

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ УДАРНЫХ УЗЛОВ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ БУРИЛЬНЫХ МО- ЛОТКОВ И ОБРАБОТКИ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

О. Д. АЛИМОВ, И. Г. БАСОВ, В. Ф. ГОРБУНОВ, Я. А. СЕРОВ

(Представлено проф., докт. техн. наук Алабужевым П. М.)

На основании ряда исследований бурильных молотков [1, 2, 3, 5] выявлено, что для проектирования и расчета последних необходимо изучить рабочий процесс пневматических бурильных молотков во время бурения горных пород при различных режимах. Для полноты данных о рабочем процессе необходимо знать кинематические и динамические характеристики бурильных молотков, основными из которых мы считали следующие: энергия удара, число ударов, продолжительность рабочего и холостого хода поршня, и их отношение, скорость движения поршня, мощность молотка, удельная работа разрушения, крутящий момент на буре.

В настоящей работе дается описание части исследования бурильных молотков, а именно: исследование кинематики молотков с частичным расчетом некоторых энергетических величин.

Прибор для записи хода поршня бурильного молотка

Для записи хода поршня бурильного молотка спроектирован, изготовлен и освоен в процессе исследования прибор. Прибор служит для записи диаграммы хода поршня бурильного молотка на движущейся бумажной ленте как при бурении, так и при холостой работе молотка. Принцип действия прибора заключается в следующем. Один конец стального стержня 2, пропущенного в молоток, закрепляется в поршне 1 бурильного молотка (рис. 1). На втором конце стержня 2 укреплен карандаш 3, который вместе с поршнем 1 и стержнем 2 совершает возвратно-поступательное движение и чертит кривую хода поршня на протягиваемой бумажной ленте. Механизм протягивания ленты помещается между двумя щеками 4, жестко скрепленными тремя болтами 5, и состоит из холостого барабана с катушкой бумажной ленты 6, двух роликов 7, 8 для протягивания ленты и опорного барабана 9. Во избежание быстрого самопроизвольного сматывания ленты с холостого барабана 6 последний притормаживается кусочком фетра 10, прикрепленного на винте 11. С холостого барабана бумажная лента сматывается и огибает опорный барабан 9.

Для увеличения угла огибания и улучшения прижимания бумажной ленты к опорному барабану последняя отклоняется рамкой 12, сделанной из стальной проволоки и укрепленной в щеках. После огибания опорного барабана 9 лента движется между роликами, покрытыми резиной 7, 8, один из которых приводной, а другой — прижимной. Приводной ролик 7 получает вращение от электродвигателя 13 через ременную передачу 14 или гибкий ролик (последний вариант на чертеже не показан). Прижимной ролик 8 с помощью стальных пружин 15 прижимает бумажную ленту к приводному ролику 7, благодаря чему исключается проскальзывание ленты на приводном ролике. Ка-

рандаш 3, записывающий кривую хода поршня, прижимается к опорному барабану 9 резинкой 16.

Во время работы бурильного молотка поршень 1 и стержень 2 поворачиваются. Для исключения возможности вращения карандаша втулки 17 вместе с укрепленным на ней карандашом 3 свободно вращается на стержне 2. Хвостовик 18 втулки 17 движется в двух направляющих 19 и тем самым не дает возможности втулке 17 поворачиваться со стержнем 2. Направляющие 19 крепятся к „П“-образной раме 20.

Карандаш 21 чертит на бумажной ленте нулевую линию и прижимается к опорному барабану 9 пружинкой 22 (или резинкой), устанавливается таким образом, что нулевая линия определяет крайнее возможное переднее положение карандаша 3, записывающего диаграмму хода поршня, что соответствует переднему крайнему положению поршня в цилиндре.

Механизм протягивания ленты с помощью двух кронштейнов 23 укрепляется на „П“-образной раме 20, сделанной из уголковой стали. „П“-образная рама имеет на концах две проушины, в которые входят стяжные болты бурильного молотка. Стяжными болтами рама крепится к бурильному молотку. Прибор может поворачиваться на кронштейнах 23 вокруг оси 0—0. Поворот прибора вокруг оси 0—0 предусмотрен для обеспечения легкой замены карандаша 3 и регулирования натяжения резинки 16 при изменении длины карандаша 3.

Для приведения прибора в рабочее положение последний поворачивается вправо, опорный барабан 9 опускается вниз и карандаш 3 прижимается к опорному барабану. Для закрепления прибора в рабочем положении служит поддержка 24. Она крепится на „П“-образной раме и имеет пазы для закрепления прибора на различном расстоянии от стержня 2. Карандашом, укрепленным державкой к направляющим стенда для бурения, на протягиваемой ленте записывается диаграмма колебания корпуса молотка относительно горной породы.

