

ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНОГО УЗЛА ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО БУРИЛЬНОГО МОЛОТКА

А. С. СИМОНОВ, Я. А. СЕРОВ, В. Ф. ГОРБУНОВ, Н. Н. РОДЮКОВ

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

Введение

В настоящее время бурение шпуров в крепких породах осуществляется в основном пневматическими бурильными молотками. Существенным недостатком этого способа бурения является высокая стоимость энергии сжатого воздуха. Отсюда вытекает необходимость создания электрических бурильных машин, способных бурить крепкие породы.

За последнее время научно-исследовательскими институтами и заводами было сконструировано и изготовлено несколько новых конструкций электрических и электропневматических бурильных молотков [1].

Достаточно подробно принцип работы ударных узлов электропневматических молотков изложен П. М. Алабужевым в его докторской диссертации [2]. Коллективом кафедры „Горные машины и рудничный транспорт“ Томского политехнического института были проведены дополнительные исследования работоспособности ударного узла электропневматического молотка при бурении горных пород различной крепости. Целью этих исследований было выявление наиболее выгодного расположения компенсационного отверстия и рациональной величины воздушной подушки, обеспечивающих наибольшую скорость бурения при минимальном удельном расходе мощности проектируемого ТЭМЗом мощного электропневматического бурильного молотка.

Описание экспериментальной установки и обработка опытных данных

Экспериментальная установка состоит из следующих основных частей: ударного и поворотного узла, бурового инструмента, устройств для продувки шпура, для подачи бура на забой, опорного узла и контрольно-измерительной аппаратуры.

Ударный узел (рис. 1) состоит из цилиндра 1, поршня 2 и бойка 3. При работе ударного узла боек и поршень совершают возвратно-поступательное движение в цилиндре 1. При движении вперед боек наносит удары по торцевой части передаточной втулки, в которой закреплен буровой инструмент. Возвратно-поступательное движение поршня осуществляется с помощью кривошипно-шатунного механизма 4. Кривошипно-шатунный механизм приводится в движение электродвигателем трехфазного тока 5 (мощностью $N = 2,7$ квт, числом оборотов $n = 1460$ об/мин) через клино-ременную передачу 6 с передаточным числом $i = 1,12$. Между поршнем и бойком находится воздушная подушка, величина которой меняется за счет изменения длины хвостовика передаточной втулки при помощи шайб 7 в пределах от

0 до 65 мм. Для компенсации утечек воздуха из воздушной подушки вдоль ствола цилиндра имеется ряд компенсационных отверстий 8, которые могут перекрываться винтовыми пробками.

