

РАЦИОНАЛЬНЫЕ УСИЛИЯ ПОДАЧИ БУРИЛЬНОГО МОЛОТКА ПМ-508 ПРИ БУРЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД РАЗЛИЧНОЙ КРЕПОСТИ

О. Д. АЛИМОВ и И. Г. БАСОВ

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

Как установлено рядом исследований [1—3], усилие подачи бурильного молотка на забой оказывает существенное влияние на скорость бурения, энергоемкость процесса разрушения, износ инструмента, устойчивость работы молотка, а в целом на производительность бурильных работ. Но до сих пор отсутствуют специальные исследования отдельных молотков с целью обоснования необходимых для них подающих устройств при бурении горных пород различной крепости и при различном давлении воздуха.

В литературе [4] имеется мнение, что чем крепче горная порода и чем больше давление подводимого воздуха, тем больше должно быть оптимальное усилие подачи. Конкретных данных о целесообразных усилиях подачи в том или другом случае не приводится.

В данной работе освещаются некоторые результаты экспериментальных исследований оптимальных усилий подачи при бурении горизонтальных шпуров молотком ПМ-508 в горных породах различной крепости.

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории разрушения горных пород Томского политехнического института на специальной установке [5].

Для того чтобы выявить величины оптимальных усилий подачи и пределы их изменения при бурении горных пород различной крепости, были выбраны следующие горные породы:

1. Горные породы высокой крепости, $f = 14 - 18$ по М. М. Протодьяконову, то есть такие, в которых бурение шпуров производится в основном ударно-вращательным способом. В качестве таких пород были приняты диабаз, $f = 16 - 18$ и гранит, $f = 14 - 16$.

2. Горные породы малой крепости, $f = 4 - 5$, в которых ударно-вращательным способом бурить шпуры не рекомендуется, так как скорость бурения в этом случае значительно меньшая, чем при вращательном бурении. В качестве такой породы был принят песчаник, $f = 4 - 5$.

3. Горные породы, имеющие относительно небольшую крепость, но «вязкие». В качестве такой породы был взят мрамор, $f = 6 - 8$.

В качестве бурового инструмента применялись буры длиной $l = 1,0$ м с буровыми съемными однодолотчатыми коронками диаметром $d = 43$ мм, армированные пластинами твердого сплава ВК-15.

Шпуры бурились горизонтально на глубину 400—500 мм при давлении воздуха 4; 5; 6 *ати*. Перед каждым опытом шпур продувался. В процессе бурения буровая мелочь удалялась продувкой. Небольшая глубина шпура позволяла удалять буровую мелочь почти с постоянной интенсивностью. Таким образом в процессе исследования можно было определить оптимальные усилия подачи при бурении горных пород различной крепости, при

различном давлении воздуха, без учета влияния на процесс бурения интенсивности удаления из шпура буровой мелочи.

В качестве оптимального усилия подачи принималось такое, которое обеспечивало бурение с наибольшей скоростью и устойчивую работу бурильного молотка, не требующую ежеминутного вмешательства бурильщика.

При обработке экспериментальных данных определялись число ударов, угол поворота бура между двумя ударами и отхода корпуса молотка от ограничительного буртика бура. Изменение скорости бурения в зависимости от усилия подачи (рис. 1) при бурении различных горных пород и различном давлении воздуха имеет один и тот же характер. С увеличением усилия подачи скорость бурения увеличивается до определенного предела, а затем постепенно уменьшается.

Начало уменьшения скорости бурения, как правило, совпадает с ухудшением устойчивости работы молотка: молоток начинает работать как бы „захлебываясь“, а затем совсем глохнет. Изменение скорости бурения в области неустойчивой работы молотка на графиках показано пунктирными линиями.

Наибольшая скорость бурения во всех случаях была при бурении песчаника. Меньшую скорость бурения имели соответственно более крепкие горные породы — гранит и диабаз. Исключение составляет мрамор, скорость бурения которого такая же, как и у значительно более крепкого гранита.

При изменении усилия подачи молотка на забой от 20 до 80 кг скорость бурения увеличивается в 2—3 раза. При этом большее изменение скорости бурения наблюдается при большем давлении воздуха — 6 ати.

