ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО
Том 88 ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА 1956 г.

МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ УСИЛИЯ ПОДАЧИ НА СКОРОСТЬ БУРЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ БУРИЛЬНЫМИ МОЛОТКАМИ

О. Д. АЛИМОВ, И. Г. БАСОВ, В. Ф. ГОРБУНОВ

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

На основании данных практики и наших исследований [3] известно, что бурильные молотки в процессе их эксплуатации работают далеко не на оптимальных режимах. В большинстве случаев этот недостаток имеет место из-за отсутствия подающих устройств с соответствующими параметрами.

Выявление основных оптимальных параметров податчиков затрудняется ввиду отсутствия обоснованной методики испытания бурильных молотков. Ниже приводится методика лабораторного исследования влияния усилия подачи на скорость бурения пневматическими бурильными молотками.

Под оптимальными параметрами податчика понимаются технические данные подающего устройства, обеспечивающие такие усилия и такой характер подачи молотка в направлении забоя, при которых:

1) достигается максимально возможная (при прочих равных условиях) скорость бурения;

2) исключается затрата больших физических усилий рабочего-бурильщика на поддержку машины в нужном, для бурения, положении и подачу машины в направлении забоя;

3) устраняется необходимость постоянного вмешательства рабочего для управления машиной.

В настоящее время эту проблему, по нашему мнению, более просто решить при помощи экспериментальных исследований, для чего необходимо:

1. Исследовать влияние усилия подачи на скорость бурения бурильными молотками ОМ-506 и ПМ-508. Выявить усилия и характер подачи, обеспечивающие наибольшие скорости бурения при различном давлении воздуха и различной крепости горных пород.

2. Исследовать, как изменяется внутренний процесс пневматических бурильных молотков при изменении усилия подачи, и выявить усилия подачи, обеспечивающие устойчивую работу ударного и поворотного узлов молотка в процессе бурения.

3. Исследовать влияние усилия подачи на износ инструмента.

4. Выявить возможные размеры автоподатчиков, исходя из наиболее эффективных расположений шпуров при проходке различных выработок.

5. Обобщить опыт, имеющийся в конструировании, исследовании и эксплуатации податчиков бурильных молотков.

На основании сопоставления данных, полученных при решении задач, поставленных выше, можно дать достаточно обоснованные рекомендации для конструирования податчиков бурильных молотков.

В данной работе мы освещаем методику решения первой задачи проблемы—исследования влияния усилия подачи на скорость бурения.

Учитывая условия эксплуатации бурильных молотков, влияние усилия подачи на скорость бурения должно быть выявлено с учетом следующих факторов:

1) при давлении воздуха, подводимого к молотку 4, 5, 6 *ати*,

2) при бурении горных пород различной крепости, в пределах от $f = 4-6$ по таблице профессора Протодьяконова до $f = 16-18$;

3) при бурении шпуров, направленных под различным углом к горизонту; от шпуров, направленных вверх под углом 45°, до шпуров, направленных вертикально вниз;

4) при бурении инструментом различных размеров и формы: а) с диаметром буровой коронки $d = 40$, 60 и 80 *мм* долотчатой и крестообразной формы, б) при длине бура от 0,5 до 4 *м*;

5) при различной интенсивности удаления штыба из шпура: с продувкой и промывкой;

6) усилие подачи должно прикладываться к корпусу бурильного молотка;

7) экспериментальная установка должна позволять изменять усилие подачи в широких пределах и поддерживать это усилие при различной скорости движения корпуса бурильного молотка в процессе бурения. Так как на скорость бурения и устойчивость работы пневматических бурильных молотков оказывают существенное влияние энергия удара, число ударов, угол поворота бура между двумя ударами и характер движения корпуса молотка относительно забоя, то в конструкции установки должны быть предусмотрены соответствующие измерительные устройства. Измерительные устройства не должны оказывать влияния на рабочий процесс бурильного молотка и процесс разрушения горной породы при бурении.

Экспериментальные исследования целесообразно провести как в лабораторных условиях, так и в производственных.

Ввиду сложности проведения подобных исследований мы считаем, что вначале должны быть проведены лабораторные исследования, а затем испытания молотков в производственных условиях.

Экспериментальная установка

Установка для проведения исследования влияния усилия подачи на скорость бурения пневматическими бурильными молотками состояла из шахтной передвижной воздушно-компрессорной станции ЗИФ-ШВКС-5 для получения сжатого воздуха (рис. 1) и стенда для установки молотка и укрепления горной породы во время бурения.

Техническая характеристика компрессора следующая:

1. Производительность компрессора—5 $м^3/мин$.
2. Рабочее давление до 7 *ати*.
3. Мощность электродвигателя компрессора МА—140 $N = 34$ *квт*.

