

**РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС БУРИЛЬНЫХ МОЛОТКОВ  
С КОЛЬЦЕВЫМ ЗОЛОТНИКОМ**

*В. Ф. Горбунов*

Принятые для исследования рабочего процесса бурильные молотки с кольцевым золотником ПМ-508, ПР-20 и Бергмайстер (BGM) относятся к ручным, но по весу и мощности значительно отличаются друг от друга (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Показатели	Тип молотка		
	ПМ-503	BGM	ПР-20
Вес молотка, кг . . . . .	29,5	18,5	20,0
Рабочий ход поршня, мм . . . . .	52	22	41
Энергия удара, кгм . . . . .	3,5	2,3	4,3
Число ударов, уд/мин . . . . .	1700	2700	2500
Ударная мощность, л. с. . . . .	1,3	1,4	2,4
Оптимальное усилие подачи, кг . . . . .	60	85	85
Скорость бурения роговика, мм/мин . . . . .	100	170	240
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин . . . . .	2,9	3,1	3,3
Коэффициент полезного действия, % . . . . .	8,0	9,0	14

Механизм поворота бура молотков ПМ-508 и ПР-20 имеет отдельный геликоидальный стержень, храповая букса расположена сзади корпуса кольцевого золотника. Молоток BGM изготовлен по иной конструктивной схеме. Спиральная нарезка выполнена у него на штоке поршня, поэтому и храповая букса вынесена в переднюю часть молотка. Применение молотка ПМ-508 целесообразно с пневмоподдержкой, так же как и молотков ПР-20 и BGM, однако он не имеет на корпусе приливов для крепления вилки пневмоподдержки. Молоток BGM может быть применен для бурения с пневмоподдержки горизонтальных и направленных вверх шпуров. В последнем случае ему придается положение почти соосное с пневмоподдержкой и шток последней входит в углубление задней головки.

Исследование молотков ПМ-508, ПР-20 и ВГМ проводилось на стенде Томского политехнического института по методике, описанной нами ранее [1—2]. Бурение производилось по роговику крепостью  $f = 14 \div 18$  по шкале проф. М. М. Протодьяконова. Диаметр коронки был принят 40 мм и длина бура 1,2 м; давление воздуха 4, 5 и 6 *ати*; усилие подачи от 20 кг до максимума.

### Результаты исследования

При исследовании молотков ПМ-508, ПР-20 и ВГМ определялись следующие величины: давление в полостях цилиндра, ход поршня, величина воздушных буферов в цилиндре, энергия удара, число ударов, ударная мощность, скорость бурения, расход воздуха, объемная работа разрушения горной породы, к. п. д. молотка и др. величины. Анализируя осциллограммы хода поршня  $S$  и давления воздуха  $p_1$  и  $p_2$  в полостях молотка, можно выявить характер основных зависимостей рабочего процесса бурильного молотка данной конструкции.

Рассмотрим характер изменения давления воздуха в полостях молотка ПР-20 (рис. 1). Давление в задней полости цилиндра молотка  $p_1$  очень мало зависит от величины усилия подачи. Максимального значения давление  $p_1$  достигает в момент, соответствующий крайнему заднему положению поршня в цилиндре молотка. В период движения поршня вперед давление  $p_1$  уменьшается и к моменту выхлопа воздуха в атмосферу достигает 0,6—0,65 давления в сети. При дальнейшем движении поршня давление  $p_1$  резко снижается и в момент удара поршнем о бур равно 0,2—0,5 сетевого (в зависимости от усилия подачи). При обратном движении поршня давление в задней полости начинает возрастать с момента перекрытия поршнем выхлопного окна. Величина максимального давления составляет около 90% давления в сети  $p_0$ , причем при увеличении усилия подачи происходит некоторое снижение этого значения.

Более резкое изменение давления наблюдается в передней полости цилиндра. При малых усилиях подачи давление под поршнем достигает 10—15 *ати* (рис. 1, а). Ясно, что это давление создается за счет сжатия поршнем переднего буфера, на что расходуются большая часть энергии поршня. Это происходит вследствие большого отхода корпуса молотка от ограничительного буртика бура.