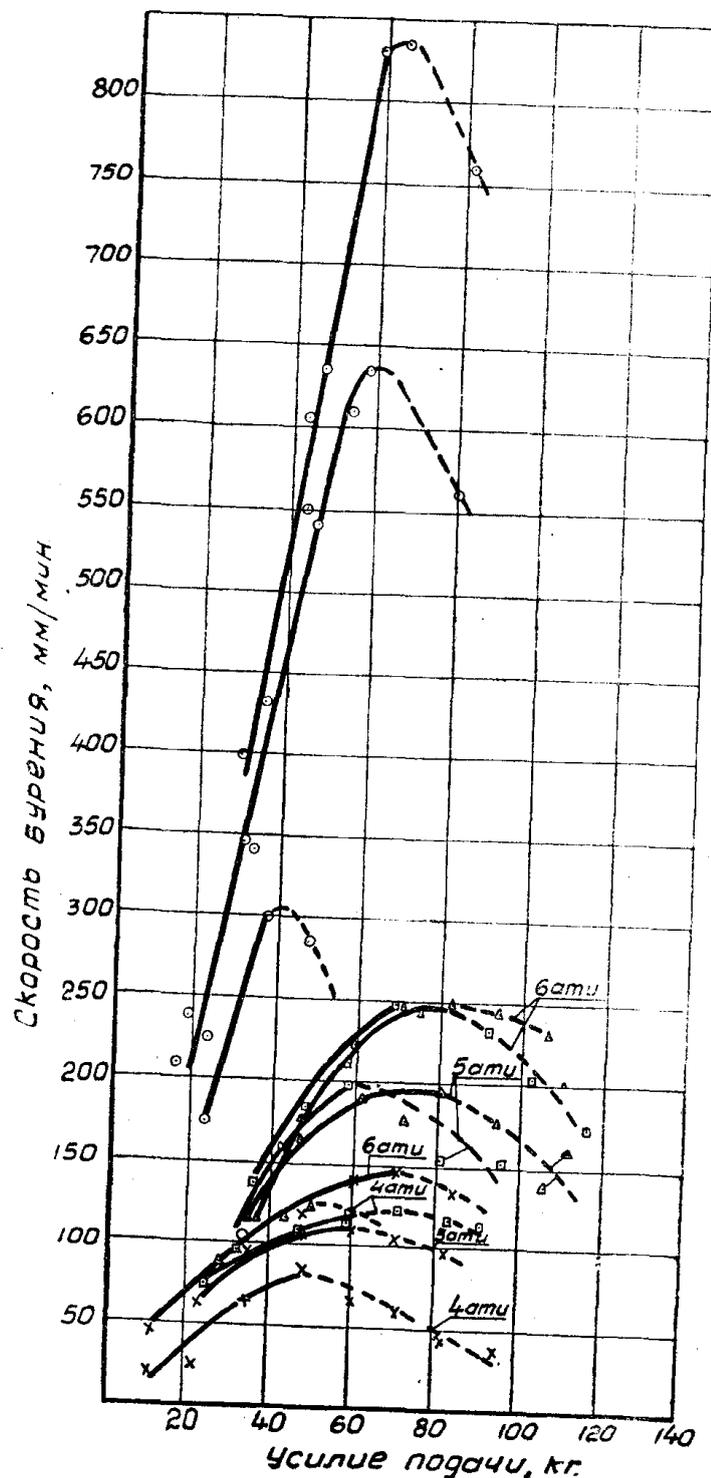


Рис. 1. Зависимость скорости бурения от усилия подачи
 X-диабаз, Δ-гранит, □-мрамор, ○-песчаник.

Из рис. 1 видно, что наиболее правильно можно оценивать изменение скорости бурения в зависимости от давления воздуха в бурильном молотке, сравнивая скорости бурения, соответствующие оптимальным усилиям подачи.

Если принять скорость бурения при давлении воздуха 4 *ати* за единицу, то увеличение скорости бурения в зависимости от давления воздуха, для рассматриваемого нами случая, может быть выражено коэффициентом K , равным отношению скорости бурения при том или ином давлении к скорости бурения при 4 *ати*. Значения коэффициентов увеличения скорости бурения шпуров в горных породах различной крепости бурильным молотком ПМ-508 составляют при 5 *ати* 1,6 ÷ 1,7, рис. 2, и при 6 *ати* — 2 ÷ 2,5, то есть, несмотря на разные физико-механические свойства буримых горных пород, коэффициенты изменяются в небольших пределах.

