

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ БУРИЛЬНЫХ МОЛОТКОВ

О. Д. Алимов, В. Ф. Горбунов

Для проектирования высокопроизводительных пневматических бурильных молотков необходимо знание теории внутреннего процесса работы самих машин и процесса разрушения горных пород. Между тем, несмотря на относительную простоту конструкций этих машин и длительный период их применения в горном деле, до сих пор не разработано ни достаточно обоснованной теории рабочего процесса, ни методов расчета их основных конструктивных параметров. Такое положение частично объясняется тем, что процессы, протекающие как в самой пневматической машине ударно-поворотного действия, так и в месте контакта инструмента с горной породой, находятся в сложной взаимосвязи [1, 2]. Для вскрытия основных закономерностей этих процессов необходимо провести глубокие теоретические и экспериментальные исследования.

Основными факторами, влияющими на скорость бурения горных пород ударно-поворотным способом, являются энергия единичного удара, частота ударов, угол поворота бура между ударами и усилие подачи [1]. В свою очередь, как параметры бурильного молотка эти характеристики взаимосвязаны и являются производными от диаметра цилиндра, величины хода поршня-ударника, веса соударяющихся частей, давления воздуха, подводимого к молотку, схемы воздухораспределения, конструкции механизма поворота бура, конструкции и размеров бурового инструмента, а также от механизма разрушения горной породы и способа удаления из шпура буровой мелочи. Для выявления указанных зависимостей при экспериментальном исследовании бурильного молотка определенной конструкции необходимо в процессе бурения записать перемещение поршня-ударника относительно корпуса молотка, перемещение корпуса молотка и бура относительно горной породы, изменение давления воздуха в различных полостях молотка, скорость вращения бура и в ряде случаев перемещение деталей золотникового и поворотного устройства.

Ниже приводится методика исследования бурильных молотков и краткое описание аппаратуры, разработанной для этой цели коллективом кафедры горных машин и рудничного транспорта Томского политехнического института. В качестве основы экспериментальной установки использовался стенд (рис. 1), созданный ранее для исследования режимов работы пневматических бурильных молотков [5].

При испытании бурильных молотков, имеющих число ударов до 2000 в минуту, запись перемещения поршня производилась механическим способом [3]. При испытании высокочастотных молотков с числом ударов в минуту более 2000 применялся электрический способ записи перемещения поршня. Преимуществом второго способа записи является возможность одновременной ре-

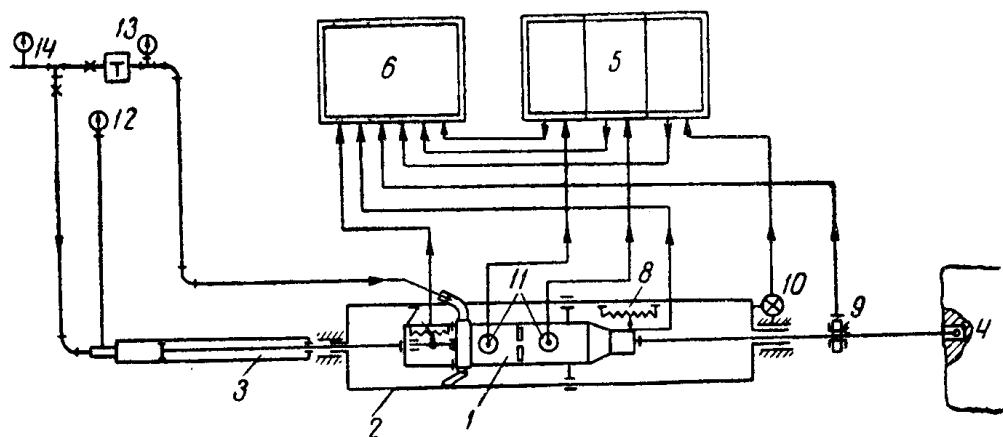


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 — бурильный молоток; 2 — направляющая рама; 3 — пневматический поршневой податчик; 4 — горная порода; 5 — усилитель для тензодатчиков; 6 — восьмишлейфовый осциллограф; 7 — датчик для записи хода поршня молотка; 8 — датчик для записи диаграммы колебаний корпуса молотка; 9 — датчик для записи углового перемещения бура; 10 — манометр; 11 — датчики давления в полостях молотка; 12 — манометр для измерения давления в податчике; 13 — поплавковый расходомер; 14 — манометр для замера давления воздуха в сети.