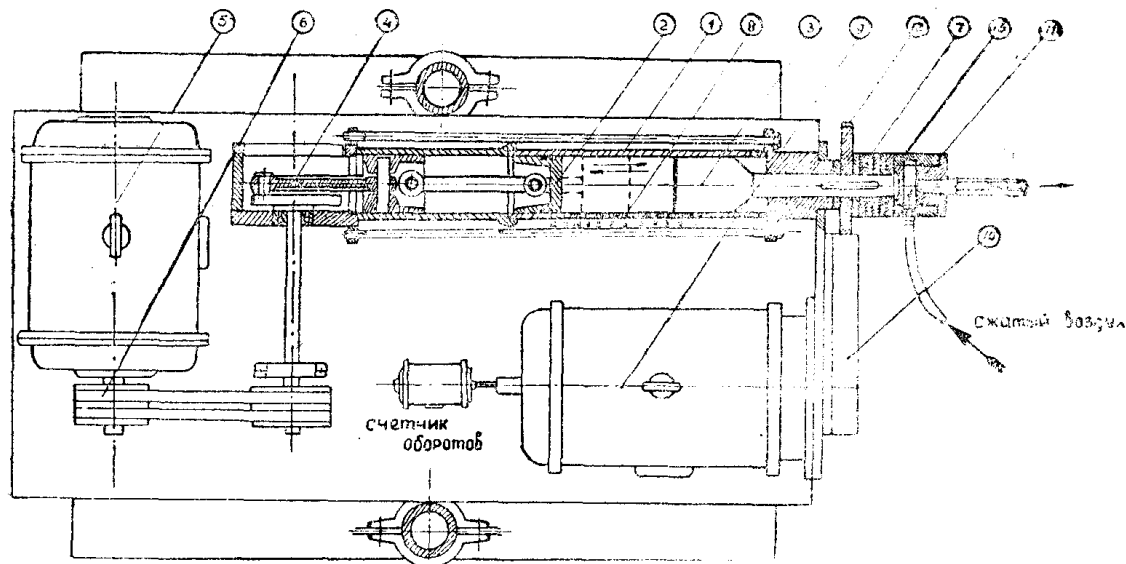


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки.

Узел вращения бура состоит из двигателя постоянного тока 9 и редуктора 10. Редуктор состоит из двух пар прямозубых цилиндрических шестерен с общим передаточным числом $i=5,2$. Корпус редуктора прикреплен к передней стенке цилиндра и к фланцевой части электродвигателя. Вращательное движение буровой инструмент получает от передаточной втулки 11, на которой посажена ведомая шестерня редуктора. Передаточная втулка имеет удлиненный шпоночный паз и благодаря этому может не только вращаться вместе с ведомой шестерней редуктора, но и иметь продольное перемещение относительно установленной на ней шестерни 12. В качестве бурового инструмента использован бур с однолопастной коронкой $d=42$ мм, армированной твердым сплавом ВК-15. Бур изготовлен из буровой стали $d=25$ мм, $l=1$ м. Своим коническим хвостовиком бур входит в торцевое коническое углубление передаточной втулки 11, которая и передает ему вращательное и поступательное движение. Для удаления буровой пыли, образующейся в шпуре, использован боковой способ подачи сжатого воздуха в шпур через специальную муфту 13, надежную на передаточную втулку. Воздух, сжатый до давления 2—3 атм, подводится к муфте по гибкому шлангу 14 от компрессора ШВКС-5. Из муфты воздух поступает в поперечный паз передаточной втулки и далее через осевое отверстие передаточной втулки и бура в шпур. Для удаления буровой пыли из помещения лаборатории использован вентилятор „Полотки 500“.

Подача ударного узла с инструментом осуществляется грузом, укрепленным на тросе. Трос переброшен через блок и вторым своим концом укреплен к подвижной части стенда. Подвижная часть стенда представляет собой плиту, на которой закреплены ударный и поворотный узлы. Плита, при помощи каретки имеет свободное продольное перемещение по направляющим пазам винтового податчика.

Опорный узел состоит из горизонтальной траверсы и с передвигающейся по ней обоймы. Траверса укреплена хомутами к вертикальным стойкам, приваренным к раме установки. Рама установки сварена из двух швеллеров и двух поперечных угольников. В обойме траверсы крепится винтовой податчик с кареткой и находящимся на ней молотком. Конструкция обоймы

позволяет изменять направление бурения как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях.

Бурение шпуров производилось в граните с коэффициентом крепости $f=13-15$ и песчанике с коэффициентом крепости $f=6-8$.

Образцы породы устанавливались в раме специального стенда и укреплялись домкратами.

Параметры ударного узла

Наименование	Показатели
Число ударов, уд/мин	1300
Диаметр цилиндра, мм	68
Ход першня, мм	87
Радиус кривошипа, мм	43,5
Вес бойка, кг	2
Диаметр компенсационного отверстия, мм	5
Расстояние между компенсационными отверстиями, мм	10-15

На основании исследований определялись следующие величины:

а) скорость бурения

$$V = \frac{l}{t} \cdot 60 \text{ мм/мин},$$

где l — глубина пробуренного шпура за опыт, мм,
 t — продолжительность бурения, сек;