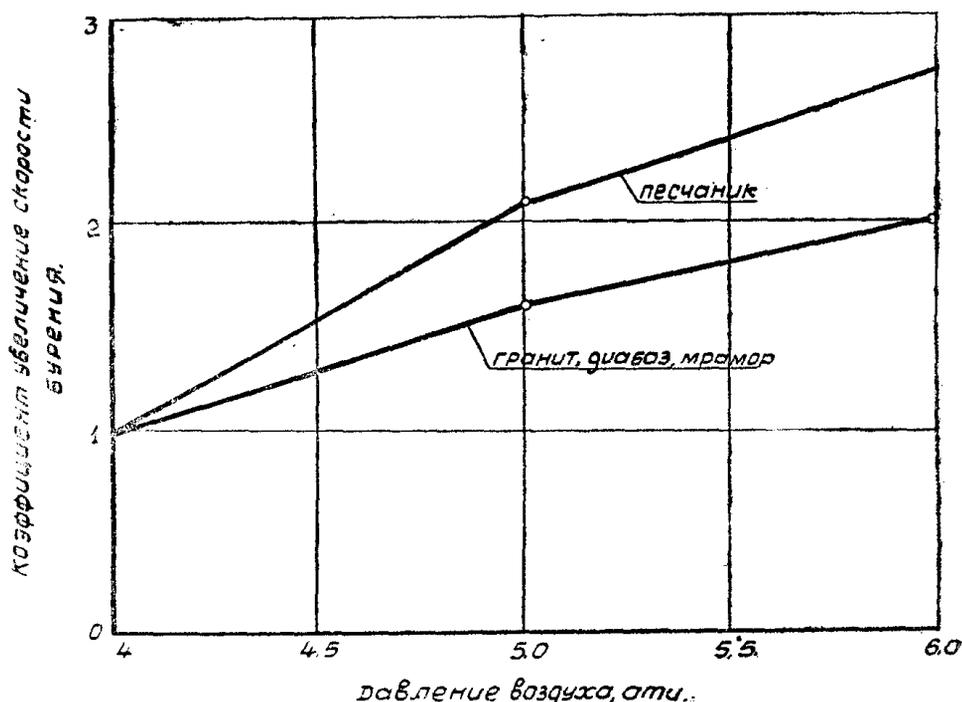


Рис. 2. Зависимость коэффициента увеличения скорости бурения K от давления воздуха.

Выводы о влиянии давления воздуха на скорость бурения и устойчивость работы молотка можно более полно сделать только на основании дополнительного исследования рабочего процесса, происходящего в бурильном молотке.

Как видно из рис. 3, величина усилия подачи, обеспечивающего максимальную скорость бурения, увеличивается с повышением давления воздуха. При увеличении давления воздуха от 4 до 6 *ати*, то есть в 1,5 раза, усилие подачи, соответствующее максимальной скорости бурения, увеличилось с 40—50 *кг* до 65—75 *кг*, то есть в 1,6—1,5 раза. Следовательно, усилие подачи, обеспечивающее максимальную скорость бурения, увеличивается прямо пропорционально увеличению давления воздуха, подводимого к молотку.

Значительно меньшее влияние на величину усилия подачи, обеспечивающего максимальную скорость бурения, оказывает изменение физико-механических свойств буримой породы. Так, при изменении крепости с $f=4$ до $f=16-18$, то есть более чем в четыре раза, усилие подачи изменилось на 6 *кг*; разница величин усилий подачи, обеспечивающих максимальную ско-

рость бурения, во всех случаях составляла не более 6—10 кг, что соответствует двух-трехкратной величине среднеквадратичной ошибки измерения усилия подачи.

Таким образом, в проведенных исследованиях не было обнаружено существенного влияния крепости горной породы на величину усилия подачи, обеспечивающего максимальную скорость бурения. Некоторое изменение величины усилий подачи при бурении различных горных пород, видимо, не столько зависит от крепости горной породы, сколько от других физико-механических свойств, обеспечивающих различный коэффициент трения лезвия бура по горной породе и вследствие этого оказывающих влияние на момент сопротивления вращению бура. Последний оказывает существенное влияние на устойчивость рабочего процесса молотка.

Имеющееся в практике мнение, что при бурении менее крепких горных пород необходимо меньшее усилие подачи, видимо, основано на том, что бурение менее крепких пород происходит с большей скоростью, в результате чего при одной и той же интенсивности промывки или продувки в шпуре находится больше буровой мелочи, которая увеличивает сопротивление вращению бура и при меньшем усилии подачи приводит к неустойчивой работе бурильного молотка. Для устранения влияния этого фактора необходимо при бурении менее крепких горных пород увеличивать давление, а следовательно, и расход промывочной жидкости. Как установлено специальными исследованиями [6] (рис. 4), за счет увеличения давления промывочной жидкости при работе на одном и том же давлении воздуха можно значительно увеличить скорость бурения.

На основании проведенных нами опытов усилие подачи F , обеспечивающее максимальную скорость бурения в зависимости от давления воздуха при бурении горизонтальных шпуров молотком ПМ-508, выражается $F = k \cdot p$, где F — усилие подачи, обеспечивающее максимальную скорость бурения, в кг, p — давление воздуха, подведенного к молотку, *ати*, k — коэффициент пропорциональности.

На основании опытных данных величина коэффициента пропорциональности изменяется от 10 до 12,5. Если же принять во внимание только горные породы, в которых шпур бурится в основном ударно-повторным способом, то коэффициент пропорциональности изменяется только от 12,0 до 12,5. Сравнение оптимальных усилий, полученных при бурении горизонтальных, наклонных и вертикальных шпуров, показывает, что оптимальная величина усилия подачи уменьшается (в случае бурения вниз) или увеличивается (при бурении вверх) на величину равную составляющей веса молотка, воспринимаемую подающим устройством податчика, то есть на величину $G \sin \alpha$, где G — вес молотка в кг, α — угол между направлением шпура и горизонталью.