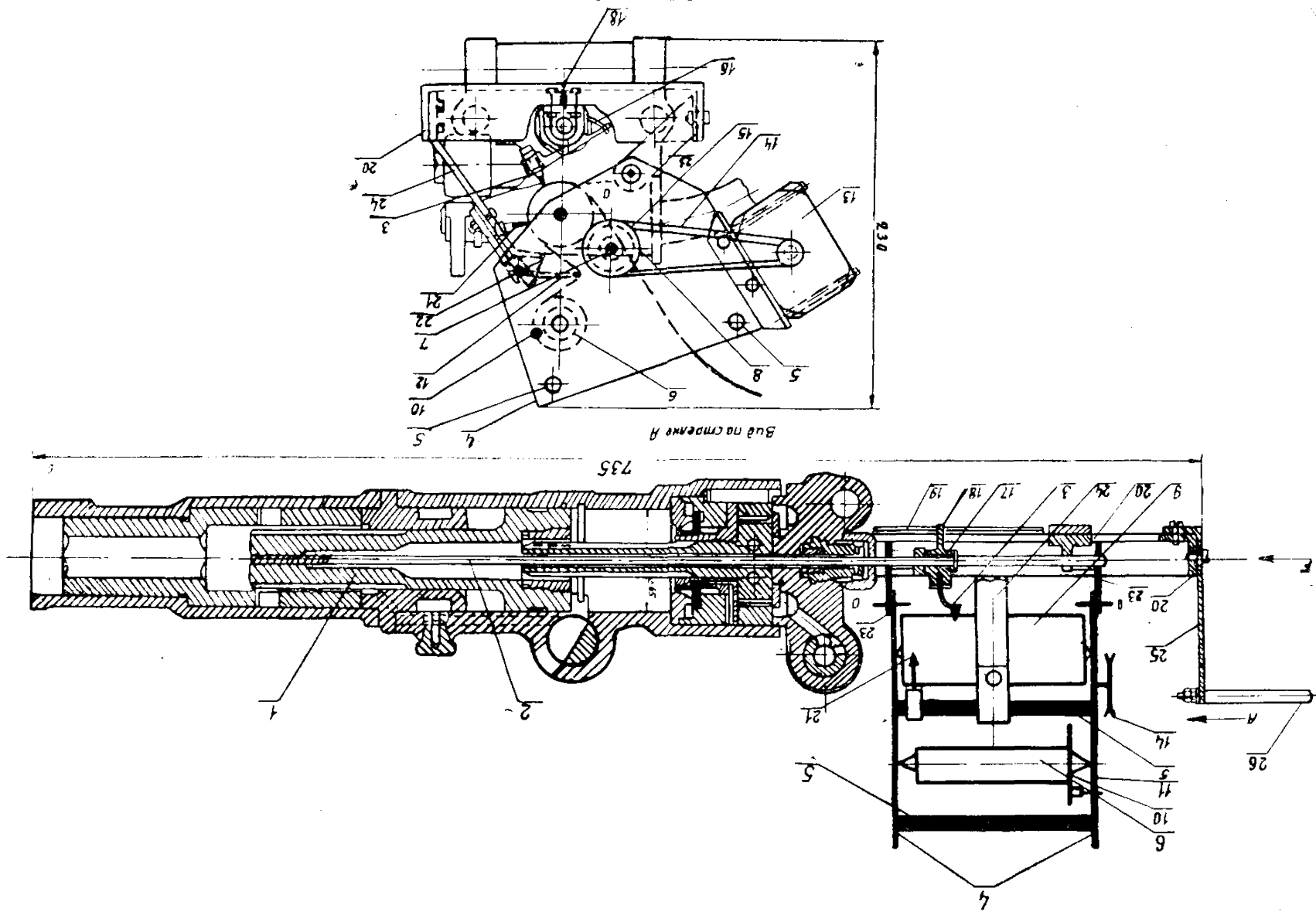
Бурильный молоток укрепляется на стенде для исследования влияния усилия подачи на скорость бурения пневматическими бурильными молотками [7]. Усилие пневматического податчика передается на молоток через „П“-образную раму 20.

Для записи лучше применять плотную бумагу (светочувствительную или миллиметровку) и твердые карандаши 2Т—3Т с прочной древесиной.

Проведение опыта начинается с установки нужного давления в податчике и давления, подводимого к молотку, карандаш 21 для записи нулевой линии устанавливается против крайнего переднего положения карандаша 3 для записи хода поршня. При проведении опыта в работе участвуют три человека, их функции состоят в следующем: первый включает молоток и секундомер, выключает их в конце опыта и следит за давлением воздуха. Второй включает двигатель прибора записи хода поршня и следит за записью диаграммы отдачи, в конце опыта записывает конечную отметку положения молотка на диаграмме отдачи и выключает двигатель прибора записи хода поршня. Третий производит измерение числа оборотов бура (прибором [7] или бечевкой) и следит за состоянием шпура и бурового инструмента. Двигатель барабана для записи диаграммы отдачи включается до начала опыта и выключается после записи конечной отметки.