б) мощность, потребляемая ударным узлом

$$N_{уд} = 3 \cdot W \cdot 30 \text{ ватт},$$

где 3 — число фаз,

W — показание ваттметра в делениях,

30 — постоянная прибора для данных пределов измерения по току и напряжению [3];

в) мощность, потребляемая узлом вращения

$$N_{вр} = U \cdot I \text{ ватт},$$

где U — напряжение постоянного тока, вольт,

I — потребляемая сила тока, ампер;

г) число ударов молотка

$$n_m = \frac{n_{уд}}{i_{уд}} \text{ уд/мин},$$

где $n_{уд}$ — число оборотов электродвигателя ударного узла,

$i_{уд}$ — передаточное число клино-ременной передачи;

д) число оборотов бура

$$n_б = \frac{n_{вр}}{i_{вр}} \text{ об/мин},$$

где $n_{вр}$ — число оборотов электродвигателя узла вращения,

$i_{вр}$ — передаточное число редуктора.

Для построения графиков из таблиц результатов эксперимента определялись.

1. Средне-арифметические значения:

а) скорости бурения, *мм/мин*,

б) мощности, затрачиваемой на удар, *ватт*,

в) мощности, затрачиваемой на вращение, *ватт*.

По формуле:

$$A_{\text{ср. ар.}} = \frac{\Sigma A}{n_{\text{оп}}},$$

где ΣA — сумма значений величин за каждую серию опытов (для данного компенсационного отверстия или данной величины воздушной подушки),

$n_{\text{оп}}$ — количество опытов в серии.

2. Объемная работа разрушения по формуле:

$$\Delta A_v = \kappa \frac{N_{\text{ср. ар.}}}{V_{\text{ср. ар.}}}, \text{ кгМ/см}^3,$$

где $N_{\text{ср. ар.}}$ — средне-арифметическое значение мощности для данной серии опытов,

$V_{\text{ср. ар.}}$ — средне-арифметическое значение скорости бурения при той же серии опытов,

κ — коэффициент диаметра шпура, который может быть определен следующим образом:

$$\frac{\text{ватт}}{\text{мм/мин}} = \frac{0,001 \text{ квт} \cdot 60 \text{ сек}}{0,1 \text{ см}} = \frac{61,2 \text{ кгМ}}{\text{см}},$$

т. к. 1 см шпура соответствует объему $= \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot 1 = 0,785 d^2 \text{ см}^3$, то получим:

$$\frac{\text{ватт}}{\text{мм/мин}} = \frac{61,2}{0,785 \cdot d^2} \text{ кгМ/см}^3,$$

а так как d шпура $\approx d$ коронки, то

$$\frac{\text{ватт}}{\text{мм/мин}} = \frac{61,2}{0,785 \cdot 4,2^2} = 4,37 \text{ кгМ/см}^3,$$

следовательно,

$$\kappa = 4,37 \text{ кгМ/см}^3.$$

3. Величина средне-квадратичной ошибки для каждого средне-арифметического значения по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma \Delta^2}{n_{\text{оп}} - 1}},$$

где $\Sigma \Delta$ — сумма отклонений опытных величин от их средне-арифметического значения,

$n_{\text{оп}}$ — количество опытов. Коэффициент вариации (процентный показатель средне-квадратичной ошибки):

$$v = \frac{\sigma \cdot 100}{A_{\text{ср. ар.}}} \%,$$

Величина средне-квадратичной ошибки и коэффициента вариации дает возможность не только оценить точность опыта, но и судить об устойчивости работы ударного узла при данном режиме.

Полученные значения величин были занесены в таблицы, на основании которых и построены графики (рис. 2, 3, 4, 5, 6, 7).

Анализ полученных зависимостей

Влияние положения компенсационного отверстия на работу ударного узла

Из графика, рис. 2, видим, что скорость бурения молотка изменяется по некоторой ломаной кривой и максимального значения достигает при работе на 5, 6 и 7 компенсационных отверстиях (рис. 1).