Если не учитывать влияние формы и размеров бурового инструмента, что пока не исследовано, то для определения оптимального усилия подачи бурильного молотка ПМ-508 может быть предложена следующая формула:

$$F = kp \pm G \sin \alpha,$$

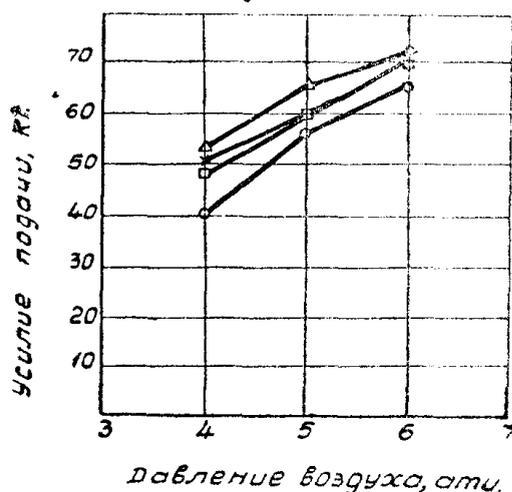


Рис. 3. Зависимость оптимального усилия подачи от давления воздуха
X-диабаз, Δ-гранит, □-мрамор, O-песчаник.

где k — коэффициент пропорциональности, $k = 12 - 12,5$;
 p — давление воздуха, *ати*;
 G — вес молотка, *кг*;
 α — угол наклона шпура к горизонтали.

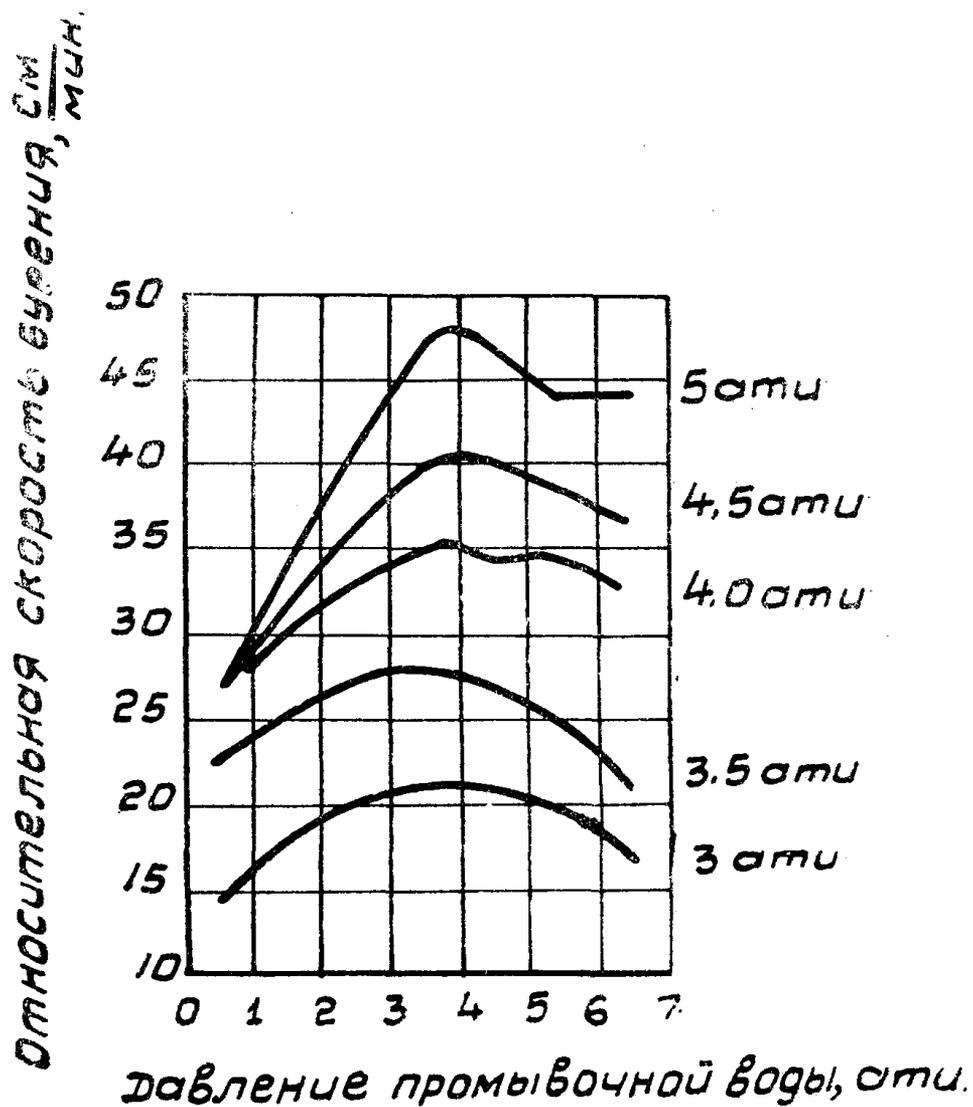


Рис. 4. Зависимость скорости бурения от давления промывочной воды.