гистрации на одной пленке осциллографа нескольких процессов. При освоении электрического способа записи хода поршня было испытано несколько различных датчиков. Общим для всех способов записи хода поршня [3] является наличие тонкого стального стержня, соединяющего датчик с поршнем молотка. Один конец стержня укреплялся в центральном отверстии поршня (рис. 2), а второй выводился из молотка через заднюю крышку и использовался для крепления элементов датчика. После предварительного испытания электромагнитного, тензометрического и потенциометрического датчиков, для проведения основных исследований был выбран последний, как наиболее точный и простой в изготовлении и по тарировке. При использовании потенциометрического способа на конце стержня 1, выведенного из молотка, крепится ползунок 2 (рис. 2), к которому привинчивается металлическая упругая пластинка с наклепанным на ней серебряным контактом. Стержень 1 движется вместе с порш-

нем 6 молотка и удерживается от боковых вибраций уплотнением в задней крышке молотка 3 и бронзовой направляющей втулкой 4, закрепленной на специальной рамке 5 из угловой стали. Рамка крепится в задней крышке молотка. На этой же рамке укреплено проволочное сопротивление из нихромовой проволоки диаметром 0,3 мм. На боковой поверхности сопротивления шлифована дорожка для движения скользящего контакта. Электрическая схема записывающего устройства (рис. 2) включает контактный выключатель K , дополнительное сопротивление R , аккумуляторную батарею E и цепь вибратора осциллографа $r_{ш}$ и $R_{д.ш}$.

При подборе элементов схемы мы руководствовались в основном одним требованием — сохранить линейность записи, т. е.

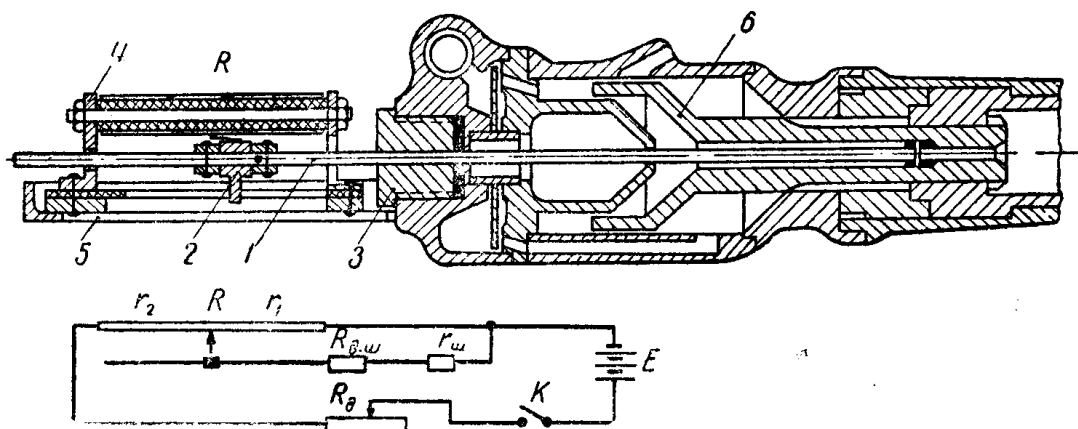


Рис. 2. Эскиз и электрическая схема устройства для записи хода поршня бурильного молотка ПР-25.

прямую пропорциональность между ординатой диаграммы и фактической величиной хода поршня, что во многом облегчает анализ диаграмм и определение переводных коэффициентов. Для сохранения линейности диаграмм необходимо, чтобы сопротивление цепи шлейфа было намного больше сопротивления потенциометра

$$(R_{д.ш} + r_{ш} \gg R).$$

Ток, проходящий через сопротивление, может быть определен по формуле

$$i_{ц} = \frac{E}{R_{д} + r_2 + \frac{(R_{д.ш} + r_{ш}) r_1}{R_{д.ш} + r_{ш} + r_1}}.$$

Дополнительное сопротивление основной цепи $R_{д}$ обеспечивает регулировку тока цепи, необходимую при изменении питающего напряжения E и при смене вибратора.

Ток, проходящий через вибратор (шлейф) осциллографа, определяемый по формуле

$$i_{ш} = \frac{i_{ц} r_1}{R_{д.ш} + r_{ш}},$$

изменяется прямо пропорционально сопротивлению r_1 . А так как это сопротивление отражает непосредственно величину перемещения контакта потенциометра, связанного с поршнем молотка, то ток шлейфа прямо пропорционален величине хода поршня. Абсолютная величина тока шлейфа подбирается по его чувствительности с таким расчетом, чтобы при перемещении поршня на максимально возможную величину отклонение луча шлейфа не превышало допустимого (по ширине пленки и по амплитуде отклонения луча).

Тарировка записывающего устройства производится при выключенном молотке. Для этого на потенциометр накладывается шкала с делением (миллиметровая бумага или линейка), по которой отмечаются положения контакта потенциометра, а следовательно, и поршня молотка через каждые 10 мм, начиная от переднего крайнего положения. Каждому положению поршня соответствует определенное отклонение луча шлейфа осциллографа, которое фиксируется на фотопленке. По отметкам, нанесенным на фотопленке, строится тарировочный график (рис. 3).