После выключения молотка и секундомера в журнале наблюдений производится запись номера опыта, времени бурения, давления рабочей сети и давление в податчике, числа оборотов бура за опыт. На диаграмме хода поршня и диаграмме отдачи ставится номер и, в случае необходимости, делаются пометки об устойчивости работы молотка, состоянии горной породы и т. д. На этом проведение опыта заканчивается. Следующий опыт может проводиться сразу после описанного, предварительно производится только осмотр стенда и прибора записи, продувается шпур и осматривается его

Рис. 1. Вспыльчатый моторок OM-506a с прибором для записи хода поршня.



состояние, если необходимо, устанавливается новая бумага для записи и карандаши.

Методика обработки диаграмм

Обработка диаграмм отдачи

Диаграмма отдачи служит для получения следующих данных: числа ударов, времени бурения, скорости бурения, времени цикла хода поршня, отхода молотка от линии внедрения в породу, амплитуды колебаний корпуса молотка.

1. Число ударов молотка определяется подсчетом количества циклов колебаний корпуса за 1 оборот барабана. Время одного оборота барабана отдачи постоянное, равное 1,75 сек. Следовательно, число ударов молотка подсчитывается по формуле:

$$n = \frac{60}{1,75} \cdot n_1 = 34,3 n_1 \text{ уд/мин,}$$

где n_1 — число циклов за один оборот барабана. Относительная ошибка вычисления в этом случае может быть определена [4,6] по формуле:

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{\Delta n_1}{n_1} + \frac{\Delta t_{об}}{t_{об}},$$

где Δn_1 — абсолютная ошибка определения числа ударов молотка за 1 оборот барабана. Принимаем $\Delta n_1 = 0,5$,

n_1 — число ударов молотка за 1 оборот барабана. Принимаем среднее

число ударов молотка 1700 уд/мин, тогда $n_1 = \frac{1700 \cdot 1,75}{60} = 50$,

$\Delta t_{об}$ — абсолютная ошибка определения времени 1 оборота барабана определяется погрешностью секундомера = 0,2 сек при определении времени 10 оборотов барабана. Таким образом, $\Delta t_{об} = 0,02$ сек

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{0,5}{50} + \frac{0,02}{1,75} = 0,02 \text{ или } 2\%.$$

Следовательно, точность определения числа ударов молотка с помощью диаграммы отдачи превышает точность показаний вибротактометра, которая составляет 5%.

2. Время бурения (время опыта) определяется подсчетом

$$t_{оп} = t_{об} \cdot n_6,$$

где $t_{об} = 1,75$ сек — время 1 оборота барабана для записи диаграммы отдачи,

n_6 — число оборотов барабана за опыт.

Относительная ошибка вычисления

$$\frac{\Delta t_{оп}}{t_{оп}} = \frac{\Delta t_{об}}{t_{об}} + \frac{\Delta n_6}{n_6},$$

где $\Delta t_{об} = 0,02$ сек — абсолютная ошибка определения времени одного оборота барабана,

Δn_6 — абсолютная ошибка измерения числа оборотов барабана. Длина окружности барабана 540 мм. Принимаем точность отметки начала и конца записи 5 мм, тогда Δn_6 будет равна 10 мм.

Величина относительной ошибки вычисления времени бурения $\frac{\Delta t_{оп}}{t_{оп}}$

будет зависеть от продолжительности опыта.

Как видно из графика (рис. 2) относительная ошибка определения длительности опыта по диаграмме отдачи не превышает 5% даже при длительности опыта 1 сек., в то время как относительная ошибка определения длительности опыта секундомером уменьшается до 5% только при длительности опыта 4—5 сек.