Величины усилий подачи, соответствующие максимальной скорости бурения горизонтальных шпуров, в большинстве случаев являются предельными усилиями, превышение которых ведет к неустойчивой работе молотка.

При конструировании податчиков расчетное усилие подачи следует принимать на 10—15 кг меньше, чем усилие, обеспечивающее максимальную скорость бурения. При этом во всех рассмотренных выше случаях (рис. 1) можно обеспечить скорость бурения, близкую к максимальной, и необходимую устойчивость работы молотка, а за счет этого и большую производительность машины.

Из рис. 5, 6 видно, что при изменении усилия подачи изменяются число ударов молотка в минуту и угол поворота бура между двумя ударами. Это

происходит в основном за счет изменения отхода корпуса молотка от ограничительного буртика бура, вследствие чего изменяется рабочий процесс

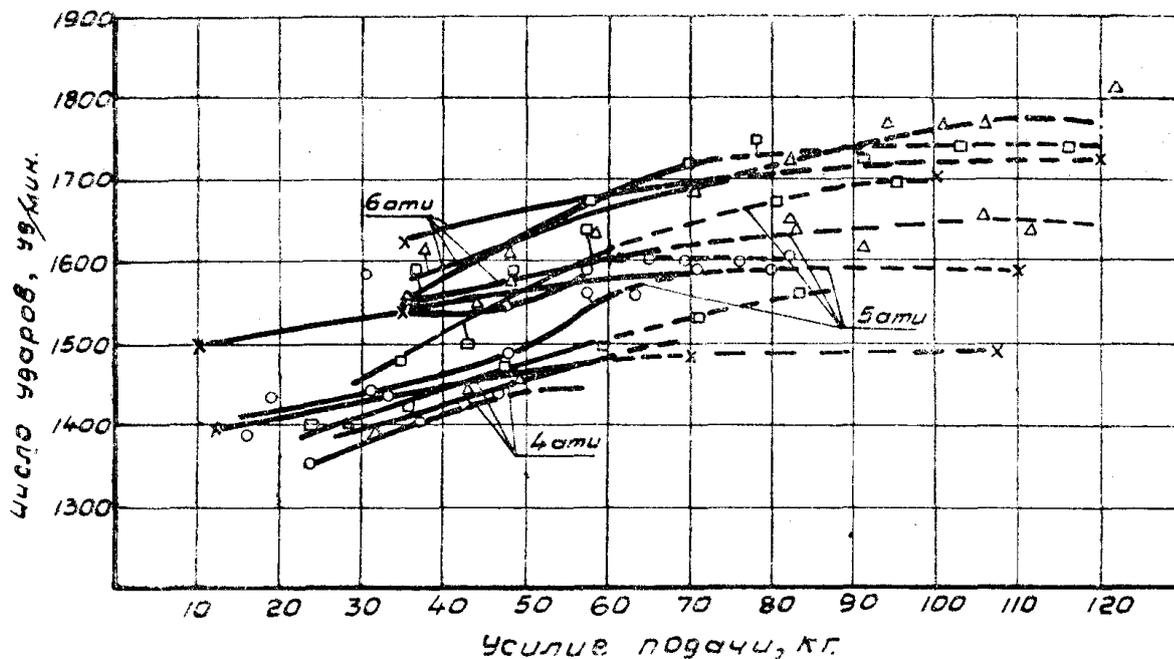


Рис. 5. Зависимость числа ударов от усилия подачи
 X - диабаз, Δ - гранит, □ - мрамор, ○ - песчаник.

внутри молотка и момент сопротивления вращению бура в шпуре. Характер изменения величины отхода корпуса молотка от ограничительного буртика бура (рис. 7) в зависимости от усилия подачи во всех случаях одинаков.

