдано в набор 16.01.81. Подписано в печать 21.01.82. Т-02730. Формат 60×90/16. Бумага книжно-журнальная. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл.-печ. л. 14,5. Усл. кр.-отт. 14,75. Уч.-изд. л. 15,3. Тираж 5500 экз. Заказ 1-33/7804—5. Цена 60 коп.

---

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»,  
103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.

Харьковская книжная фабрика «Коммунист»,  
310012, Харьков-12, Энгельса, 11.

**УВАЖАЕМЫЙ ТОВАРИЩ!  
В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НЕДРА»  
ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ  
НОВЫЕ КНИГИ**

**ГУКАСОВ Н. А.** Справочное пособие по гидравлике и гидродинамике в бурении. 29 л. 1 р. 90 к.

Приведены необходимые сведения по гидравлике и гидродинамике вязкой и вязко-пластичной среды. Рассмотрены вопросы определения потерь давления при движении буровых растворов в различных звеньях циркуляционной системы. Изложены задачи по определению гидродинамического давления на забое. Уделено внимание бурению скважин с применением воздуха и азрированных смесей, креплению и цементированию скважин.

Для инженерно-технических и научных работников буровых предприятий нефтяной и газовой промышленности. Будет полезна студентам старших курсов нефтяных вузов и факультетов.

**ТОКУНОВ В. И., ХЕЙФЕЦ И. Б.** Гидрофобно-эмульсионные буровые растворы. 12 л. 60 к.

Обобщен опыт по разработке, совершенствованию и промышленному применению буровых растворов на нефтяной основе (гидрофобноэмульсионных). Рассмотрены главные направления данной проблемы: классификация, способы приготовления, свойства, опыт практического использования гидрофобно-эмульсионных растворов. Уделено внимание технике безопасности и противопожарным мероприятиям при работе с такими растворами.

Для инженерно-технических и научных работников буровых предприятий нефтяной и газовой промышленности.