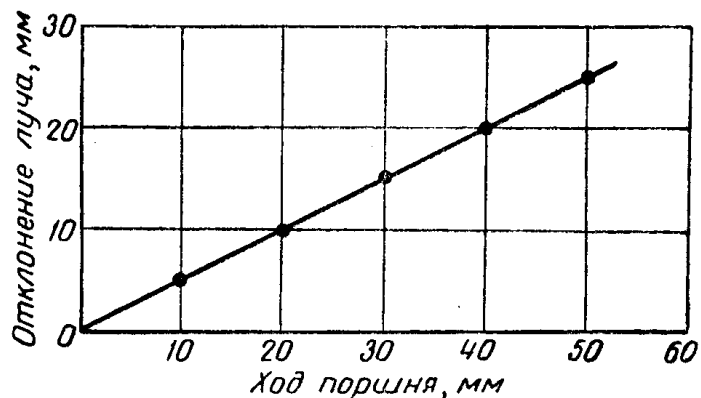


Рис. 3. Примерный тарировочный график диаграмм хода поршня.

Ошибка определения величины хода поршня по осциллограмме зависит от действительной длины хода, масштаба записи, точности измерения величины по осциллограмме и точности передающих и регистрирующих приборов [6, 7]

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta l}{l} + E_n,$$

- где S — величина хода поршня, мм;
 Δl — величина люфта контакта потенциометра; определяется практически после проведения серии опытов и обычно не превышает 1 мм;
 l — средняя величина пути контакта; принимается равной величине хода поршня;
 Δh — точность определения величины ординаты осциллограммы; можно принять $\Delta h = 0,5$ мм, хотя практически при достаточном увеличении осциллограммы величина ординаты может определяться и точнее;
 h — средняя величина ординаты осциллограммы; для осциллографа МПО-2 можно принять $h = 20$ мм;
 E_n — ошибка измерительных приборов: $E_n = 0,25-1\%$ [10].

При средней длине хода поршня высокочастотных молотков, равной 32 мм, относительная ошибка определения величины хода составляет 0,06 или 6%.

Обработку кривых хода поршня наиболее удобно производить с помощью макета схемы воздухораспределения исследуемого молотка [3, 4]. Макет изготовлялся в таком же масштабе, в каком записан на пленке осциллографа ход поршня. Наиболее целесообразно на пленке осциллографа записывать ход поршня в натуральную величину. Такую запись можно осуществить с помощью осциллографов ЛХТИ, ЗСО-101 или 8СО-114.

При записи хода поршня на фотографической пленке шириной 35 мм и обработке диаграмм без увеличения для получения действительной картины хода поршня величина ординаты умножается на масштаб записи $m_s = \frac{S}{h}$, который определяется во время тарирования.

Длительность цикла хода поршня и отдельных его элементов определяется по отметкам времени, наносимым на осциллограмме вибратором осциллографа через 0,002 сек. В этом случае ошибка определения времени цикла составляет 0,001 сек., или 3—6% (при $n = 1700 \div 3500$ уд/мин.).

Исходя из этого, подсчет числа ударов молотка ОМ-506 ($n = 1700$ уд/мин.) можно произвести с точностью ± 50 уд/мин., а молотка Т-10 ($n = 3200$ уд/мин.) с точностью ± 170 уд/мин. При механической записи диаграммы хода поршня ошибка определения продолжительности одного цикла составляла 9%.

Скорость движения поршня в различных положениях определяется по формуле

$$V = m_v \operatorname{tg} \alpha,$$

где $m_v = \frac{m_s}{m_t}$ — масштаб скорости, м/сек;

α — угол наклона касательной к кривой хода поршня в точке соударения;

m_t — масштаб времени диаграммы, сек/м.

Скорость протягивания пленки целесообразно выбирать такой величины, чтобы получить наклон кривой пути поршня в точке удара его по буру близким к 45° . В этом случае ошибка в измерении угла наклона кривой будет наименьшей [3]. Масштабный коэффициент скорости определяется отдельно для каждой скорости протягивания пленки.

Методы определения энергии удара, ударной мощности, объемной работы разрушения и связанных с ними величин принимались подобными описанным ранее [3].

Энергия удара

$$A_y = \frac{mV_6^2}{2} \text{ кгм.}$$

Ударная мощность

$$N_y = \frac{A_y n}{60 \cdot 75}$$

и объемная работа разрушения

$$A_v = k \cdot \frac{N_y}{V_6},$$

где m — масса поршня, $кг \cdot сек^2/м$;
 n — число ударов в минуту;
 V_6 — скорость бурения, $мм/мин$;
 k — коэффициент для перевода размерности, $л. с./мм/мин$
в $кгм/см^3$.