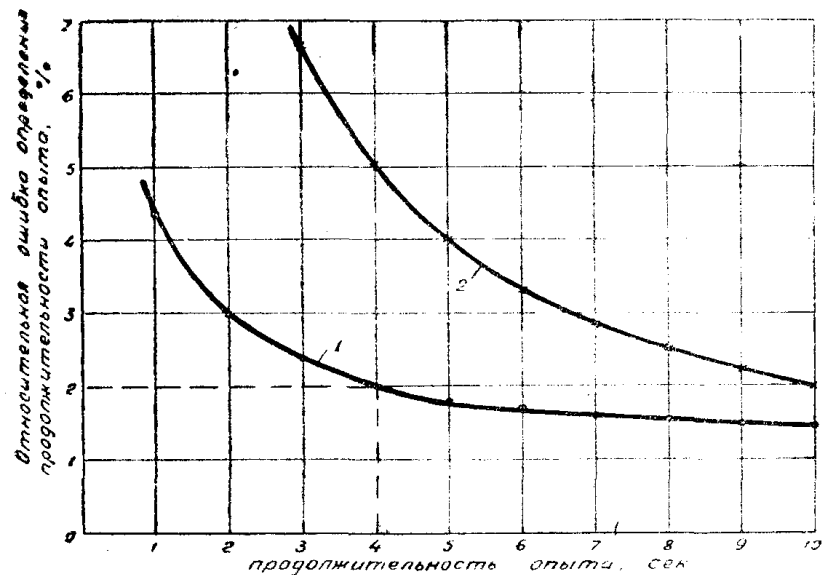


Рис. 2. Зависимость относительной ошибки определения времени бурения от способа замера и продолжительности опыта.

1—определение продолжительности опыта по диаграмме отдачи, 2—определение продолжительности опыта секундомером.

Из графика следует также, что метод определения продолжительности опыта по диаграмме отдачи значительно точнее определения времени бурения по секундомеру.

3. Скорость бурения определяется по формуле:

$$v = \frac{60 \cdot l}{t_{оп}} \text{ мм/мин,}$$

где l — расстояние от начальной до конечной отметки положения молотка, измеряется по диаграмме отдачи линейкой, мм.

Точность вычисления скорости бурения определена нами в работе [7] и укладывается в допустимые $\pm 5\%$ при определенной продолжительности опыта.

4. Время цикла (продолжительность одного цикла) хода поршня определяется по формуле:

$$t_4 = \frac{60}{n} \cdot 1000 \text{ миллисекунд.}$$

Относительная ошибка вычисления равна ошибке определения числа ударов, т. е. 2%.

5. Отход молотка от линии внедрения в породу измеряется линейкой по диаграмме отдачи [7].

6. Производится сравнение характера колебаний молотка с характером движения поршня

Обработка диаграммы хода поршня

Диаграмма хода поршня дает возможность определить многие величины, характеризующие рабочий процесс: ход поршня, длительность рабочего и холостого хода поршня, их отношение, скорость движения поршня, энергию удара, мощность молотка. Разберем методику обработки диаграммы хода поршня на примере анализа диаграммы молотка ОМ—506. Для анализа диаграммы хода поршня изготавливается макет бурильного молотка (рис. 3), представляющий собой чертеж молотка в продольном сечении, выполненный в натуральную величину. Чертеж имеет две прорези, одна по линии передней стенки клапанной коробки (граница золотникового устройства и полости цилиндра) линия O' и вторая по линии верхней границы шестигранного отверстия нижней части поворотной буксы (линия „ O “). Длина верхней прорези соответствует диаметру поршня молотка, а длина нижней прорези—диаметру штока поршня.

Макет поршня представляет собой одну проекцию поршня (в натуральную величину) с нанесенными на ней шлицами и канавками на теле поршня. Макет поршня по ширине соответствует диаметру поршня и штока, а по длине изготавливается большим, для удобства перемещения его в прорезях макета молотка. Размеры поршня по длине обозначены на макете соответствующими линиями. Макет молотка и поршня изготавливается из обыкновенного ватмана или, для увеличения прочности, из целлулоида.

Макет укрепляется на чертежной доске кнопками, к нему также кнопками крепится диаграмма хода поршня, ориентированная своей нулевой линией (обозначающей крайнее переднее положение поршня) на переднее крайнее положение макета поршня на макете молотка.

Таким образом, диаграмма хода поршня „привязывается“ к макету; передвигая поршень по макету, мы можем каждое его положение отметить на диаграмме и для каждой характерной точки диаграммы установить расположение поршня в цилиндре в этот момент.

На макете ударного узла линиями обозначены следующие характерные положения поршня: линия „ O “ — крайнее переднее положение, что соответствует случаю, когда поршень своей передней кромкой плотно подходит к промежуточной втулке. Это положение на диаграмме записывается как нулевая линия. Линия I соответствует моменту соприкосновения штока поршня с хвостовиком бура в случае, когда хвостовик бура длиной $l_6 = 107$ мм вдвинут полностью во внутреннюю полость молотка. В этот момент передняя кромка поршня полностью перекрывает канал „ B “, подводящий воздух