При увеличении усилия подачи до оптимального таких пиков давления  $p_2$  уже не возникает (рис. 1, б) и максимальное давление воздуха в передней полости равно или несколько меньше 0,7  $p_0$ . Характер изменения давления  $p_2$  по времени становится близким к характеру изменения давления  $p_1$ . К моменту удара поршнем по буру величина давления  $p_2$  обычно не превышает 1,5 *ати* и несколько меньше давления в задней полости, вследствие чего перекидка золотника в положение обратного хода обычно совершается после соударения поршня с буром. По этой

же причине начальная скорость обратного движения поршня очень мала. Например, при работе молотка ПР-20 на оптимальных режимах поршень проходит первые 5 мм обратного хода за 0,005—0,006 сек., что составляет 20—25% времени цикла. Очевидно, имеются возможности повышения частоты ударов молотка.

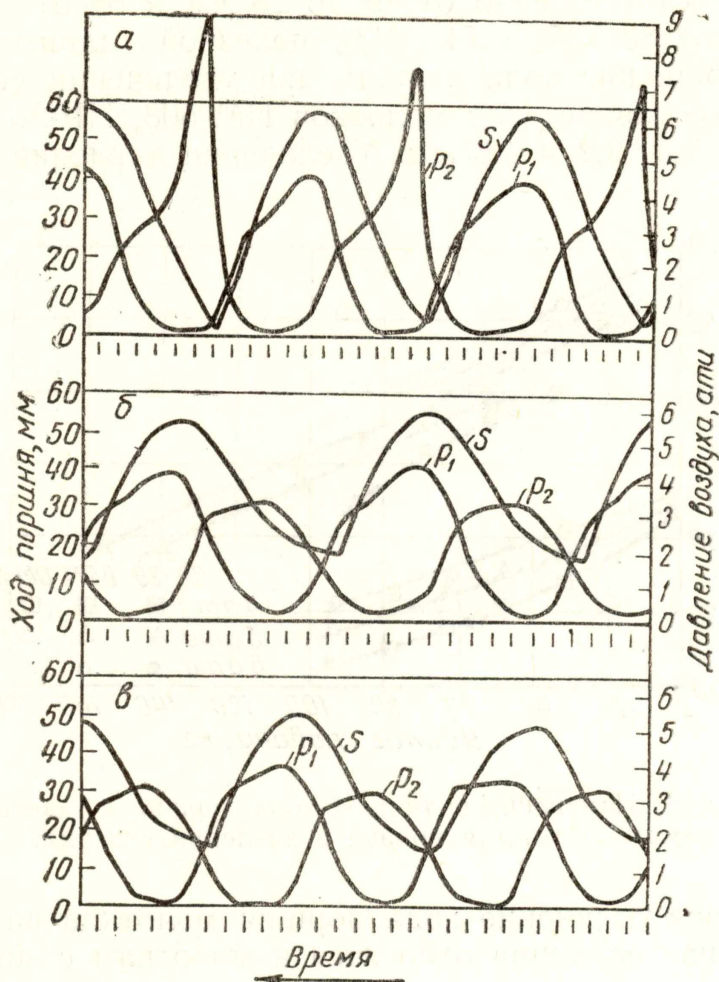


Рис. 1. Осциллограммы рабочего процесса бурильного молотка ПР-20 при давлении воздуха 5 ати и усилиях подачи:

а — 45 кг; б — 85 кг; в — 110 кг; отметки времени частотой 500 гц.

Изменение давления воздуха в полостях молотков ВГМ и ПМ-508 происходит в основном подобно описанному выше, поэтому мы подробно на этом не останавливаемся. Следует лишь отметить, что превышение оптимальных усилий подачи на молоток ВГМ приводит к значительному сокращению хода поршня, в результате чего последний в большинстве циклов не доходит до хвостовика бура и соударения их не происходит. При работе на подобных «тяжелых» режимах выхлоп воздуха из зад-



ней полости молотка часто вообще не происходит, как не происходит и поворот бура.

Величина хода поршня молотков ПР-20, ПМ-508 и ВГМ меняется с изменением усилия подачи и давления воздуха (рис. 2). По абсолютному значению ход поршня ПМ-508 изменяется при бурении от 65 до 50 мм, что составляет 74—58% полезной длины цилиндра. Для молотков ПР-20 и ВГМ ход поршня при бурении изменяется соответственно от 49 до 28 мм и от 31 до 13 мм, что составляет 83—47 и 74—31% полезной длины цилиндра. Среднее сокращение хода поршня при увеличении усилия подачи на 10 кг составляет для молотков ПМ-508, ПР-20 и ВГМ соответственно 2,5; 2,2 и 1,6 мм. Увеличение давления воздуха на