Стенд для испытания бурильных молотков

Для установки и подачи молотка во время опыта и для укрепления горной породы служит специальный стенд, принципиальная схема которого показана на рис. 2.

Конструкция стенда позволяет производить бурение шпуров под различным углом к горизонту, записать во время опыта диаграмму отдачи бурильного молотка, длину шпура, пробуренного за опыт, определить число ударов и число оборотов бура за опыт; определить скорость бурения различных горных пород при различном давлении воздуха и различном усилии подачи. При дополнительных приспособлениях на стенде можно записать

одновременно диаграмму движения поршня-ударника, диаграмму колебания корпуса молотка и диаграмму движения бура во время бурения.

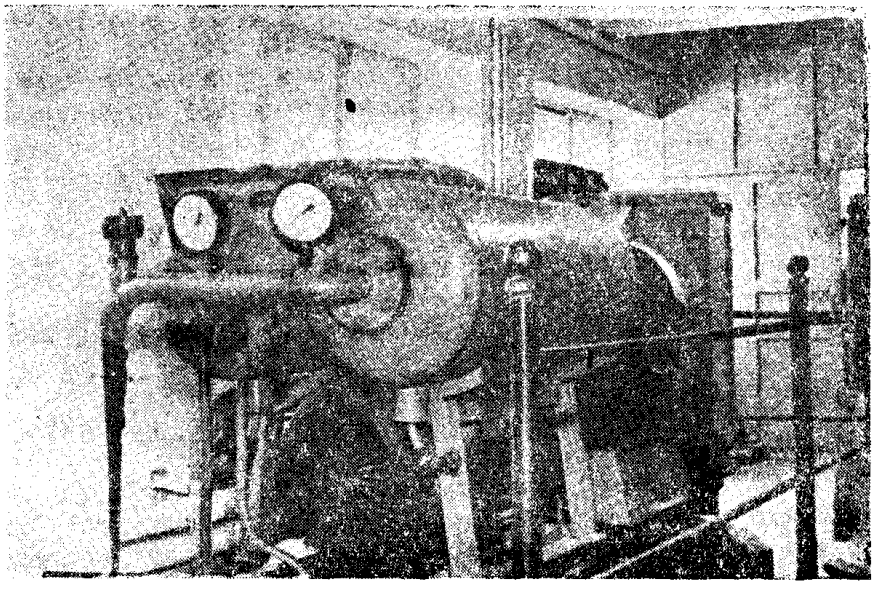

Рис. 1. Шахтная передвижная воздушно-компрессорная станция ЗИФ—ШВКС-5.

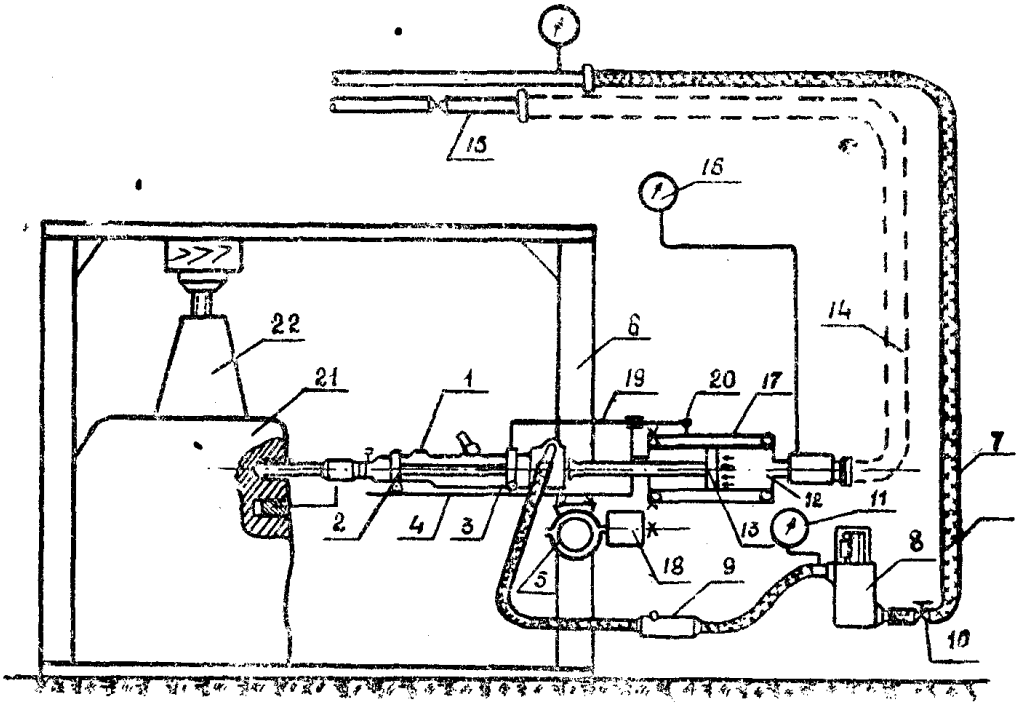

Рис. 2. Схема стенда для испытаний пневматических бурильных молотков.