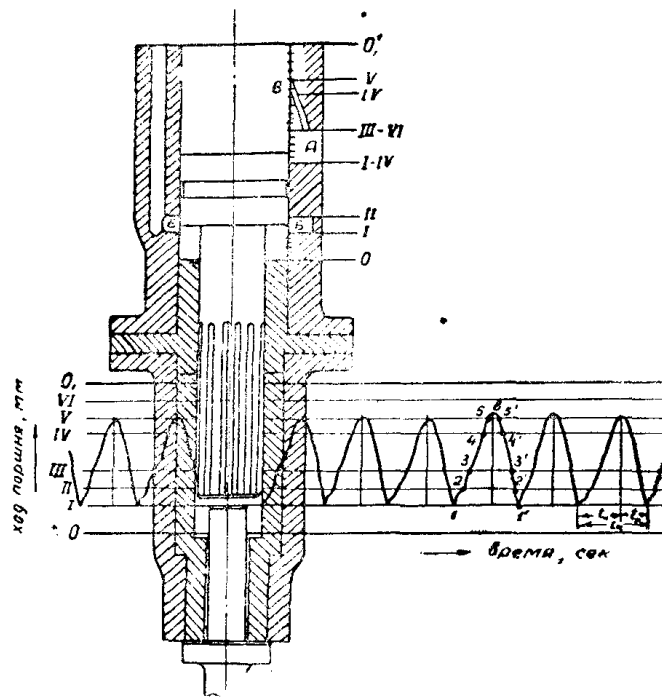


Рис. 3. Макет бурильного молотка для исследования рабочего процесса.

в переднюю полость молотка. Задняя кромка полностью открывает выхлопной канал „А“ на диаграмме хода поршня, эта точка обозначена цифрой 1.

Линия II — передняя кромка поршня находится у задней кромки канала „В“. Половина выхлопного окна „А“ перекрыта поршнем. На диаграмме обратного хода поршня этому соответствует — точка 2, рабочего хода — 2'.

Линия III — задняя кромка поршня находится у задней кромки выхлопного окна „А“. При рабочем ходе (ходе вперед) это соответствует началу выхлопа из задней камеры сжатого воздуха (точка 3'), при обратном ходе — началу частичного сжатия воздуха в задней части цилиндра молотка (точка 3, часть воздуха вытесняется при этом из задней полости через канал „В“).

Линия IV — передняя кромка поршня совпадает с передней кромкой выхлопного окна. При рабочем ходе поршня это соответствует началу сжатия воздуха в передней полости молотка (точка 4'). При обратном ходе — началу выхлопа воздуха из передней полости молотка и началу перекрытия канала „В“ (точка 4).

Линия V — задняя кромка поршня находится у задней кромки канала „В“, который перекрыт поршнем. При обратном ходе это соответствует полной отсечке воздуха в задней полости молотка и началу сжатия его (точка 5). При рабочем ходе — началу открытия канала „В“ и сообщения задней полости цилиндра молотка с атмосферой (точка 5'). Передняя полость цилиндра сообщается с атмосферой каналом „А“, открытым поршнем на 0,5 ширины.

Линия VI — передняя кромка поршня совпадает с задней кромкой окна „А“, выхлопное окно „А“ открыто на всю ширину. Линия O' — теоретически возможное крайнее заднее положение поршня, когда задняя кромка поршня соприкасается с передней стенкой крышки золотниковой коробки. Крайнее переднее положение поршня на диаграмме обозначается буквой „Н“, крайнее заднее положение буквой „В“. В приведенной диаграмме точка „Н“ совпадает с точкой „1“.

Обработка диаграмм хода поршня ведется в следующем порядке:

1. Диаграмма располагается на макете с таким расчетом, чтобы можно было измерить параметры 10-ти циклов, соответствующих устойчивой работе молотка на данном режиме. Для более точного определения величин, характеризующих данный режим работы молотка, обычно исследуются 2 участка диаграммы — один в середине диаграммы, второй близкий к концу записи. На каждом участке анализируются десять циклов.

2. На диаграмму наносятся горизонтальные линии, соответствующие характерным положениям поршня в цилиндре.

3. На выбранном участке диаграммы из каждой вершины кривой, точки — „В“ проводятся вертикальные линии, перпендикулярные нулевой линии. Эти линии являются границами циклов и позволяют определить ход поршня, время целого цикла, время рабочего и обратного хода.

Так как величина пути, проходимого поршнем при ходе вперед и назад, непостоянна (особенно это явно выражается при малых усилиях подачи), то условно считаем за величину хода поршня при данном цикле путь поршня за время рабочего хода — t_p .

Величина хода поршня измеряется миллиметровой линейкой по вертикальной линии от вершины цикла „В“ до точки удара (нижней точки „Н“).

Относительная ошибка измерения величины хода поршня определяется отношением абсолютной ошибки, состоящей из ошибки записывающего прибора = 2 мм (люфт карандаша) и ошибки измерения = 1 мм

$$\frac{\Delta S}{S_{cp}} = \frac{2 + 1}{60} = 0,05 \text{ или } 5\%,$$

где S_{cp} — средняя величина хода поршня молотка ОМ-506.