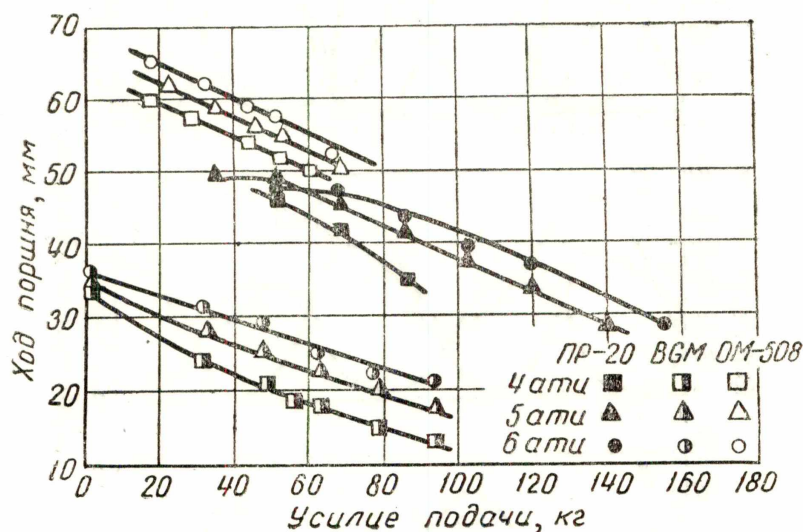


Рис. 2. Изменение величины хода поршня в зависимости от усилия подачи и давления воздуха.

1 ати вызывает удлинение хода поршня молотков на 2,5—4 мм, причем большая величина относится к молоткам с малым ходом поршня.

Сравнение единичных циклов хода поршня молотков при работе их на оптимальных режимах бурения показывает, что с переходом на большее давление воздуха при соответствующем увеличении усилия подачи ход поршня изменяется незначительно. Для молотков ПМ-508 и ПР-20 изменение хода поршня находится в пределах ошибки измерения, для молотка ВГМ несколько превосходит ее [3]. Величины хода поршня молотков при работе их на оптимальных режимах приведены в табл. 1.

На рис. 3 приведено сравнение единичных циклов хода поршня исследуемых молотков при давлении воздуха 5 ати и оптимальных усилиях подачи. Согласно графику, величина хода поршня молотков ПР-20 и ВГМ отличается почти в два раза, а время цикла примерно одинаково. Это является следствием большего удельного веса поршня, приходящегося на единицу площа-

ди поперечного сечения цилиндра молотка ВГМ (табл. 2). Кроме того, давление в передней полости молотка ВГМ нарастает при обратном ходе поршня медленно и действует в течение малого промежутка времени, что также уменьшает скорость обратного хода поршня.

Т а б л и ц а 2

Показатели	Тип молотка		
	ПМ-508	ПР-20	ВГМ
Диаметр цилиндра, мм . . . . .	63,5	76	75
Конструктивный ход поршня, мм . . . . .	80	60	42
Вес поршня, кг . . . . .	1,95	1,65	2,05
Удельный вес поршня на единицу площади цилиндра, г/см <sup>2</sup> . . . . .	67	39	47

Степень использования конструктивного хода поршня у исследуемых молотков также различна. Отношение хода поршня,

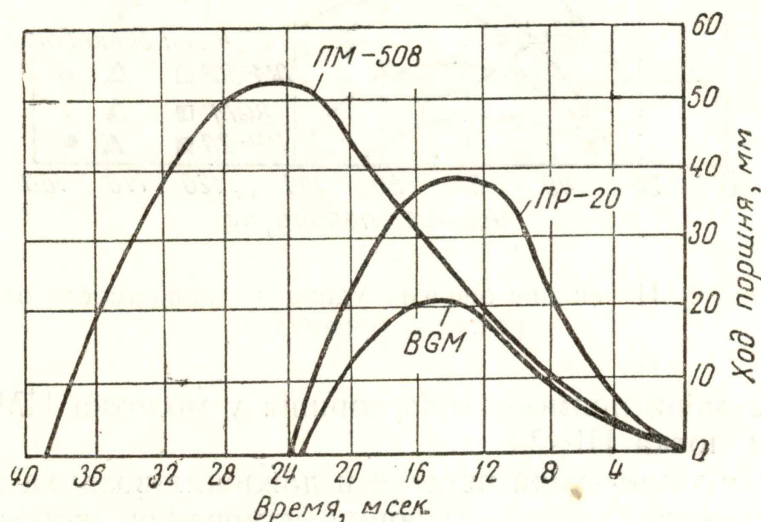


Рис. 3. Сравнение единичных циклов хода поршня молотков при 5 *ати* и оптимальных усилиях подачи.