Для более полного изучения взаимодействия поршня и корпуса бурильного молотка были совместно записаны диаграммы хода поршня и перемещения корпуса молотка относительно горной породы. Запись колебаний корпуса производилась потенциометрическим датчиком, установленным на направляющих податчика. Подвижной контакт потенциометра укреплялся на каретке податчика, в которой закреплен бурильный молоток. Потенциометр был принят тех же размеров, что и для записи хода поршня, а питание его осуществлялось от отдельной аккумуляторной батареи для предотвращения влияния схем друг на друга.

Наличие совмещенных диаграмм хода поршня и колебаний корпуса молотка позволяет наиболее точно определить энергию поршня перед соударением его с буром. Кроме того, появляется возможность зафиксировать положение молотка в момент удара поршня по буру и во время поворота бура.

Тарирование устройства для записи диаграммы отдачи не отличалось от тарирования устройства, фиксирующего ход поршня. Существенным недостатком электрического датчика колебаний корпуса являлось то, что невозможно было записать отдачу при малых усилиях подачи молотка, когда отход последнего значителен [4]. Кроме того, при бурении горной породы молоток непрерывно передвигался вперед, вследствие чего запись отдачи возможно было осуществить лишь при кратковременном его включении. Поэтому запись диаграмм отдачи электрическим способом производилась лишь на оптимальных режимах бурения, а в процессе исследования различных режимов (для определения оптимальных) запись отдачи велась механическим способом [5].

Диаграммы давления записывались с помощью проволочных датчиков, усилителя и шлейфового осциллографа. Проволочный датчик представляет собой константановую проволоку диаметром 30 $мк$, наклеенную на тонкую бумагу в виде петель длиной 10—20 $мм$. К концам проволоки припаиваются выводные проводники из фольги. Длина петель проволоки образует базу дат-

чика. Чувствительность датчика к деформации определяется из выражения [8]

$$k_s = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}$$

или

$$k_s = 1 + 2\mu,$$

где $\Delta R/R$ — относительное сопротивление датчика;
 $\Delta l/l$ — относительное удлинение;
 μ — коэффициент Пуассона; для константового датчика $\mu = 1,9 \div 2,1$.

Сопротивление датчика зависит от длины и количества петель. В нашем случае применялись датчики $R = 200 \text{ ом}$.

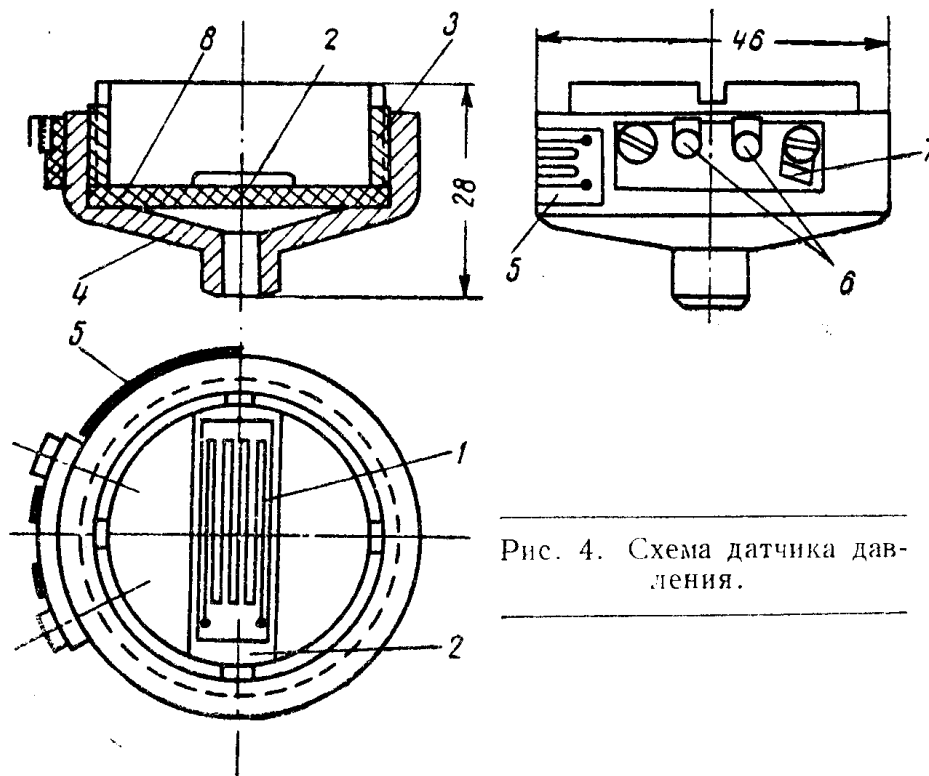


Рис. 4. Схема датчика давления.