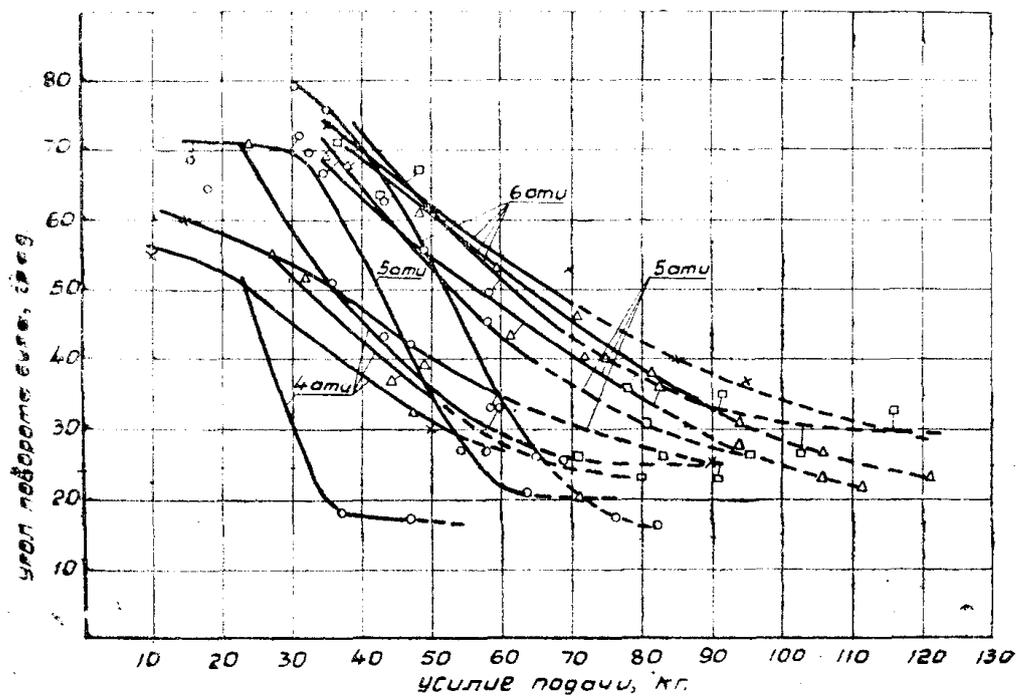


Рис. 6. Зависимость угла поворота бура от усилия подачи
 X - диабаз, Δ - гранит, □ - мрамор, ○ - песчаник.

При одном и том же усилии подачи величина отхода увеличивается с увеличением давления воздуха, причем эта разность тем больше, чем меньше усилие подачи. В результате опытов не было обнаружено существенного влияния горной породы на величину отхода; так, например, величины отхода корпуса молотка при бурении песчаника $f=4$ и диабаз $f=18$ при давлении воздуха 5 и 6 *ати* одинаковы. Несколько большая величина отхода в большинстве случаев наблюдалась при бурении мрамора. Из табл. 1 видно, что максимальным скоростям бурения горных пород различной крепости при определенном давлении воздуха соответствуют определенные величины отходов. Эти величины тем больше, чем больше давление воздуха.

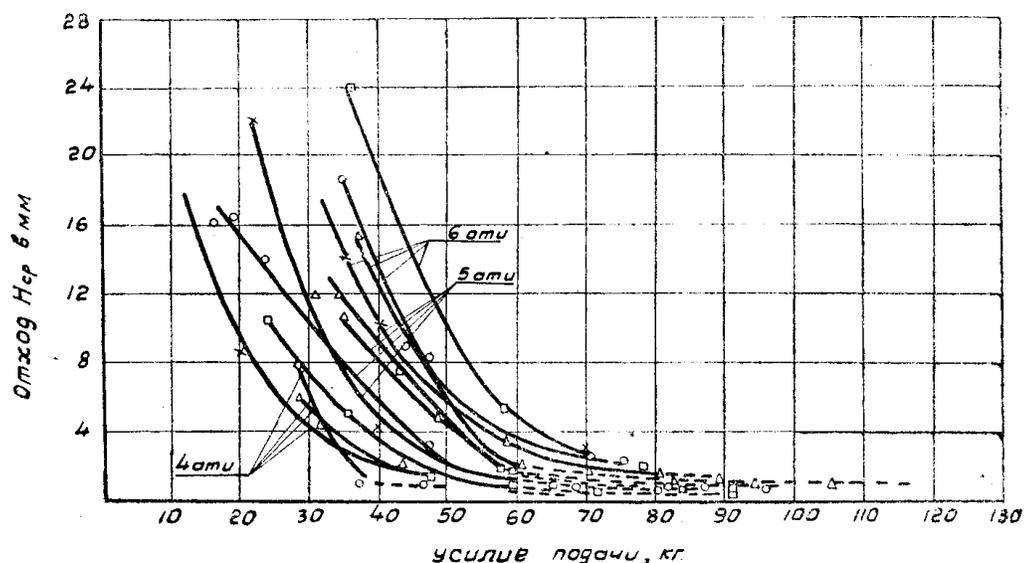


Рис. 7. Отход корпуса бурильного молотка от ограничительного буртика бура в зависимости от усилия подачи
 ×-диабаз, △-гранит, □-мрамор, ○-песчаник.

Таблица 1

Горная порода	Давление воздуха в ати					
	р = 4		р = 5		р = 6	
	Н ¹	Н ²	Н ¹	Н ²	Н ¹	Н ²
Песчаник	1,5		1,6		1,5	
Мрамор	1,7	1,5-4	1,8	1,8-5	2	
Гранит	1,5		1,9		2,7	
Диабаз	1,5		1,8		2	2,1-10
	Н ¹ _{ср} = 1,5		Н ¹ _{ср} = 1,8		Н ¹ _{ср} = 2,1	

Н¹ — величина отхода, соответствующая максимальной скорости бурения, мм;
 Н² — величина отходов, соответствующая устойчивой работе молотка, мм;
 Н¹_{ср} — среднеарифметическое значение Н¹ для горных пород различной крепости.