полученного при бурении на оптимальных режимах с давлением воздуха в сети 5 *ати*, к конструктивному составляет для молотка ПМ-508  $S/S_k = 0,59$ , для молотка ПР-20 — 0,68, а для молотка ВГМ всего лишь 0,52. Лучшее использование длины цилиндра молотка ПР-20 в сравнении с молотками ПМ-508 и ВГМ происходит за счет уменьшения заднего воздушного буфера в первом молотке и за счет относительно большой величины переднего буфера в молотке ВГМ.

Величина переднего буфера молотков при работе на оптимальных режимах определяется в основном соотношением размеров хвостовика бура и других деталей передней части молот-

ка и составляет для молотков ПМ-508, ПР-20 и ВГМ соответственно 20, 22 и 30% от величины конструктивного хода поршня. Точка возможного соударения поршня с буром может соответствовать различным положениям поршня в цилиндре молотка. Так, у молотка ПМ-508 при длине хвостовика бура 108 мм точка соударения соответствует такому положению, когда поршень почти полностью перекрывает переднее впускное окно, у молотков ПР-20 и ВГМ оно в этот момент перекрыто лишь наполовину. По нашему мнению, перекрытие впускного окна у молотка ПМ-508 неблагоприятно отражается на длительности обратного хода поршня, в связи с чем отношение времени обратно-

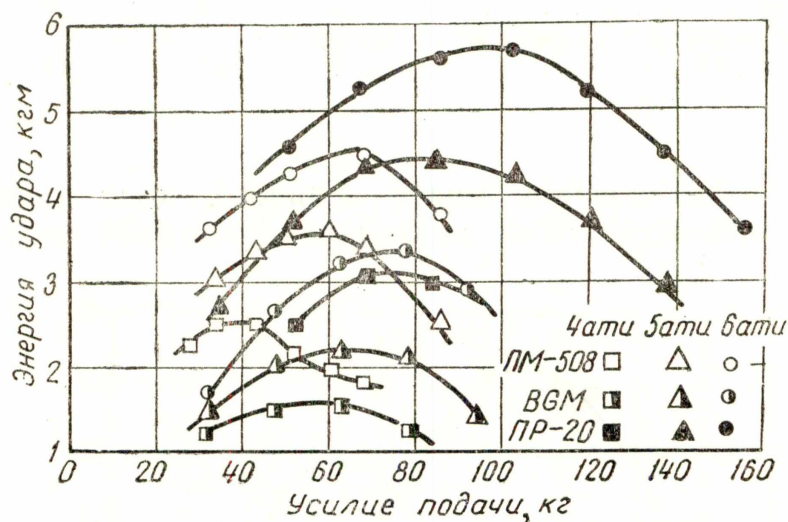


Рис. 4. Изменение энергии удара в зависимости от режимов бурения.

то хода к времени прямого хода поршня у молотка ПМ-508 больше, чем у молотка ПР-20.

Изменение длины хода поршня и давления воздуха в полостях молотка вызывают соответствующие изменения скорости движения поршня на различных участках его хода. В частности, это происходит в момент соударения поршня с буром. Энергия удара, как функция конечной скорости движения поршня и его массы, изменяется в зависимости от действующего давления воздуха и усилия подачи (рис. 4). Вначале с увеличением усилия подачи энергия растет, достигая максимального значения при усилиях подачи несколько меньших оптимальных. При дальнейшем увеличении усилия подачи энергия удара снижается. Подобный характер изменения энергии удара в зависимости от усилия подачи наблюдается у всех без исключения молотков и при всех значениях давления воздуха.

При уменьшении усилия подачи увеличивается ход поршня, а энергия поршня уменьшается за счет затраты кинетической энергии на сжатие воздушного буфера в передней полости цилиндра молотка. При увеличении усилия подачи больше опти-

мального энергия удара быстро уменьшается за счет уменьшения активной части хода поршня (от заднего крайнего положения до открытия выхлопного окна), а также ухудшения выхлопа воздуха из передней полости цилиндра, вследствие чего оставшийся воздух оказывает большое противодействие при рабочем ходе.