Испытуемый молоток 1 (рис. 2) зажимными планками укрепляется в каретке 2, которая на колесах 3 перемещается в пазах направляющей рамы 4. Направляющая рама 4 укреплена с помощью обоймы на траверсе 5, закрепленной хомутами на стойках сварной рамы стенда 6. Конструкция обоймы позволяет перемещать направляющую раму вдоль траверсы, а также пово-

рачивать направляющую раму относительно вертикальной оси обоймы. Обойма может поворачиваться вокруг оси траверсы, что позволяет установить молоток под углом к основанию рамы. Закрепление направляющей рамы в определенном положении осуществляется стяжными болтами. Траверсу можно перемещать вверх и вниз по стойкам рамы и при помощи хомутов закреплять в требуемом положении.

Питание молотка сжатым воздухом осуществляется от воздухосборника через резиновый шланг 7 с последовательно включенным воздухомером 8 и магистральной масленкой 9.

Изменение давления воздуха, подводимого к молотку, осуществляется вентилем 10 и контролируется по манометру 11.

Для создания осевого усилия подачи на молоток служит пневматическое нажимное устройство, состоящее из цилиндра 12 и поршня со штоком 13. Цилиндр 12 соединяется резиновым шлангом 14 с трубопроводом, идущим от компрессорной станции. В цилиндре 12 имеется отверстие, сообщающее цилиндр с атмосферой. При помощи дросселирования воздуха из цилиндра податчика через отверстие диаметром в 2,5 *мм* достигается постоянное давление, а следовательно, и постоянное усилие подачи в процессе бурения.

Для исключения возможности изменения давления воздуха в подающем цилиндре за счет сжатия его при колебаниях корпуса молотка поршневой податчик присоединен к сети через шланг увеличенного диаметра $d = 52$ *мм*, длиной $l = 4$ *м*. Колебания корпуса молотка при каждом ударе не могут значительно изменить давление в податчике, так как при амплитуде отдачи 2—3 *мм* степень дополнительного сжатия воздушного буфера с учетом воздухоподводящего шланга большего диаметра будет составлять менее $\frac{1}{1000}$ от первоначального объема.

Изменение усилия подачи осуществляется за счет изменения давления воздуха в цилиндре 12 при помощи крана 15 и контролируется по манометру 16.

Для записи диаграммы колебаний корпуса молотка в процессе бурения на цилиндре 12 смонтирован вращающийся барабан 17, который приводится во вращение с помощью ременной передачи от электродвигателя с зубчатым редуктором 18.

К корпусу испытуемого молотка присоединяется стержень 19 с карандашом 20, который и производит запись колебаний корпуса молотка по времени на листе бумаги, закрепленном на барабане.

Бурильный молоток устанавливается на стенде без бурodержателя.

Образец горной породы 21, предназначенный для бурения, устанавливается в раме стенда и укрепляется при помощи домкрата 22.

Техническая характеристика стенда

1. Диаметр поршня податчика, *мм* — 55,5.
2. Площадь поршня податчика, $см^2$ — 23,7.
3. Ход поршня податчика, *мм* — 372.
4. Диаметр барабана для записи диаграмм отдачи, *мм* — 170.
5. Длина окружности барабана для записи диаграмм отдачи, *мм* — 535.
6. Время одного оборота барабана, *сек* — 1,75.
7. Размеры внутренней полости рамы стенда (высота, ширина, длина), *мм* — 1475 × 1040 × 1910.
8. Вес тележки, *кг* — 6,050.
9. Вес штока и поршня податчика, *кг* — 4,930.

Пыль, образующаяся во время бурения, удаляется из помещения при помощи вентилятора „Проходка-500".

Порядок проведения опыта

Перед началом отсчета исследуемых величин забуривался шпур на глубину 3—4 *см*. Предварительное бурение производилось при небольшом рабочем давлении (порядка 4 *ати*) и небольшом усилии принудительной подачи. После забуривания проводилась регулировка давления воздуха, подводимого к молотку и податчику, до заданных величин при работающем молотке. Затем молоток выключался.