При работе ударного узла на крайних компенсационных отверстиях скорость бурения резко уменьшается и наиболее низкую величину имеет на 8 и 10 компенсационных отверстиях. Следует указать, что при малых скоростях бурения наблюдается наиболее устойчивый режим работы ударного узла как при бурении по песчанику, так и по граниту. При бурении по песчанику ударный узел наиболее устойчиво работает на 4 и 10 компенсационных отверстиях, при бурении по граниту — на третьем отверстии. При больших скоростях бурения (при работе на 5, 6 и 7 компенсационных отверстиях) ударный узел имеет менее устойчивые режимы.

Сравнивая скорости бурения молотка при работе ударного узла на различных компенсационных отверстиях и исходя из устойчивости режима, следует выделить компенса-

ционное отверстие 6. Отверстие 6 расположено на расстоянии 82 мм от передней стенки поршня (что соответствует 178% длины воздушной подушки), когда поршень находится в заднем крайнем положении и на расстоянии 5 мм от кромки поршня при его переднем положении (что соответствует 10,8% длины воздушной подушки).

При работе ударного узла на 6 компенсационном отверстии молоток имеет максимальную скорость бурения и относительно устойчивый режим работы. Так как опыты проводились при постоянном числе ударов в минуту и постоянном числе оборотов бура, то можно предполагать, что скорость бурения изменяется пропорционально изменению ударной мощности. Кривая мощности при бурении по песчанику (рис. 3) несколько напоминает кривую скорости бурения, то есть увеличение скорости бурения соответствует и увеличению мощности, потребляемой ударным узлом. Наибольшего значения мощность достигает при работе на 6, 7 компенсационных отверстиях (что соответствует максимальной скорости бурения), а затем падает и снова уве-

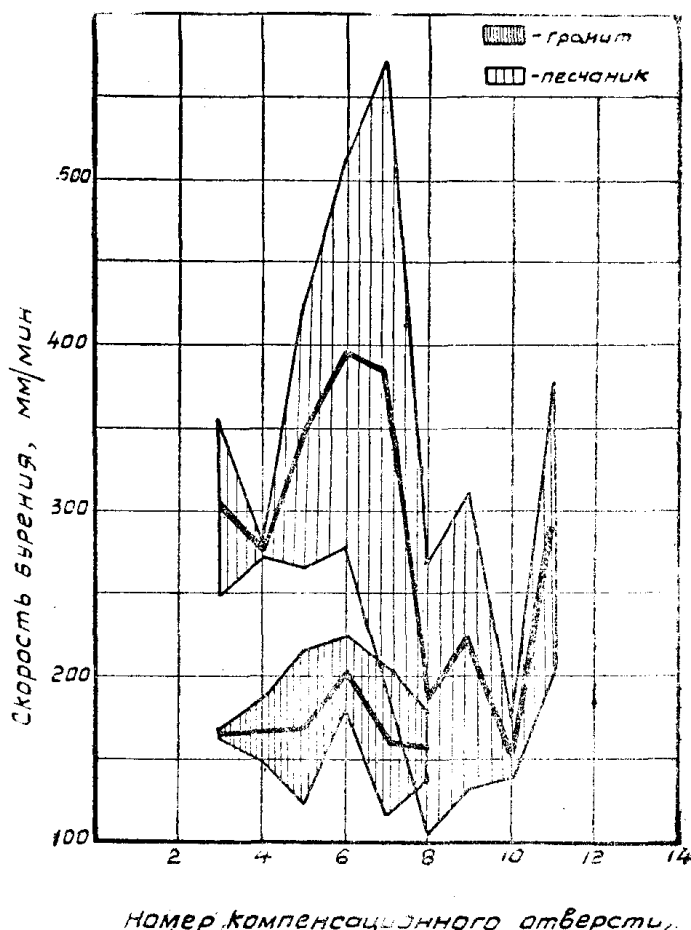


Рис. 2. Зависимость скорости бурения от положения компенсационного отверстия.