4. Измеряется расстояние по горизонтали между соседними вершинами циклов и определяется длительность каждого цикла по формуле

$$t'_u = \frac{t_u}{l_u} \cdot l'_u \text{ м/сек,}$$

где t_u — длительность цикла, определенная ранее по числу ударов, имеет относительную ошибку как и число ударов равную 2%;

$$l_u = \frac{\Sigma l'_u}{10} \text{ — средне-арифметическое значение длины цикла, мм;}$$

l'_u — длина данного цикла, мм.

Относительная ошибка определения длительности единичного цикла

$$\frac{\Delta t'_u}{t'_u} = \frac{\Delta t_u}{t_u} + \frac{\Delta l_u}{10l_u} + \frac{\Delta l'_u}{l'_u},$$

где Δl_u — абсолютная ошибка измерения ширины 10 циклов миллиметровой линейкой — 2 мм;

$10l_u = 300$ мм — ширина 10 циклов;

$\Delta l'_u = 2$ мм — абсолютная ошибка измерения ширины одного цикла с учетом люфта карандаша для записи;

$l'_u = 30$ мм — ширина 1 цикла

$$\frac{\Delta t'_u}{t'_u} = 0,02 + \frac{2}{300} + \frac{2}{30} = 0,09 \text{ или } 9\%.$$

5. Измеряются расстояния l'_p и l'_x , соответствующие времени рабочего и времени холостого хода поршня, и вычисляются на этой основе длительность рабочего хода поршня — t'_p и длительность холостого хода поршня — t'_x для каждого цикла из соотношений:

$$t'_p = \frac{t_u}{l_u} \cdot l'_p \quad \text{и} \quad t'_x = \frac{t_u}{l_u} \cdot l'_x.$$

Относительная ошибка определения этих величин

$$\frac{\Delta t'_p}{t'_p} = \frac{\Delta t_u}{t_u} + \frac{\Delta l_u}{10l_u} + \frac{\Delta l'_p}{l'_p} \quad \text{и}$$

$$\frac{\Delta t'_x}{t'_x} = \frac{\Delta t_u}{t_u} + \frac{\Delta l_u}{10l_u} + \frac{\Delta l'_x}{l'_x},$$

где $\Delta l'_p$ и $\Delta l'_x$ — абсолютная ошибка измерения, равная 1 мм;

$l'_p = 12$ мм — средняя ширина рабочего хода поршня на диаграмме;

$l'_x = 18$ мм — средняя ширина холостого хода поршня на диаграмме.

$$\frac{\Delta t'_p}{t'_p} = 0,02 + \frac{2}{300} + \frac{1}{12} = 0,11 \text{ или } 11\%,$$

$$\frac{\Delta t'_x}{t'_x} = 0,02 + \frac{2}{300} + \frac{1}{18} = 0,09 \text{ или } 9\%.$$

6. Вычисляется отношение $t'_x : t'_p$ для каждого цикла. Относительная ошибка вычисления равна сумме ошибок величин, входящих в отношение:

$$\frac{\Delta(t'_x : t'_p)}{t'_x : t'_p} = 11 + 9 = 20\%.$$

7. Определяются скорости движения поршня. Для этого с помощью чертежного прибора измеряется угол между касательной, проведенной к кри-

вой хода поршня в данной точке и горизонталью. Точность измерения угла наклона касательной составляет $0,5^\circ$. Зная угол наклона касательной, определяем скорость поршня в данной точке по формуле:

$$V = m_v \cdot \operatorname{tg} \alpha \text{ м/сек},$$

где α — угол наклона касательной к горизонтали,

m_v — масштабный коэффициент скорости, определяется из соотношения

$$m_v = \frac{m_s}{m_t}.$$

В нашем случае:

$$m_s = 1 \text{ м/м} \text{ — масштаб пути поршня,}$$

$$m_t = \frac{t_u}{l_u} \cdot 1000 \frac{\text{сек}}{\text{м}} \text{ — масштаб времени, получим:}$$

$$m_v = \frac{l_u}{1000 \cdot t_u} = 0,001 \frac{l_u}{t_u} \text{ м/сек.}$$

Отсюда следует, что

$$V = \frac{l_u \cdot \operatorname{tg} \alpha}{1000 \cdot t_u} \text{ м/сек.}$$

Относительная ошибка определения скорости поршня перед ударом составит:

$$\frac{\Delta V_{yo}}{V_{yo}} = \frac{\Delta l_u}{l_u} + \frac{\Delta t_u}{t_u} + \frac{\Delta \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Величины $\frac{\Delta l_u}{l_u}$ и $\frac{\Delta t_u}{t_u}$ были вычислены выше, являются в данном слу-

чае постоянными величинами и составляют $2,1\%$. Следовательно, относительная ошибка вычисления скорости поршня будет зависеть от ошибки измерения тангенса угла наклона кривой хода поршня.