Изменение величины отходов, соответствующих максимальной скорости бурения и устойчивой работе молотка, в зависимости от давления воздуха приведены на рис. 8.

Увеличение отхода, необходимого для обеспечения максимальной скорости бурения при увеличении давления воздуха, может быть объяснено тем, что, во-первых, при большем давлении воздуха увеличивается величина проникновения инструмента за удар, а следовательно, необходим и больший отскок бура для обеспечения проворота бура; во-вторых, при увеличении давления воздуха увеличивается энергия поршня перед соударением с буром, а для более полной ее передачи стержню бура необходим больший путь стержня и бойка при соударении.

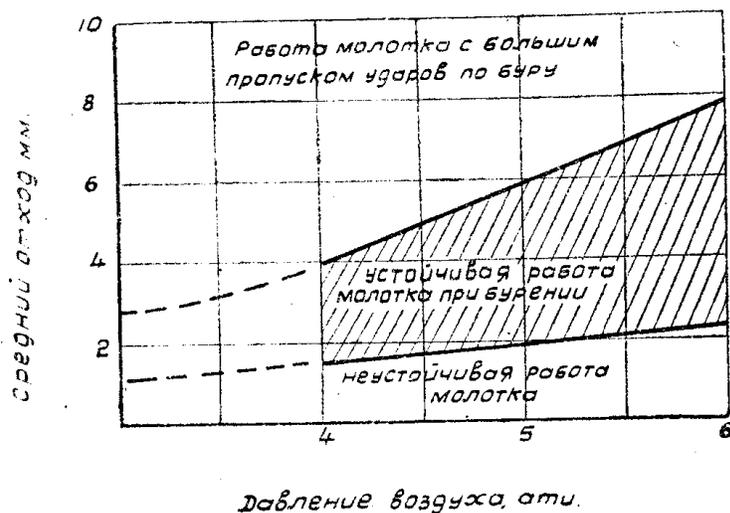


Рис. 8. Режимы работы молотка при различном давлении воздуха.

Характеры отдачи молотка при различном давлении воздуха, усилия подачи и при бурении различных горных пород приведены на рис. 7. Число ударов молотка в минуту при бурении (рис. 5) изменяется в зависимости от давления воздуха и усилия подачи. Гораздо меньшее влияние на число ударов оказывает крепость разрушаемой горной породы. Так, например, при бурении гранита, диабазы и мрамора разниця в числе ударов не превышает ошибку измерения. Некоторое исключение представляет песчаник, при бурении которого число ударов в минуту в некоторых случаях было на 100—120 меньше, чем при аналогичных режимах подачи при бурении других горных пород. Эта разниця не превышает 6,0% от числа ударов, развиваемых молотком при бурении других горных пород, и соответствует двух-трехкратной среднеквадратичной ошибке измерения числа ударов.

Таким образом, в проведенном исследовании работы бурильного молотка ПМ-508 не было выявлено существенного влияния различной крепости горной породы на число ударов, развиваемых бурильным молотком при бурении.

Распространенное мнение, что число ударов бурильного молотка должно значительно изменяться при бурении горных пород различной крепости, видимо, объясняется простым перенесением этого вывода из результатов исследований работы отбойных молотков без достаточного анализа существенных отличий в рабочих процессах при работе отбойных и бурильных молотков.

На рис. 9 дана зависимость изменения средних значений числа ударов, величин отходов при бурении различных горных пород от усилия подачи. В области неустойчивых режимов зависимости изображены пунктирной линией. Из рис. 9 видно, что число ударов более значительно изменяется при увеличении усилия подачи до оптимального, а в дальнейшем остается по-

стоянным. С увеличением усилия подачи увеличивается момент трения бура в забой, поэтому значительно снижаются число оборотов бура и угол поворота бура между двумя ударами (рис. 6). Уменьшение угла поворота тем сильнее, чем менее крепкая порода. Бурильный молоток ПМ-508 работает устойчиво, когда отход молотка от забоя обеспечивает поворот бура между ударами на угол не меньший, чем $\alpha = 28 - 37^\circ$ при 4 ати, $\alpha = 32 - 38^\circ$ при 5 ати и $\alpha = 32 - 42^\circ$ при 6 ати.