личивается при компенсации утечек на 9 и 10 отверстиях и максимального значения достигает при работе на 11 компенсационном отверстии. При бурении по граниту кривая мощности достигает максимального значения при работе на 7 и 8 компенсационных отверстиях. Кривая мощности при бурении по граниту проходит несколько выше, чем при бурении по песчанику. Расход мощности на удар при бурении по граниту на 30—50% больше,

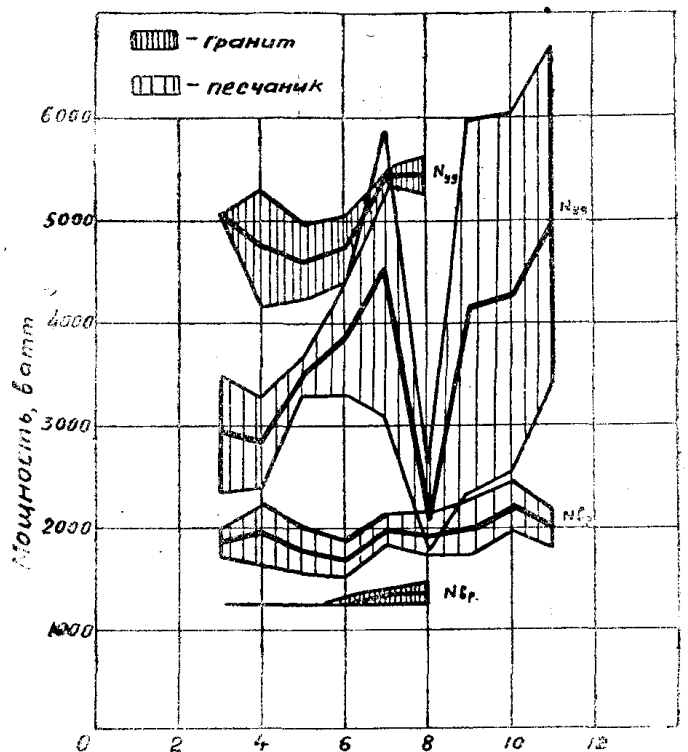


Рис. 3. Зависимость ударной мощности и мощности вращения от положения компенсационного отверстия.

Из сопоставления графиков (рис. 2, 3) следует, что мощность, необходимая для вращения бура, находится в обратной зависимости от скорости бурения, а, следовательно, от энергии удара, то есть максимальной энергии удара (на 6 компенсационном отверстии) соответствует минимальная мощность вращения, а минимальной энергии удара на 10 компенсационном отверстии соответствует максимальная мощность вращения.

При бурении по граниту мощность, потребляемая узлом вращения, меньше, чем при бурении по песчанику (на 30—50%).

Из рис. 4 видим, что объемная работа разрушения изменяется по кривой, имеющей минимум на 6 компенсационном отверстии (как при бурении по песчанику, так и по граниту). С увеличением номера компенсационного отверстия (приближением его к передней стенке поршня) объемная работа разрушения увеличивается в 2—3 раза и при бурении по граниту она, примерно, раза в два больше, чем при бурении по песчанику.

Из сказанного следует, что максимальным скоростям бурения соответствует минимальная объемная работа разрушения. Таким образом, как при бурении по песчанику, так и по граниту наиболее целесообразно работать на компенсационном отверстии 6 (рис. 1).

чем при бурении по песчанику (при тех же режимах ударного узла). Как видно из кривых (рис. 2, 3), мощность, потребляемая ударным узлом, не на всех компенсационных отверстиях соответствует энергии удара. На 10 компенсационном отверстии ударная мощность имеет значительную величину, однако энергия удара небольшая и скорость бурения низкая.

Мощность, потребляемая при одиннадцатом компенсационном отверстии, выше, чем при шестом и седьмом, а скорость бурения ниже.