Запись диаграммы колебаний корпуса молотка велась в следующем порядке: при выключенном молотке и неснятом осевом усилии на молоток с помощью карандаша 20 (рис. 2) на бумаге, укрепленной на вращающемся барабане 17, наносилась начальная линия 1 (рис. 3). Далее молоток снова включается с одновременным пуском секундомера. В процессе опыта карандашом, прижатым к бумаге, на вращающемся барабане вычерчивалась кривая „путь корпуса—время"—2. В конце записи кривой 2 молоток выключался с одновременным выключением секундомера, после чего наносилась линия 3.

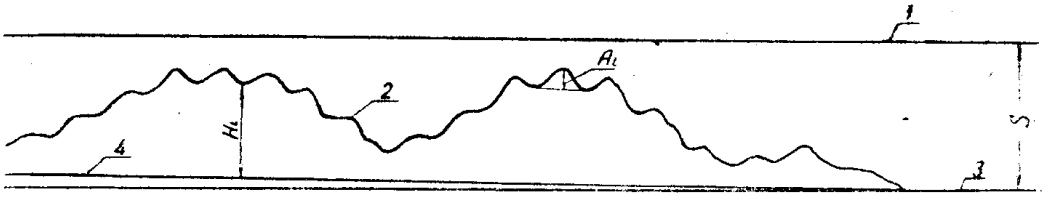

Рис. 3. Диаграмма отдачи пневматического бурильного молотка.

Величина подвигания забоя шпура за время опыта определялась измерением расстояния между линиями 1 и 3. Запись кривой 2 производилась в средине опыта и перед концом бурения. При больших усилиях подачи и значительной скорости бурения запись велась в процессе всего опыта.

По выполнению каждого опыта в предварительно составленный журнал наблюдений вносился номер опыта, а также ставился номер и на диаграмме отдачи. Кроме того, в журнал заносилось время бурения, давление воздуха у молотка при его работе, давление воздуха в податчике и число оборотов бура, которое определялось путем наматывания бечевки на бур или при помощи специального прибора (рис. 4).

Перед каждым опытом шпур продувался и тем самым освобождался от мелочи разрушенной породы. Удаление буровой мелочи в процессе бурения осуществлялось продувкой.

Каждый опыт проводился при определенном давлении воздуха, подводимого к молотку (4, 5 или 6 *ати*), и определенном давлении воздуха в податчике. По мере проведения опытов давление в податчике повышалось через 0,5 *ати* (0,5—1,0—1,5—2,0 и т. д.) до того момента, пока молоток не переставал работать. На каждом усилии подачи проводилось не менее 4 опытов. При испытании фиксировались усилия, при которых молоток работает наиболее устойчиво; усилие, при котором молоток нельзя запустить без предварительной оттяжки молотка от забоя; усилие, при котором молоток глохнет.

Прибор для измерения числа оборотов бура

Одним из основных факторов, влияющих на процесс разрушения горных пород при ударно-вращательном бурении, является угол поворота бура между двумя ударами.

Для определения угла поворота бура при исследовании режимов работы бурильных молотков в процессе бурения производят одновременно

Форма журнала наблюдений

№ пп	Давление воздуха у молотка, *ати*	Давление воздуха в податчике, *ати*	Усилие подачи, *кг*	Время бурения, *сек*	Глубина шпура, пробуренная за опыт, *мм*	Скорость бурения, *мм/мин*	Число оборотов бура за опыт	Число оборотов бура в минуту	Угол поворота бура между двумя ударами, град	Средняя величина отхода бурильн. молотка от бура, *мм*	Средняя величина амплитуды за один удар, *мм*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

измерение числа ударов и числа оборотов бура. Для определения числа ударов в минуту имеются достаточно разработанные измерительные приборы в виде вибрационных тахометров. Для определения скорости вращения бура применить обычные тахометры затруднительно, так как помимо прерывистого вращения бур совершает возвратно поступательное движение с большой скоростью. Ввиду отсутствия специальных приборов скорость вращения бура при исследовании работы бурильных молотков измерялась при помощи бечевки. Сущность этого способа заключается в том, что на бур перед началом бурения закрепляется конец тонкой бечевки. При работе молотка бечевка наматывается на бур, число витков веревочки, намотанной на буре, соответствует числу оборотов его за опыт. Засекая время работы молотка по секундомеру и измеряя число витков бечевки на буре после бурения, получают необходимые данные для вычисления средней величины угла поворота бура между двумя ударами за опыт.

Несмотря на простоту принципа, замер числа оборотов бура бечевкой занимает очень много времени за счет затраты времени на подсчет числа витков при разматывании бечевки с бура.

В процессе испытания бурильных молотков ОМ-506 и ПМ-508 студентами Томского политехнического института Проскуриным Б. П. и Ворониным В. В. был разработан простой прибор для определения числа оборотов бура за опыт. Общий вид прибора показан на рис. 4 и 5.