Для измерения давления в полостях бурильного молотка датчик 1 наклеивали на прямоугольную стальную мембрану 2 толщиной 1,5 мм (рис. 4), которая зажимается гайкой 3 в корпус 4. К корпусу винтами прикреплялась текстолитовая панель с клеммами 6 для отвода проводов от рабочего 1 и компенсационного 5 датчиков и заземляющей клеммы 7. Для уплотнения между корпусом и гайкой прокладывалась эластичная, но достаточно плотная резина 9, передававшая давление сжатого воздуха на мембрану 2 и предохранявшая ее от резких изменений температуры, происходящих в цилиндре молотка. Пространство в корпусе датчика, под мембраной, несколько увеличивает объем воздуха в исследуемой полости. При исследовании давления в полостях цилиндров бурильных молотков это увеличение

объема не превышает $1 \div 2\%$ и не оказывает существенного влияния на рабочий процесс молотка.

При использовании тензодатчиков со шлейфовым осциллографом необходим промежуточный прибор — усилитель. Шлейфовый осциллограф 3 класса требует на входе ток порядка $100\text{—}20\text{ ма}$, а изменение тока датчика при деформации его $0,5\text{—}1\%$ не выходит за пределы $0,1\text{—}0,05\text{ ма}$ [8]. Для сохранения же линейности рекомендуется работать при деформациях порядка $0,01\text{—}0,1\%$. Следовательно, необходимое усиление сигнала составляет $10\text{—}20$ тысяч раз.

В качестве усилителя был применен трехканальный электронный прибор (рис. 5), рассчитанный и изготовленный на кафедре теоретических основ радиотехники Томского политехнического института. За основу прибора взята схема одноканального усилителя ИМАШ АН СССР [8]. В каждый канал усилителя входит мост, питаемый от генератора током 5000 гц . Мост имеет два переменных сопротивления: одно для балансировки амплитуды, а второе — для балансировки фазы. Измерительная диагональ моста включается на вход усилителя. В качестве выпрямителя применена «рингсхема» с селеновыми выпрямителями, реагирующая на изменение фазы, что дает возможность определить знак деформации.

Прибор работает от сети переменного тока с собственной стабилизацией выпрямленного напряжения.

В мост каждого канала включены два датчика, из которых один активный — для измерений, а второй — температурный компенсатор. Два других плеча моста также могут быть составлены из датчиков. В этом случае их наклеивают на консольную балку, изгибаемую микрометрическим винтом. Выход усилителя приспособлен для подключения катодного и шлейфового осциллографов.

В качестве регистрирующего прибора применялись трехшлейфовый осциллограф фирмы Сименс и Гальске (скорость протягивания бумаги до $1,1\text{ м/сек}$), восьмишлейфовый осциллограф МПО-2 (скорость протягивания киноплёнки до 5 м/сек) и восьмишлейфовый осциллограф 8S0-114 (скорость протягивания бумаги до 14 м/сек).

Тарирование датчиков давления производилось статически с помощью тарировочного приспособления, представляющего собой металлический баллон с отверстиями для установки датчика, манометра и штуцера воздушного шланга. Процесс тарирования проходил следующим образом. В баллон подавался сжатый воздух под различным давлением и на пленке кратковременной записью фиксировалось отклонение луча шлейфа от нулевой отметки. После тарирования одного датчика подобная операция проводилась с другим, причем нулевая отметка оставлялась на том же месте, и первый датчик оставался включенным. После тарирования строился тарировочный график, по которому в дальней-

шем определялись величины ординат осциллограмм. Процесс та-
рирования проводился до и после каждой серии опытов.

Анализ диаграмм давления производился одновременно с
обработкой диаграммы хода поршня. Величины давлений возду-