Величина максимальной энергии удара с изменением давления воздуха на 1 *ати* изменяется в исследуемом диапазоне давления в среднем на 40% (табл. 3). При этом ход поршня, соответствующий максимуму энергии удара, у молотков ПМ-508 и ПР-20 почти не изменяется. У молотка ВГМ, имеющего очень короткий ход, наблюдается удлинение «оптимального» хода поршня на 10—15% с увеличением давления воздуха на 1 *ати*.

Т а б л и ц а 3

Тип молотка	Давление воздуха, <i>ати</i>	Максимальная энергия удара	
		<i>кгм</i>	%
ВГМ	4	1,6	100
	5	2,2	137
	6	3,3	206
ПМ-508	4	2,5	100
	5	3,5	140
	6	4,5	180
ПР-20	4	3,1	100
	5	4,4	142
	6	5,6	180

Время цикла хода поршня каждого молотка, так же как и величина хода, зависит от давления воздуха и усилия подачи (рис. 5). С увеличением давления воздуха уменьшается длительность одного цикла, а следовательно, увеличивается и число ударов бурильного молотка. Согласно графику, длительность цикла хода поршня молотка ПМ-508 почти вдвое превышает время цикла молотков ПР-20 и ВГМ. Это является следствием различного соотношения конструктивных размеров молотков (диаметр и длина цилиндра, вес поршня). Изменение числа ударов отдельных молотков при изменении давления воздуха происходит в сравнительно небольшом диапазоне — 7 ÷ 10% на 1 *ати*. При рассмотрении зависимости длительности цикла хода поршня от усилия подачи можно выделить несколько различных участков, на которых происходит то увеличение, то понижение времени цикла. Рассмотрим, например, работу молотка ВГМ при давлении воздуха в сети 6 *ати*.

При холостой работе молотка длительность цикла составляет 22 *мсек*, что соответствует числу ударов молотка 2730 в минуту.

При бурении с усилиями подачи до 30 кг происходит увеличение времени цикла до 23,6 мсек (снижение числа ударов до 2540 в минуту) за счет замедления обратного хода поршня вследствие меньшего сжатия переднего воздушного буфера и увеличения приведенной массы вращающихся частей. В зоне усилий подачи от 30 до 80 кг продолжительность цикла уменьшается до 21,4 мсек ( $n = 2800$  уд/мин) вследствие сокращения длины хода поршня. Сопротивление обратному движению поршня при данных режимах остается сравнительно невысоким, так как существует отход коронки от забоя шпура [4, 5]. При дальнейшем увели-

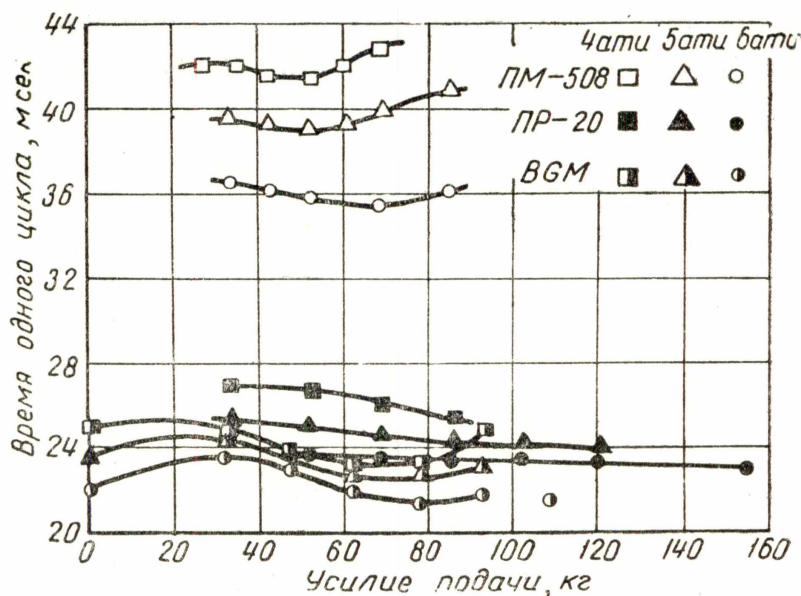


Рис. 5. Изменение числа ударов в зависимости от режимов бурения.

чении усилия подачи время цикла несколько возрастает за счет замедления обратного хода поршня. Сокращение длины хода поршня уже не может компенсировать потери времени за счет скорости движения. Причем одновременно с замедлением движения поршня при его обратном ходе происходит снижение средней скорости рабочего хода вследствие сокращения пути поршня за счет той части, где он имел максимальную скорость движения. Наконец, при очень больших для молота ВГМ усилиях подачи вновь наблюдается сокращение времени цикла вследствие перехода молотка на режим работы с очень коротким ходом, как описано нами выше.