Следовательно, с приближением компенсационного отверстия к заднему крайнему положению поршня, ударный узел работает менее устойчиво и потребляет большую мощность при меньших скоростях бурения.

Влияние длины воздушной подушки на работу ударного узла

При исследовании влияния длины воздушной подушки на работу ударного узла компенсация утечек воздуха из воздушной подушки осуществлялась отверстием 6. При изменении длины воздушной подушки скорость бурения (рис. 5, бурение по песчанику) изменяется по кривой, имеющей максимум при длине воздушной подушки равной 46 мм. С уменьшением или с увеличением длины воздушной подушки скорость бурения уменьшается на 30—40%. Опыты, проведенные при бурении по граниту, подтверждают максимальное значение скорости при длине воздушной подушки 46 мм. Но при бурении по граниту скорость бурения в 2—3 раза меньше, чем при бурении по песчанику.

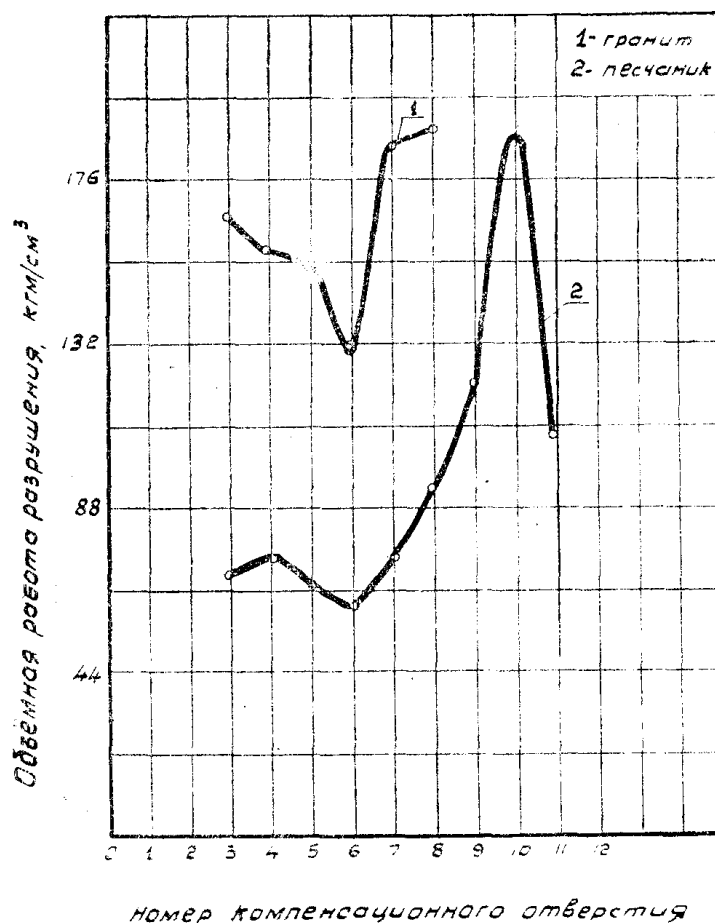


Рис. 4. Зависимость объемной работы разрушения
от положения компенсационного отверстия.

Мощность, потребляемая ударным узлом (рис. 6), несколько уменьшается с увеличением длины воздушной подушки. Уменьшение ударной мощности ведет и к уменьшению скорости бурения. При бурении по граниту ударный узел потребляет мощности больше, чем при бурении по песчанику. Мощность, потребляемая узлом вращения (рис. 6), мало изменяется при изменении длины воздушной подушки, но несколько увеличивается с увеличением длины воздушной подушки, что соответствует уменьшению энергии удара и скорости бурения. Кривая мощности вращения при бурении по граниту проходит ниже, чем при бурении по песчанику.