Прибор (рис. 5) состоит из втулки 1, зубчатого колеса 2, корпуса с рукояткой 3 и ограничителя 4. Втулка 1 свободно вращается в направляющих корпуса. При помощи внутреннего паза втулка может соединяться с шестигранным буром. Зуб, укрепленный на внешней стороне втулки 1, при ее вращении входит в зацепление с косыми зубьями колеса 2 и при каждом повороте поворачивает зубчатое колесо. Зубчатое колесо свободно вращается относительно оси 5.

Угол наклона и длина зубьев колеса 2 подобраны таким образом, что при каждом проходе зубка втулки колесо поворачивается на один зуб. Для того чтобы исключить возможность вращения колеса по инерции в то время, когда зубок не находится в зацеплении с колесом, колесо притормаживается при помощи пружинного ограничителя 4. Для этой же цели колесо

целесообразно изготовить из легкого материала. В первом экземпляре для прибора было использовано текстолитовое зубчатое колесо от распределительного валика автомашины ГАЗ-51 с числом зубьев $z = 50$. Деления, нанесенные на зубчатом колесе, соответствуют числу зубьев колеса, т. е. от нуля до 50.

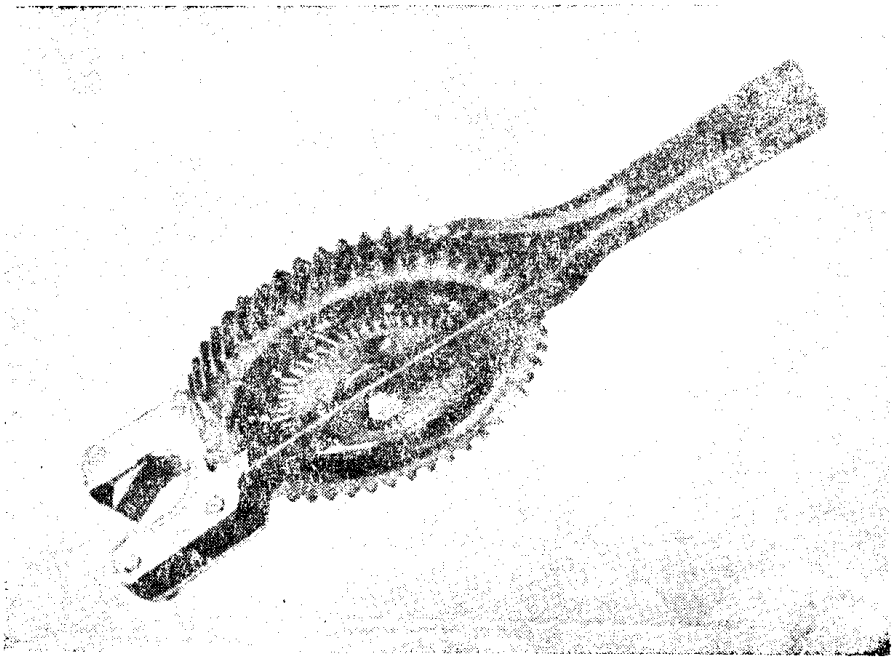

Рис. 4. Прибор для измерения числа оборотов бура.

Прибор соединяют с буром так, что бур проходит через паз втулки, затем несколько поворачивают втулку относительно прибора так, чтобы риска на щеках направляющей втулки совпала с отметкой на втулке „*О*". Нулевое деление зубчатого колеса устанавливают против стрелки указателя 6, закрепленной на оси колеса 2. Включают молоток. Бур, вращаясь, вращает втулку и зубчатое колесо. По истечении времени, необходимого для опыта, молоток выключают. Цифра, которая находится против указателя 6, обозначает целое число оборотов бура за время, равное времени опыта, а цифра, совпадающая с риской на направляющей втулке, показывает доли оборота.

Если принять, что бур пневматического молотка вращается со скоростью 300 ÷ 50 оборотов в минуту, то имеющихся делений прибора достаточно для проведения опыта в течение от 10 до 60 *сек.*, что достаточно для определения других характеристик режима с необходимой точностью. При необходимости определить число оборотов за больший промежуток времени необходимо заметить, сколько целых оборотов совершит нулевая пометка колеса.

Исправный прибор не создает значительных сопротивлений вращению бура и, как показали специальные опыты, не оказывает влияния на изменение режима работы бурильного молотка.

За счет применения указанного прибора время, необходимое на проведение опыта, сокращается в 2—3 раза.