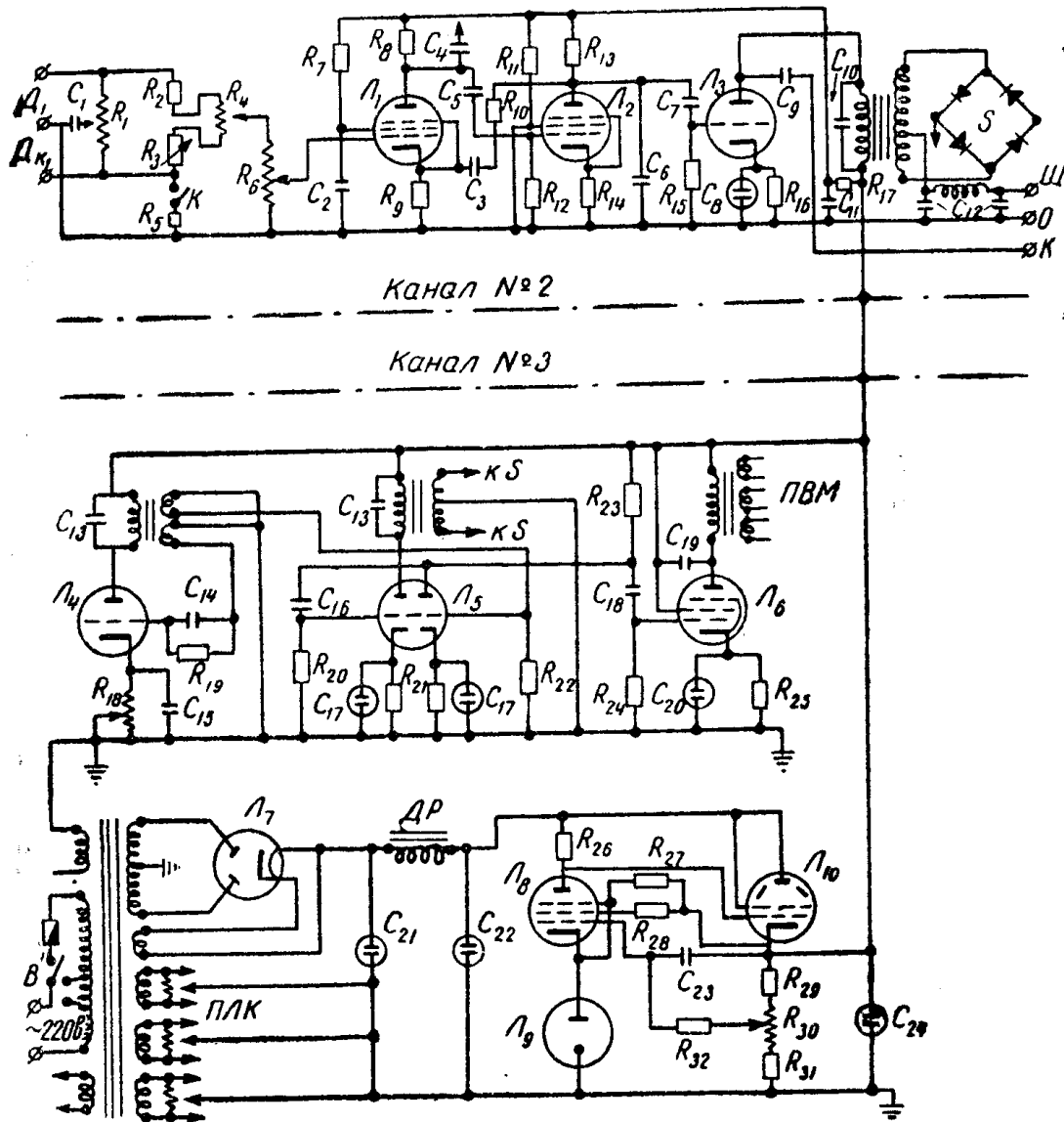


Рис. 5. Схема трехканального усилителя для проволочных датчиков:

$C_1=600$ мккф; $C_2=C_{15}=5$ мкф; $C_3=2000$ мккф; $C_4=C_6=C_{10}=C_{13}=200$ мккф; $C_5=C_7=C_9=C_{18}=C_{18}=5000$ мккф; $C_8=C_{11}=C_{17}=C_{20}=C_{21}=C_{22}=C_{21}=C_{12}=20,0$ мкф; $C_{19}=250$ мккф; $C_{23}=0,5$ мкф.
 $R_1=R_3=R_8=5$ ком; $R_2=2,5$ ком; $R_4=R_{29}=R_{30}=100$ ом; $R_5=0,24$ мгом; $R_7=R_9=R_{11}=R_{14}=R_{17}=1,5$ мгом; $R_8=R_{13}=R_{26}=0,3$ мгом; $R_{10}=R_{12}=2$ мгом; $R_{18}=R_{21}=R_{22}=R_{23}=1$ ком; $R_{15}=R_{20}=1$ мгом; $R_{18}=1$ ком; $R_{19}=30$ ком; $R_{21}=500$ ом; $R_{25}=600$ ом; $R_{27}=15$ ком; $R_{28}=25$ ком; $R_{31}=0,2$ мгом; $R_{32}=0,5$ мгом.
 $L_1=6Ж7$; $L_2=6Ж7$; $L_3=6С5$; $L_4=6С5$; $L_5=6Н8С$; $L_6=6П3$; $L_7=5Ц4С$; $L_8=6Ж7$; $L_9=СГ=4С$; $L_{10}=6П3С$; S —селеновый выпрямитель; ПВМ—питание входного моста; ПЛК—питание ламп каналов.

ха в передней и задней полостях могут быть определены в любой точке осциллограммы, следовательно, при любом положении поршня в цилиндре молотка. Разбивая всю длину хода поршня на несколько участков, можно построить результирующую силовую диаграмму, по которой легко определить резуль-

тирующее усилие, действующее на поршень в любой момент его хода. В дальнейшем, пользуясь формулами теоретической механики, можно определить импульс силы и работу, затраченную на перемещение поршня на отдельных участках и за весь цикл. Эта работа расходуется на преодоление трения при перемещении поршня и передается буру в виде ударного и поворотного импульсов.