У молотка ПМ-508 характер зависимости числа ударов от усилия подачи подобен описанному, за исключением последнего участка, так как молоток не может работать при заклиненном буре. Для молотка ПР-20 характерно постоянное снижение длительности цикла с увеличением усилия подачи.

Мощность, развиваемая ударными узлами молотков, изменяется в зависимости от усилия подачи и давления воздуха так



же как и энергия удара. При увеличении усилия подачи до определенного значения ударная мощность молотка возрастает, достигая максимума при усилиях подачи, равных оптимальным, или немного меньших. При дальнейшем повышении усилий подачи происходит снижение ударной мощности за счет уменьшения энергии удара. Величины максимальной мощности исследуемых молотков приведены в табл. 1.

Интересно сопоставить ударные мощности молотков и их собственные веса. В табл. 4 приведены значения отношений веса бурильных молотков к развиваемым ими мощностями при различном давлении воздуха.

По данным, приведенным в табл. 1 и 4, видно, что молоток ПР-20 обладает наибольшей абсолютной и относительной мощностью ударного узла. На единицу его мощности приходится в 2,7—2,8 раза меньший вес, чем у молотка ПМ-508, и на 35—70% меньший, чем у молотка ВGM. Такие относительно высокие показатели молотка ПР-20 можно объяснить удачным выбором соотношения веса поршня, длины его хода и диаметра цилиндра (табл. 2). У молотка ВGM диаметр цилиндра такой же, как и у молотка ПР-20, однако энергия удара у него ниже за счет малого хода поршня, хотя число ударов почти такое же вследствие большего веса поршня.

Таблица 4

Тип молотка	Собственный вес, кг	Отношение веса к ударной мощности, кг/л. с.		
		4 атм	5 атм	6 атм
ПМ-508 . . . . .	29,5	33	24	17
ВGM . . . . .	18,5	20	13	8,5
ПР-20 . . . . .	20	12,0	8,5	6,0

В соответствии с изменением ударной мощности молотков изменяется и скорость бурения. Характер зависимости скорости бурения от давления воздуха и усилия подачи подробно рассматривается в работах О. Д. Алимова и И. Г. Басова [4, 6], в которых изучению этой зависимости уделяется большое внимание. Поэтому мы на нем не останавливаемся.

Для определения экономичности работы бурильных молотков был замерен расход воздуха в минуту. При всех давлениях в сети расход воздуха молотком ПР-20 больше, чем молотками ВGM и ПМ-508. Это превышение зависит от величин усилия подачи, так как изменение расхода воздуха в зависимости от усилия подачи неравномерно для различных молотков. У молотков ПМ-508 и ПР-20 с увеличением усилия подачи на 10 кг расход воздуха возрастает лишь на 0,03—0,05 м<sup>3</sup>/мин, что составляет 1—2% полного расхода. У молотка ВGM этот показатель увеличивается до 0,1—0,3 м<sup>3</sup>/мин, или 3,5—4,5% на 10 кг усилия подачи. По-

этому если при малых усилиях подачи молоток ВГМ расходует воздуха меньше, чем молотки ПМ-508 и ПР-20, то в зоне больших усилий подачи его расход намного больше, чем у молотка ПМ-508, и равен расходу воздуха молотком ПР-20 (рис. 6).

Потребляемая молотками мощность изменяется аналогично расходу воздуха, поэтому подсчет потребляемой мощности удобно производить с помощью номограммы, построенной по формулам адиабатического сжатия воздуха в компрессоре [3].

В соответствии с изменением скорости бурения в зависимости от усилия подачи удельный расход воздуха на погонный метр пробуренного шпура имеет минимум при оптимальных усилиях подачи. При отклонении от оптимальных режимов удельный расход воздуха возрастает. Молоток ПР-20 имеет наименьший удельный расход воздуха на метр шпура, равный  $14 \text{ м}^3/\text{м}$ . Для молотков ВГМ и ПМ-508 минимальный удельный расход воздуха соответственно равен 18 и  $22 \text{ м}^3$  на погонный метр шпура.