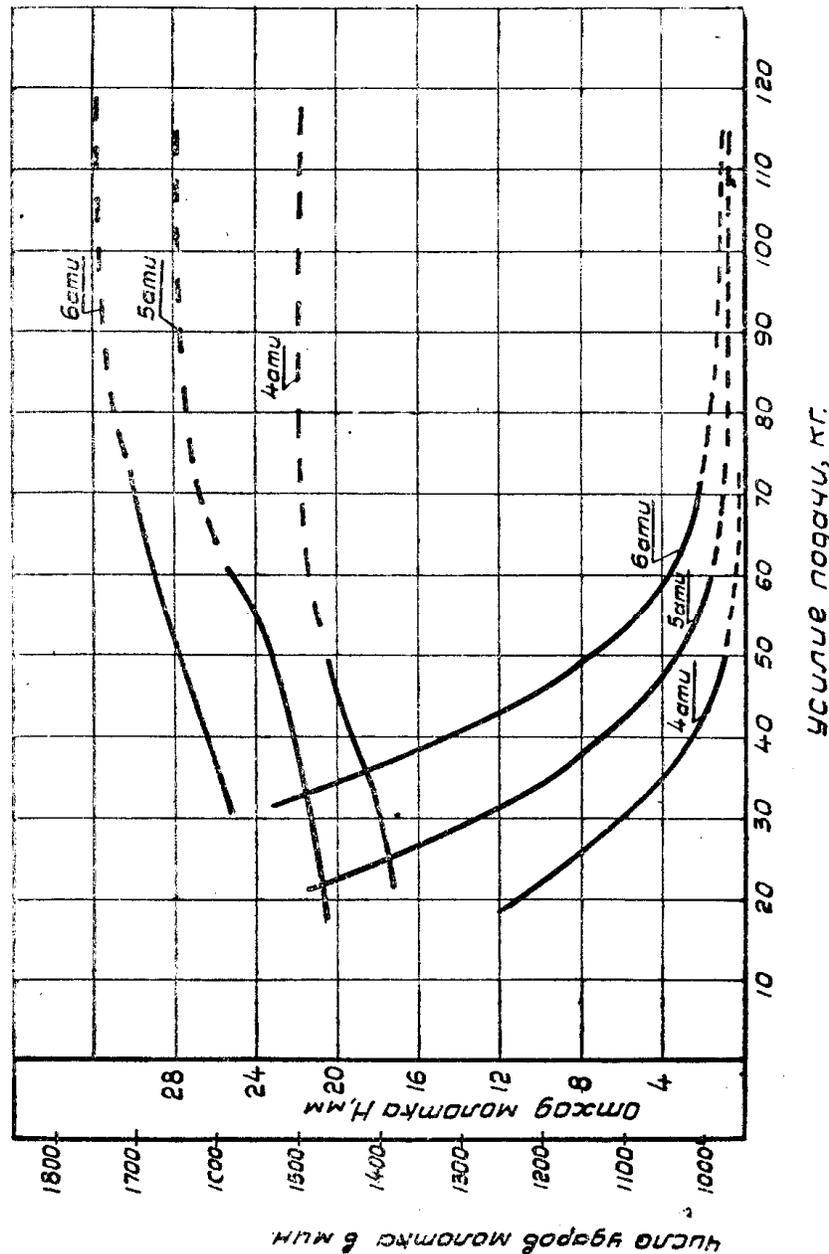


Рис. 9. Зависимость средней величины отхода и числа ударов от усилия подачи.

Углы поворота бура, соответствующие максимальной скорости бурения, приведены в табл. 2.

С уменьшением углов поворота менее оптимальных наблюдается неустойчивая работа бурильного молотка и при $\alpha = 24 - 25^\circ$ в случае работы геликоидального стержня с шагом резьбы 650 мм молоток глохнет. На ве-

личину угла поворота, кроме усилия подачи и физико-механических свойств буримой горной породы, существенное влияние оказывает интенсивность удаления разрушенной мелочи из шпура, однако для выявления его необходимо провести специальное исследование.

Таблица 2

Горная порода	Углы поворота бура, соответствующие максимальной скорости бурения, град.		
	при 4 <i>ати</i>	при 5 <i>ати</i>	при 6 <i>ати</i>
Песчаник	20	22	35
Мрамор	30—35	42	40—45
Гранит	35—37	40	40—45
Диабаз	30—32	34	30

Выводы

1. На скорость бурения бурильным молотком существенное влияние оказывает усилие подачи.
2. Оптимальное усилие подачи возрастает пропорционально увеличению давления воздуха (в пределах изменения давления воздуха от 4 до 6 *ати*).
3. Крепость горной породы не оказывает существенного влияния на величину оптимального усилия подачи, число ударов и величину отхода молотка от буртика бура при бурении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бучнев В. К. Буровзрывные работы. Metallurgizdat, 1950.
2. Сидоренко А. К. Автоматизация подачи пневматических бурильных молотков. Горный журнал № 11, 1954.
3. Трофимов П. Ф. Автоматические податчики для перфораторов. Геология и горное дело № 11, 1946.
4. Справочник по горно-рудному делу. Metallurgizdat, 1952.
5. Алимов О. Д., Басов И. Г., Горбунов В. Ф. Методика лабораторного исследования влияния усилия подачи на скорость бурения пневматическими бурильными молотками. Известия ТПИ, т. 88, 1956.