По диаграммам давления и хода поршня определяются максимальное давление в полостях молотка, давление во время выхлопа и в момент переброски золотника (прекращение и начало впуска у беззолотниковых молотков). Ввиду наличия на осциллограммах отметок времени есть возможность измерить

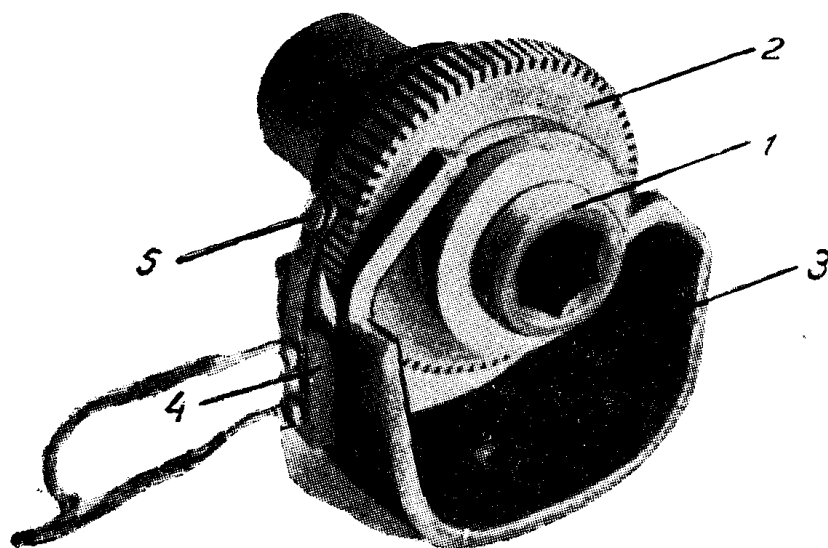


Рис. 6. Датчик угловых перемещений бура.

период впуска воздуха, период его расширения и т. п. Точность определения величины давления характеризуется ошибкой записи электрических приборов и шлейфового осциллографа.

Для исследования процесса поворота бура при бурении горной породы был изготовлен и освоен датчик угловых перемещений (рис. 6). Датчик состоял из втулки 1 с шестигранным отверстием по размерам бура и напрессованного на нее зубчатого колеса 2. Зубчатое колесо имело 72 зуба, между которыми запрессовывались прокладки из текстолита. От продольных перемещений по буру колесо удерживалось ограничителями кронштейна 3, на котором винтами крепилась изоляционная панель 4 с пружинным контактом 5. При повороте бура на каждые 5° электрическая цепь датчика замыкалась и размыкалась, посылая импульс шлейфу осциллографа. Таким образом на осциллограмме отмечалось угловое перемещение бура через 5° (рис. 7). Очевидно, что подобный датчик не требовал никакой тарировки и точность его показаний зависела от тщательного выполне-

ния его деталей и хорошего ухода для сохранения надежности действия пружинного контакта.

Совместная запись диаграммы хода поршня, угловых перемещений бура и диаграммы отдачи (рис. 7) позволяли выявить:

1) положение поршня в цилиндре молотка, положение корпуса молотка относительно горной породы и скорость поршня в момент, предшествующий повороту бура;

2) величину угла поворота бура за цикл и за время рабочего и холостого ходов поршня;

3) неравномерность поворота бура и т. д.

Для полного анализа работы поворотного устройства бурильного молотка необходима также запись вращающего мо-

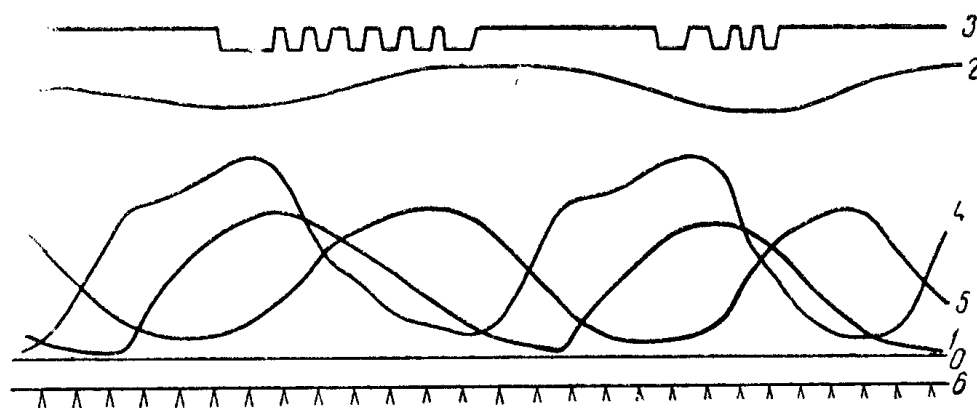


Рис. 7. Осциллограмма рабочего процесса бурильного молотка ПР-25 при давлении воздуха в сети 4 *ати* и усилии подачи 90 кг:

1 — диаграмма хода поршня; 2 — диаграммы колебаний корпуса молотка; 3 — диаграмма давления воздуха в задней полости цилиндра молотка; 4 — диаграмма давления в передней полости; 5 — диаграммы углового перемещения бура; 6 — отметка времени (риски через 0,002 сек.)