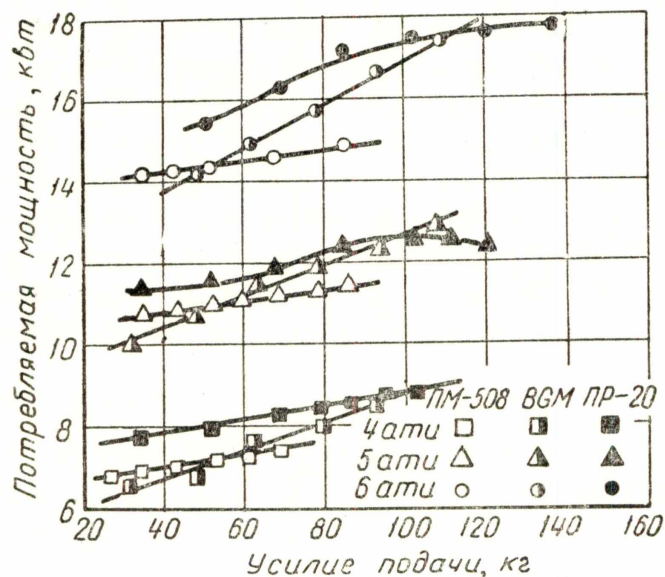


Рис. 6. Изменение потребляемой мощности в зависимости от режимов бурения.

Величина удельного расхода очень хорошо демонстрирует влияние усилия подачи на эффективность работы бурильных молотков. Следует отметить, однако, что с помощью удельного расхода воздуха мы можем оценивать сравнительную экономичность работы молотков только по одной горной породе. В более же широких сравнениях удобнее пользоваться коэффициентом полезного действия молотков, подсчитанным в соответствии с избранной методикой [7].

Коэффициенты полезного действия молотков ПР-20, ВГМ и ПМ-508 (рис. 7) изменяются в зависимости от режимов бурения. Максимального значения к. п. д. достигает при усилиях подачи, близких к оптимальным. Молоток ПР-20 обладает наибольшим к. п. д., равным 14—15%, в то время как молотки ПМ-508 и ВГМ имеют к. п. д. не выше 10%.

Более высокий к. п. д. молотка ПР-20 в сравнении с к. п. д. молотков ПМ-508 и ВГМ можно объяснить более удачным выбором его конструктивных параметров. Сравнительно низкий к. п. д. молотка ВГМ, имеющего повышенное число ударов за счет сокращения хода поршня, по нашему мнению, можно значи-

тельно увеличить или путем увеличения диаметра цилиндра, или за счет снижения веса поршня. В первом случае будет увеличена энергия удара и частота их, во втором — повысится лишь число ударов. Для повышения к. п. д. молотка ВGM необходимо также изменить расположение и размеры выхлопного окна для

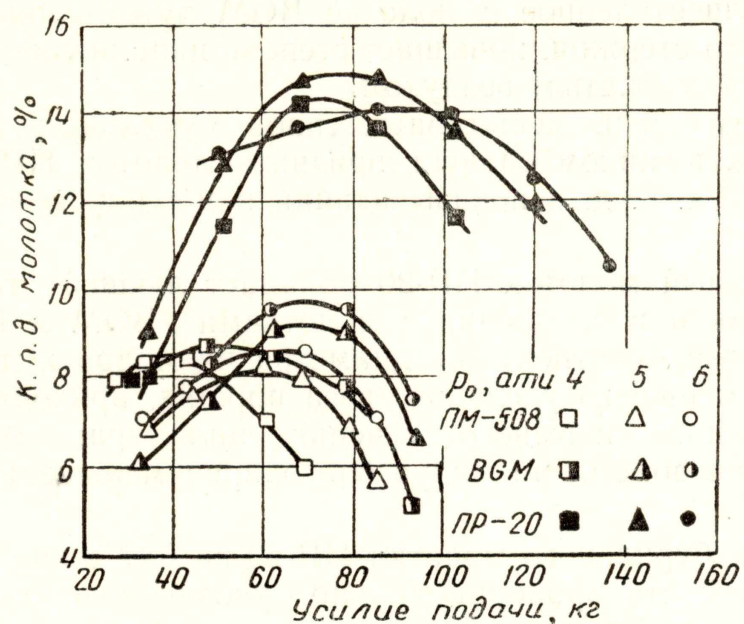


Рис. 7. Изменение к. п. д. молотков в зависимости от режимов бурения.

обеспечения более экономичной работы системы воздухораспределения.

### ВЫВОДЫ

1. В процессе исследования бурильных молотков ПМ-508, ВGM и ПР-20 выявлен характер изменения основных параметров их рабочего процесса в зависимости от режимов бурения горной породы.