Объемная работа разрушения, (рис. 7—бурение по песчанику) изменяется по кривой, имеющей минимум при длине воздушной подушки равной 46 мм. С увеличением или уменьшением длины воздушной подушки объемная работа разрушения увеличивается. Минимум объемной работы разрушения

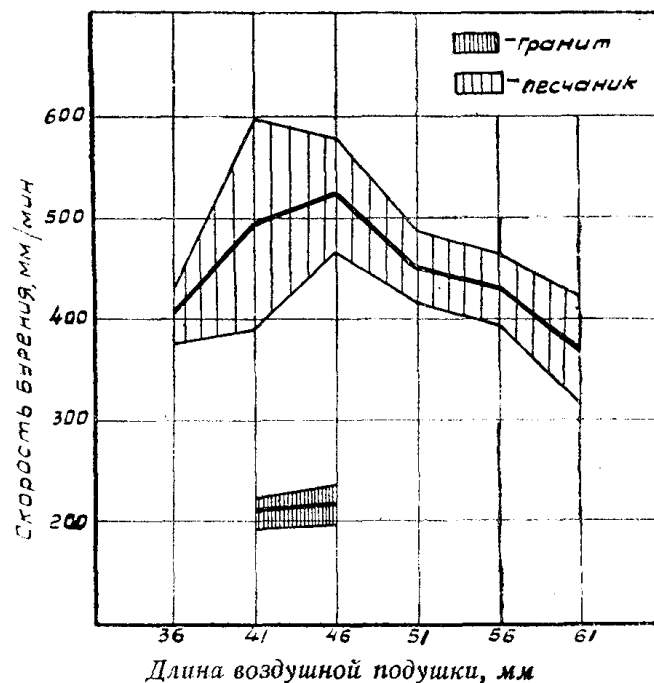


Рис. 5. Зависимость скорости бурения от величины воздушной подушки.

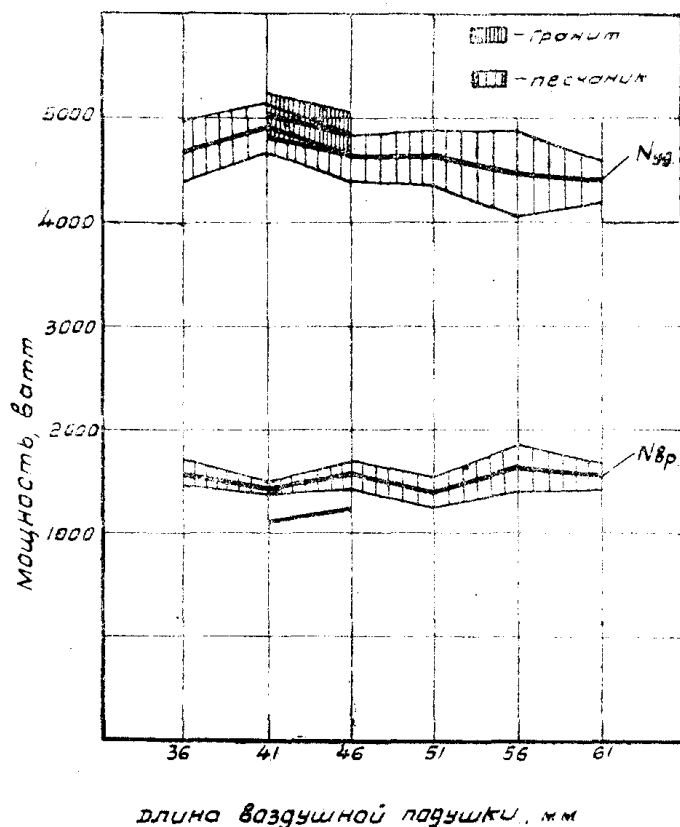


Рис. 6. Зависимость ударной мощности и мощности вращения от величины воздушной подушки.

при длине воздушной подушки 46 мм подтверждается опытами бурения по граниту. Но при бурении по граниту объемная работа разрушения много выше, чем при бурении по песчанику.