мента и продольных колебаний бура при нанесении по нему ударов. Запись продольных перемещений бура, по нашему мнению, возможно осуществить с помощью потенциметрического датчика, укрепленного на самом буре. Контакт потенциметра может быть укреплен на поворотной втулке молотка.

Запись же вращающего момента, развиваемого поворотным устройством молотка, возможно произвести теми же проволочными датчиками, наклеенными непосредственно на бур или на храповую буксу поворотного устройства, как это осуществлялось Н. Н. Есиным [14] при использовании для этих целей оптических датчиков.

Наличие описанной аппаратуры позволяет исследовать характеристики и рабочий процесс пневматических бурильных и отбойных молотков и на этой основе дать рекомендации по улучшению конструкций существующих машин, а также получить данные для разработки методов их расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. Д. Алимов. Исследование механизма разрушения горных пород при ударно-вращательном бурении и исходных параметров бурильных молотков. Кандидатская диссертация, ТПИ, Томск, 1953.
2. О. Д. Алимов, Е. Н. Зикеев, А. В. Энтель. Лабораторные и производственные испытания пневматических бурильных молотков. Расчеты, конструирование и испытание горных машин, Сборник статей, т. 2, Углетехиздат, 1955.
3. О. Д. Алимов, И. Г. Басов, В. Ф. Горбунов, Я. А. Серов. Методика проведения опытов при исследовании ударных узлов пневматических бурильных молотков и обработки опытных данных. Известия ТПИ, т. 88, Томск, 1956.
4. О. Д. Алимов, В. Ф. Горбунов. Некоторые результаты исследования пневматического бурильного молотка ОМ-506. Известия ТПИ, т. 88, Томск, 1956.
5. О. Д. Алимов, И. Г. Басов, В. Ф. Горбунов. Методика лабораторного исследования влияния усилия подачи на скорость бурения пневматическими бурильными молотками. Известия ТПИ, т. 88, Томск, 1956.
6. М. Е. Блантер. Методика исследования металлов и обработка опытных данных. Металлургиздат, 1952.
7. В. И. Сороко—Новицкий. Испытание автотракторных двигателей. Машгиз, 1955.
8. Н. А. Раевский. Методы экспериментального исследования механических параметров машин. Изд. АН СССР, 1952.
9. Н. Н. Есин. Исследование легких бурильных молотков. Кандидатская диссертация, ЗСФАН, Новосибирск, 1952.
10. Physics Scerving Stienze and Industry. 1956, vol. 3, № 6, p. 97—105.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть	По вине
13	1 сн.	7-10	T-10	Корр.
14	13 сн.	R-754	RH-754	»
28	1 сн.	$A_y = \frac{mV_6^2}{2}$	$A_y = \frac{mV_y^2}{2}$	Авт.
34	18—20 сн.		2 — диаграмма колебаний корпуса молотка; 3—диаграмма углового перемещения бура; 4—диаграмма давления воздуха в задней полости цилиндра молотка; 5 — диаграмма давления в передней полости;	
35	1 сн.	Scerving Stiense	Serving Science	Авт.
46	14 сн.	изменения	изменении	Ред.
90—91	Рис. 7 и 8	поменять местами, сохранив на месте подрисовочные подписи		Тип.
97	10 сн.	бурильного молотка	автоподатчика	Авт.
107	2—3 сн.	остановки	остановкой	»
156	2 св.	поверхностей	поверхностной	Корр.
166	14 сн.	разбуренным	пробуренным	Авт.
179	9 св.	кинетическую	кинематическую	Корр.
189	5 св.	(59—200 мм)	(50—200 мм)	»
192	10 сн.	расширится	расширителя	Тип.
197	1 св.	кинетики	кинематики	Корр.
198	3—6 св.	Строку пятую читать	после второй строки	Тип.
199	14 сн.	кинетики	кинематики	Авт.
212	12 св.	Л. Б. Левенмон	Л. Б. Левенсон	Авт.
219	3 сн.	$A = a + h . . . + h.$	$A = a + h . . . + h. (16)$	Корр.
223	3 св.	$- \left(30 \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 + 5$	$- 30 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 + 5$	Тип.
224	19—20 св.	увеличилась	увеличивалась	Корр.
229	10 св.	АОФ4-2	АОФ42-2	Авт.
243	11 св.	1, 15	1, 5	Корр.