2. Усилие подачи и давление воздуха в сети являются важнейшими факторами, определяющими параметры рабочего процесса бурильных молотков.

3. Подбором соответствующих усилий подачи можно обеспечить такой режим работы бурильного молотка, при котором достигается максимальная ударная мощность и наилучший коэффициент полезного действия. Ударная мощность бурильных молотков зависит от режимов их работы и является определяющим фактором повышения скорости бурения.

4. Повышение скорости бурения при увеличении усилия подачи достигается за счет изменения рабочего процесса молотка, вследствие чего: а) увеличивается число ходов поршня-ударника, заканчивающихся ударом его по буру; б) повышается энергия поршня перед соударением его с буром (энергия удара);

в) возрастает к. п. д. передачи энергии от поршня буры и от бура на разрушение горной породы.

5. Воздухораспределение кольцевым фланцевым золотником обеспечивает достаточно высокое наполнение сжатым воздухом полостей бурильных молотков. Усовершенствование золотниковой коробки, осуществленное в молотке ВГМ путем ликвидации геликоидального стержня, повышает степень наполнения задней полости цилиндра сжатым воздухом.

6. Лучшим среди испытанных типов бурильных молотков с кольцевым золотником следует признать молоток ПР-20, имеющий больший к. п. д. и показывающий наибольшую скорость бурения.

7. Бурильный молоток ПР-20 обладает лучшей технической характеристикой в сравнении с молотками ВГМ и ПМ-508 за счет: а) лучшего соотношения диаметра цилиндра и длины хода поршня; б) меньшего удельного веса поршня, приходящегося на единицу площади полезного сечения цилиндра; в) хорошего использования объема цилиндра благодаря уменьшению воздушных буферов.

8. К. п. д. бурильного молотка ПР-20 на 6%<sup>1</sup> выше, чем у молотка ПМ-508, что пропорционально увеличению числа ударов при одинаковой принципиальной схеме молотков.

9. Увеличение диаметра цилиндра молотков вызывает соответствующее увеличение оптимального усилия подачи. Вследствие значительных оптимальных усилий подачи работа бурильными молотками ПМ-508, ВГМ и ПР-20 без подающих приспособлений неэкономична. Для эффективного их использования необходимо работать при оптимальных усилиях подачи, указанных в табл. 1.

10. К. п. д. бурильных молотков изменяется в зависимости от усилия подачи. Максимальные значения к. п. д. получены при усилиях подачи, близких к оптимальным, и для данной конструкции молотков не зависят от давления воздуха (в пределах от 4 до 6 ати).

11. Конструкция молотка ПМ-508 может быть улучшена путем: а) сокращения длины цилиндра за счет уменьшения переднего и заднего воздушных буферов, что будет способствовать увеличению числа ударов при сохранении энергии единичного удара; б) облегчения веса поршня, что также увеличит число ударов.

Конструкция молотка ВГМ может быть существенно улучшена за счет уменьшения веса поршня и лучшего расположения воздухоподводящих и выхлопных окон.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. О. Д. Алимов, В. Ф. Горбунов. Методика экспериментального исследования рабочего процесса пневматических бурильных молотков. Известия ТПИ, т. 106, Metallurgizdat, 1958.

2. О. Д. Алимов, И. Г. Басов, В. Ф. Горбунов, Я. А. Серов, Методика лабораторного исследования ударных узлов пневматических бурильных молотков и обработки опытных данных, Известия ТПИ, т. 88, Томск, 1956.
  3. В. Ф. Горбунов. Экспериментальное исследование рабочего процесса пневматических бурильных молотков. Кандидатская диссертация, Томск, ТПИ, 1958.
  4. И. Г. Басов. Исследование влияния усилия подачи на скорость бурения и режим работы пневматических бурильных молотков. Кандидатская диссертация, Томск, ТПИ, 1958.
  5. О. Д. Алимов, П. М. Алабужев, В. Ф. Горбунов, В. И. Копытов. Исследование динамики работы бурильного молотка ПМ-508. Статья в данном сборнике.
  6. О. Д. Алимов. Исследование механизма разрушения горных пород при ударно-вращательном бурении и исходных параметров бурильных молотков. Кандидатская диссертация, Томск, ТПИ, 1953.
  7. О. Д. Алимов, В. Ф. Горбунов. О коэффициенте полезного действия пневматических бурильных молотков. Статья в данном сборнике.
-