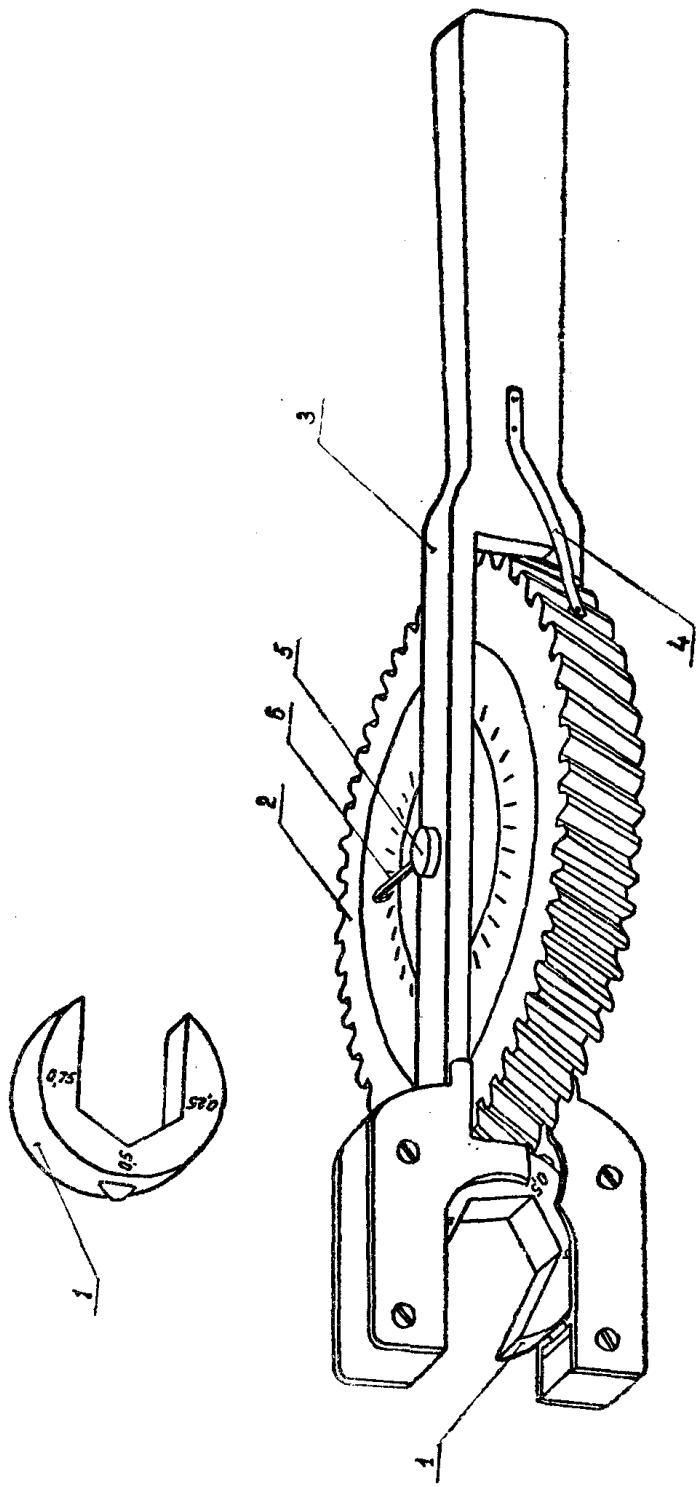

Рис. 5. Прибор для измерения числа оборотов бура.

Обработка экспериментальных данных

Из диаграммы „путь корпуса—время" (рис. 3) определяются следующие величины:

1) продолжительность опыта;
2) скорость бурения за опыт в *мм/мин*;
3) число ударов поршня-ударника в *мин*;

4) средняя величина отхода корпуса бурильного молотка от ограничительного буртика бура в *мм*;

5) средняя величина амплитуды колебания корпуса за один удар в *мм*.

Для определения скорости бурения за опыт измеряется расстояние между начальной линией 1 (рис. 3), записанной до включения бурильного молотка, и линией 3, нанесенной после работы бурильного молотка. Тем самым определяется глубина продвигания шпура за опыт S. Скорость бурения определяется как частное от деления глубины пробуренного шпура за опыт на время опыта $t_{оп}$, определяемого с ошибкой 2% [2]

$$V = \frac{S.60}{t_{оп}} \text{ мм/мин.}$$

Относительная ошибка вычисления $\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta t_{оп}}{t_{оп}}$,

где ΔS — абсолютная ошибка замера величины пробуренного шпура за опыт линейкой $= 1$ *мм*;

S — средняя величина пробуриваемого за опыт шпура, в свою очередь, зависит от продолжительности опыта и крепости горной породы. На рис. 6 показана величина относительной ошибки определения скорости бурения в зависимости от продолжительности опыта для различных горных пород—песчаника с крепостью $f = 4—6$ и гранита $f = 16—18$ по Протодьяконову.