Из рис. 4 видно, что скорость протягивания ленты для записи хода поршня надо выбирать с таким расчетом, чтобы угол наклона кривой в точке удара не превышал 70° . В этом случае относительная ошибка определения скорости поршня не превысит 5% . Наилучшие результаты дает измерение угла наклона кривой, близкого к 45° .

8. Определив скорость движения поршня перед соударением с буром, можно вычислить энергию удара. Под энергией удара мы понимаем значение кинетической энергии поршня перед соударением с буром. Так как скорость движения поршня может быть определена относительно корпуса бурильного молотка, относительно горной породы и относительно инструмента, то и энергия удара будет иметь соответствующее значение, определяемое по формуле:

$$A_{yo} = \frac{M \cdot V_{yo}^2}{2} \text{ кгм},$$

где $M = \frac{Q_n}{g}$ — масса поршня, кг сек²/м;

Q_n — вес поршня молотка ОМ-506 со штоком для записи хода = $2,07$ кг;

g — ускорение силы тяжести;

V_{yo} — относительная скорость движения поршня.

Относительная ошибка определения энергии удара

$$\frac{\Delta A_{уд}}{A_{уд}} = \frac{\Delta M}{M} + 2 \frac{\Delta V_{уд}}{V_{уд}} = \frac{\Delta G_n}{G_n} + 2 \frac{\Delta V_{уд}}{V_{уд}},$$

где $\Delta G_n = 10г$ — ошибка определения веса поршня,

$$\frac{\Delta A_{уд}}{A_{уд}} = \frac{10}{2070} + 2 \cdot 0,05 = 0,1 \text{ или } 10\%.$$

Минимальная ошибка определения энергии удара составляет 8% (для данной методики).

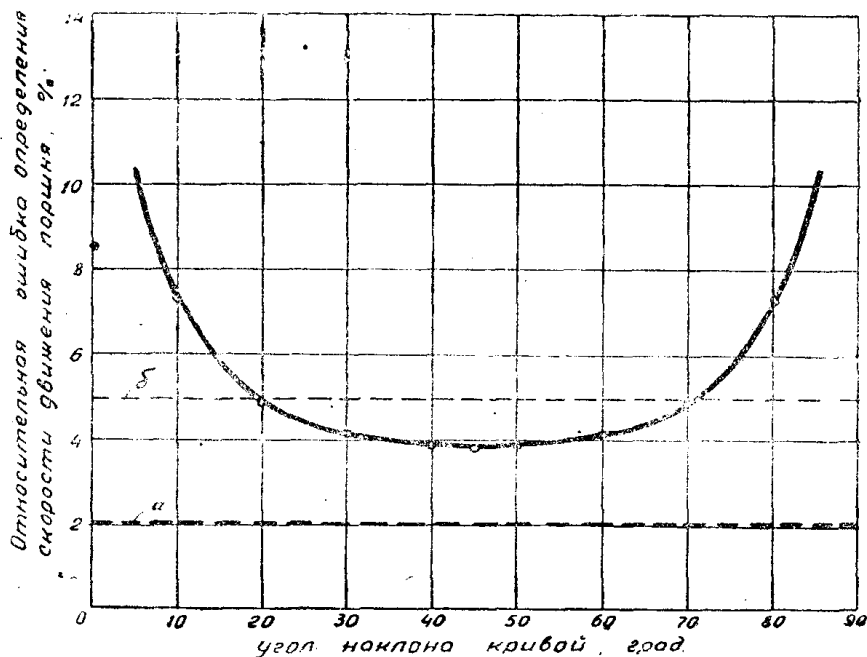


Рис. 4. Зависимость относительной ошибки вычисления скорости движения поршня от угла наклона кривой пути поршня. а — ошибка определения ширины и времени цикла, б — допустимая ошибка.

9. На основе определения энергии удара и числа ударов молотка вычисляется мощность молотка по формуле:

$$N_{уд} = \frac{A_{уд} \cdot n}{60 \cdot 75} \text{ л.с.}$$

Относительная ошибка вычисления

$$\frac{\Delta N_{уд}}{N_{уд}} = \frac{\Delta A_{уд}}{A_{уд}} + \frac{\Delta n}{n} = 0,1 + 0,02 = 0,12 \text{ или } 12\%.$$

10. Зная мощность молотка и скорость бурения, можно определить удельную работу разрушения горной породы при данном режиме работы молотка

$$A_v = k \cdot \frac{N_{уд}}{V} \text{ кгм/см}^3,$$

где k — коэффициент диаметра шпура может быть определен следующим образом: 1 см глубины шпура содержит $\frac{\pi}{4} \cdot d^2$, то есть $0,785 \cdot d^2$, см³ объ-