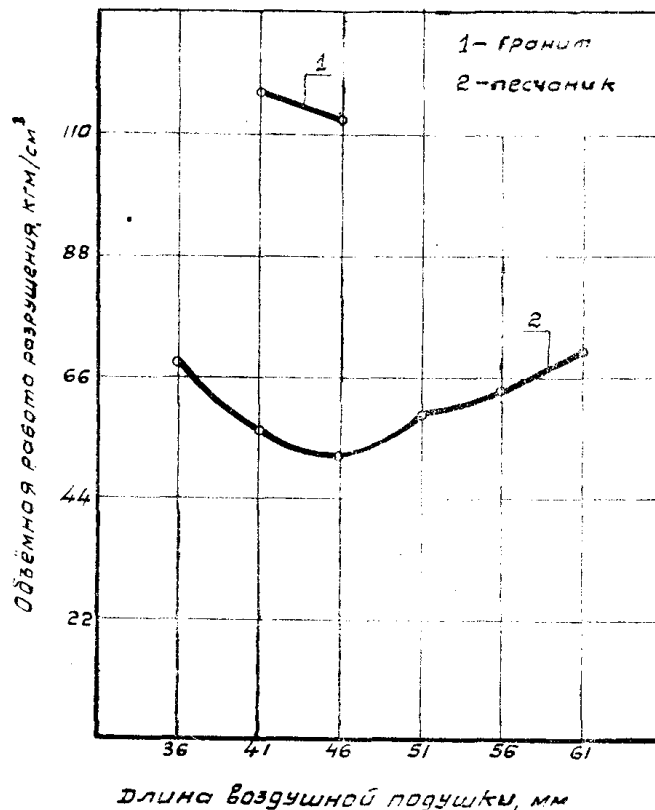


Рис. 7. Зависимость объемной работы разрушения от длины воздушной подушки.

Таким образом, в процессе исследования было установлено, что наимыгоднейшим режимом работы данного молотка следует считать работу:

- 1) при длине воздушной подушки равной 46 мм и при отношении

$$\frac{R}{l_0} = \frac{43,5 \text{ мм}}{46 \text{ мм}} = 9,45,$$

где R — радиус кривошипа, мм,

l_0 — длина воздушной подушки, мм;

- 2) при компенсации утечек через отверстие 6.

Когда поршень находится в заднем крайнем положении, отношение расстояния компенсационного отверстия 6 от передней стенки поршня к длине воздушной подушки равно 1,78; отношение 0,1 соответствует переднему крайнему положению поршня;

3) при работе на шестом компенсационном отверстии молоток имеет максимальную скорость бурения и устойчивый режим работы. Работа на вышеуказанном режиме обеспечивает показатели, помещенные в таблице 1.

При рекомендованных параметрах ударного узла скорость бурения может быть увеличена в 1,5—2 раза за счет:

- а) уменьшения скорости вращения бура с 360—420 до 150 оборотов в минуту [4];
- б) увеличения усилия подачи с 20—25 до 50 кг [5].

Таблица 1

Горная порода	Максимальная скорость бурения мм/мин	Максимальный удельный расход мощности, ватт/мм/мин	Минимальная объемная работа разрушения кгм/см ³	Минимальный расход электроэнергии на 1 п. м шпура
Песчаник	525	11,78	52	0,197
Гранит	210	25,48	132	0,425

ЛИТЕРАТУРА

1. Алабужев П. М., Алимов О. Д. К вопросу о конструировании электропневматических машин ударного действия. Известия ТПИ, том 78, 1955.
2. Алабужев П. М. Исследование рабочего процесса электропневматических машин ударного действия. Диссертация, ТПИ, 1954.
3. Инструкция к комплексу измерительных приборов КИП, 1954.
4. Алимов О. Д. О механизме разрушения горных пород при ударно-вращательном бурении. Известия ТПИ, т. 75, 1954.
5. Алимов О. Д. О влиянии усилия подачи на скорость бурения пневматическими бурильными молотками. Известия ТПИ, т. 75, 1954.