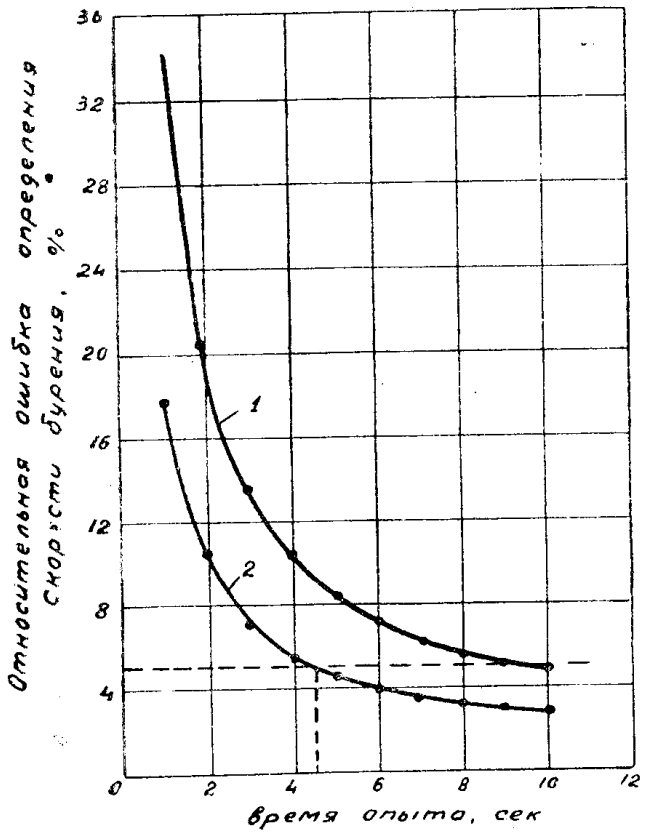

Рис. 6. Изменение величины относительной ошибки определения скорости бурения в зависимости от длительности опыта.
1 — при бурении горных пород $f = 16 \div 18$,
2 — при бурени горных пород $f = 4 \div 6$.

Из графика следует, что относительная ошибка определения скорости бурения не превышает 5% при длительности опыта 5—10 *сек* для горных пород крепостью не выше $f = 18$. Следовательно, в зависимости от крепости горной породы необходимо выбирать и длительность опыта. Например, для песчаника крепостью 4—6 длительность опыта 5 *сек* обеспечивает вычисление скорости бурения с точностью $\pm 5\%$.

Число ударов бурильного молотка определяется по формуле:

$$n_{уд} = \frac{60.a}{t_1} \text{ уд/мин,}$$

где a — число колебаний корпуса молотка за один удар, взятых из диаграммы на отрезке кривой 2, равном длине окружности барабана,

t_1 — время одного оборота барабана, *сек*.

Относительная ошибка вычисления числа ударов, определена нами [2] и составляет 2%.

Средняя величина отхода корпуса бурильного молотка от ограничительного буртика бура определяется по формуле:

$$H_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} H_i}{n},$$

где H_i — отдельный отход корпуса бурильного молотка от ограничительного буртика бура, соответствующий каждому удару, *мм*,

n — число замеров.

Замер отдельных отходов H_i производится от линии продвигания забоя 4, (рис. 3) до нижних горбов кривой 2. Линия продвигания забоя 4 намечается на основании предположения, что скорость бурения за опыт постоянная и проводится на диаграмме из точки пересечения кривой 2 с линией 3. Угол наклона линии внедрения к линии 3 определяется расстоянием X, которое вычисляется по формуле: $X = \frac{S}{n_1}$,

где S — глубина шпура, пробуренного за опыт, *мм*,

n_1 — число оборотов барабана за опыт, определяется из формулы:

$$n_1 = \frac{t_{on}}{t_1}, \quad \text{тогда } X = \frac{S.t_1}{t_{on}}.$$

Отрезок X откладывается перпендикулярно нулевой линии 3 на расстоянии от точки пересечения кривой с линией 3, равном длине окружности барабана L (рис. 3).

Если длина бумажной ленты не позволяет отложить отрезок L, то можно взять меньший отрезок, соответственно уменьшив отрезок X до величины $X_1 = X \frac{L_1}{L}$.

Амплитуда колебаний корпуса молотка находится непосредственным измерением с последующим усреднением за опыт по формуле:

$$A_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{A_i}{2}}{n} \text{ мм},$$

где $\frac{Ai}{2}$ — амплитуда отдельного колебания, *мм*,

n — число замеров.

Число оборотов бура в минуту определяется из формулы

$$n_б = \frac{n_{б'}.60}{t_{on}},$$

где $n_{б'}$ — число оборотов бура за опыт.