ема, подставляя диаметр шпура (примерно равный диаметру коронки бура), можно определить объемный эквивалент 1 см глубины шпура. Выражая размерность отношения

$$\frac{N_{уд}}{V} = \left[\frac{\text{л.с.}}{\text{мм/мин}} \right] \text{ через } k \cdot \left[\frac{\text{кгм}}{\text{см}^3} \right],$$

получим значение коэффициента диаметра шпура

$$k = \frac{60.75}{0.785 \cdot d^2} = \frac{5732}{d^2}.$$

Формула удельной работы разрушения примет вид:

$$A_v = \frac{5732 \cdot N_{уд}}{d^2 V} \text{ кгм/см}^3.$$

Относительная ошибка определения:

$$\frac{\Delta A_v}{A_v} = \frac{\Delta N_{уд}}{N_{уд}} + \frac{\Delta V}{V} + 2 \frac{\Delta d}{d},$$

где $\Delta d = 1 \text{ мм}$ — ошибка определения диаметра шпура;
 d — диаметр шпура = 43 мм

$$\frac{\Delta A_v}{A_v} = 0,12 + 0,05 + \frac{2}{43} = 0,22 \text{ или } 22\%.$$

В случае наименьшей ошибки определения энергии удара = 8%, ошибка определения удельной работы разрушения составит 20%, что вполне укладывается в пределах ошибки определения удельной работы разрушения горной породы в результате неравномерности структуры, составляющей 30%.

11. Среднее сжатие верхнего и нижнего буферов определяется тоже с помощью макета. Для этого передняя полость цилиндра ниже впускного окна „Б“ разбивается на 10 частей, каждое деление соответствует сжатию нижней воздушной подушки на 10, 20, 30% и т. д. Отсчет процента сжатия буфера производится с точностью 5% по шкале, нанесенной на макете, и нижней кромке поршня в тот момент, когда нижняя плоскость штока совпадает по горизонтали с точкой удара на диаграмме хода поршня. Верхняя полость цилиндра от кромки выхлопного окна до клапанной коробки тоже разбита на десять частей по 10% сжатия верхнего буфера. Степень сжатия верхнего буфера определяется по верхней кромке поршня с точностью 5%.

Таким же способом определяется степень открытия выхлопного окна при обратном ходе поршня, причем деления нанесены вдоль отверстия канала „А“. Каждое деление соответствует 20% сечения окна, точность отсчета 10%.

В дальнейшем анализ диаграммы хода поршня идет в зависимости от характерных особенностей диаграммы.

Данные, полученные в процессе обработки диаграмм и данных опыта, заносятся в таблицу опытных данных, которая имеет вид:

№ спыгов	P	F	n	t_n	t_x	$V_{уд}$	$A_{уд}$	$N_{уд}$	A_v	V	α_b	H	B_m	B_a
	ати	кг	уд/мин	м.сек	t_p	м/сек	кгм	л.с.	кгм/см ³	мм/мин	град	мм	%	%

Согласно таблице опытных данных строятся графики исследуемых зависимостей.

Проведенные по данной методике исследования [8,9] дали возможность вскрыть ряд зависимостей, которые необходимо учитывать при проектировании новых бурильных молотков и улучшении конструкции существующих.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алимов О. Д. Исследование механизма разрушения горных пород при ударно-вращательном бурении и исходных параметров бурильных молотков. Томск, 1953.
2. Алабужев П. М., Алимов О. Д. Влияние усилия подачи и угла поворота бура между ударами на скорость ударно-вращательного бурения шпуров. Изв. ТПИ, т. 75, 1954.
3. Алимов О. Д. Влияние усилия подачи на скорость бурения пневматическими бурильными молотками. Изв. ТПИ, т. 75, 1954.
4. Блантер М. Е. Методика исследования металлов и обработка опытных данных. Металлургиздат, 1952.
5. Есин Н. Н. Анализ диаграмм рабочего процесса легких бурильных молотков. ЗСФАН, 1953.
6. Сороко-Новицкий В. И. Испытание автотракторных двигателей, Машгиз, 1955.
7. Алимов О. Д., Басов И. Г., Горбунов В. Ф. Методика лабораторного исследования влияния усилия подачи на скорость бурения пневматическими бурильными молотками. Изв. ТПИ, т. 88, 1956.
8. Алимов О. Д., Басов И. Г., Горбунов В. Ф. Исследование влияния усилия подачи, давления воздуха на скорость бурения и рабочий процесс пневматического бурильного молотка РП-17. Изв. ТПИ, т. 88, 1956.
9. Алимов О. Д., Горбунов В. Ф. Некоторые результаты исследования пневматического бурильного молотка ОМ-506. Изв. ТПИ, т. 88, 1956.