Угол поворота бура между ударами определяется по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{n_б.360}{n_{уд}} \text{ град/удар},$$

где $n_б$ — число оборотов бура в минуту,

$n_{уд}$ — число ударов бура в минуту.

Относительная ошибка определения угла поворота бура

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta n'_\delta}{n'_\delta} + \frac{\Delta t_{on}}{t_{on}} + \frac{\Delta n}{n},$$

где Δn_δ — абсолютная ошибка определения числа оборотов бура за опыт. Принимаем $\Delta n_\delta = 0{,}5$ оборота при определении числа оборотов бура бечевкой и $\Delta n_\delta = 0{,}25$ при измерении прибором.

Величина относительной ошибки определения угла поворота бура между ударами может быть найдена из рис. 7.

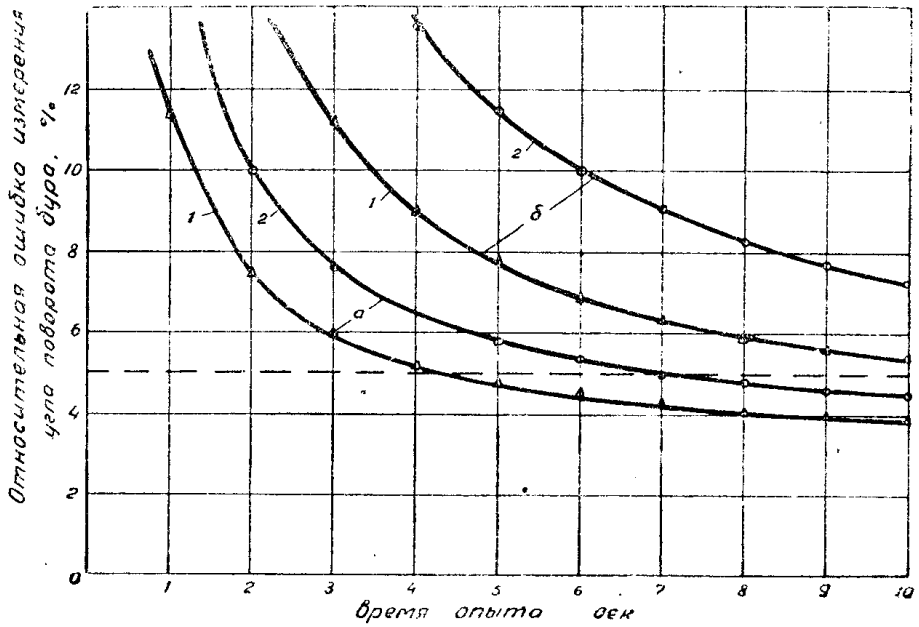

Рис. 7. Зависимость относительной ошибки измерения угла поворота бура от способа замера и продолжительности опыта. 1 — измерение прибором с точностью 0,25 оборота; 2 — измерение бечевкой с точностью 0,5 оборота. *а* — скорость вращения бура 300 *об/мин*; *б* — скорость вращения бура 80 *об/мин*.

Из графика видно, что допустимая относительная ошибка определения угла поворота бура—5% может быть достигнута при длительности опыта 5—7 *сек* в случае работы молотка при малых усилиях подачи. При работе молотка со значительным усилием подачи, чтобы получить точность определения угла поворота бура 5%, необходимо увеличить продолжительность опыта до 12 *сек* (при замере n_δ' прибором) и до 20 *сек* (при замере n_δ' бечевкой).

После проведения опытов производится определение средних результатов, вычисление средне-квадритичной ошибки и коэффициента вариации.

По полученным средним результатам строятся графики основных параметров режима работы молотка в зависимости от усилия подачи и анализируется влияние усилия подачи.

На основании данной методики по заданию „Главуглемаша“ и завода „Пневматика“ были проведены лабораторные испытания бурильных молотков типа ОМ-506, ПМ-508 и РП-17 [3].

В результате исследований было выяснено, что усилие подачи оказывает существенное влияние на скорость бурения пневматическими бурильными молотками. С изменением усилия подачи скорость бурения, при прочих одинаковых условиях, изменяется в 2—3 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидоренко А. К. Автоматизация подачи пневматических бурильных молотков. Горный журнал, № 11, 1954.

2. Алимов О. Д., Басов И. Г., Горбунов В. Ф., Серов Я. А. Методика проведения опытов при исследовании ударных узлов пневматических бурильных молотков и обработка опытных данных Известия ТПИ, т. 88, 1956.

3. Алимов О. Д., Басов И. Г., Горбунов В. Ф. Лабораторные исследования влияния усилия подачи на скорость бурения пневматическими бурильными молотками ОМ-506, ПМ-508 и РП-17. Отчет о работе, 1955.