

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО БУРИЛЬНОГО МОЛОТКА ОМ-506

О. Д. АЛИМОВ, В. Ф. ГОРБУНОВ

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

Целью настоящего исследования было выявить, как изменяются основные параметры, характеризующие рабочие процессы ударного узла пневматического бурильного молотка ОМ-506, в зависимости от изменения усилия подачи и давления воздуха.

Исследования проводились по методике, разработанной кафедрой „Горные машины и рудничный транспорт“ Томского политехнического института [1].

Ударные узлы пневматических бурильных молотков типа ОМ-506 могут работать как с инструментом—при бурении, так и без инструмента—вхолостую. Устройства, обеспечивающие работу пневматического молотка вхолостую, предусмотрены для опробования и проработки молотка перед бурением, а также для устранения возможных ударов поршня—ударника по корпусу молотка и другим деталям в случае поломки или при выпадении инструмента из молотка в процессе бурения. Рабочий процесс при холостой работе молотка несколько отличается от рабочего процесса при работе молотка с инструментом. Поэтому для конструирования новых молотков и усовершенствования существующих необходимо знать протекание рабочего процесса как при различных режимах бурения, так и при холостой работе молотка.

Работа бурильного молотка вхолостую

При холостой работе молотка поршень-ударник совершает возвратно-поступательное движение. Ход поршня ограничивается воздушными буферами, которые сжимаются поршнем в передней и задней полости цилиндра. На сжатие воздушных буферов расходуется энергия, полученная поршнем от поступающего в молоток сжатого воздуха на протяжении остальной части цикла. Так, при ходе вперед после того, как передняя кромка поршня пройдет переднюю кромку выхлопного окна (положение III, рис. 1) поршень проходит расстояние $l = 42$ мм, сжимая воздух, отсеченный в передней полости до степени сжатия $\frac{V_1}{V_2} = 4,5$ (с учетом объема воздуха в воздухоподводящем канале „Б“). Можно предполагать, что моменту перекрытия отверстия канала „Б“ соответствует момент переброски золотника в переднее положение. Перекрыв отверстие канала „Б“ (положение I), поршень продолжает движение вперед и сжимает воздух, заключенный в объеме между передней стенкой поршня и промежуточной втулкой. Дополнительная степень сжатия воздуха $\frac{V_2}{V_3}$ достигает пятнадцати.

Израсходовав всю кинетическую энергию, полученную в первой части хода вперед, на сжатие воздушного буфера, поршень останавливается, а затем за счет энергии сжатого воздуха начинает ускоренно двигаться назад и открывает отверстие воздухоподводящего канала „Б“. Через канал „Б“

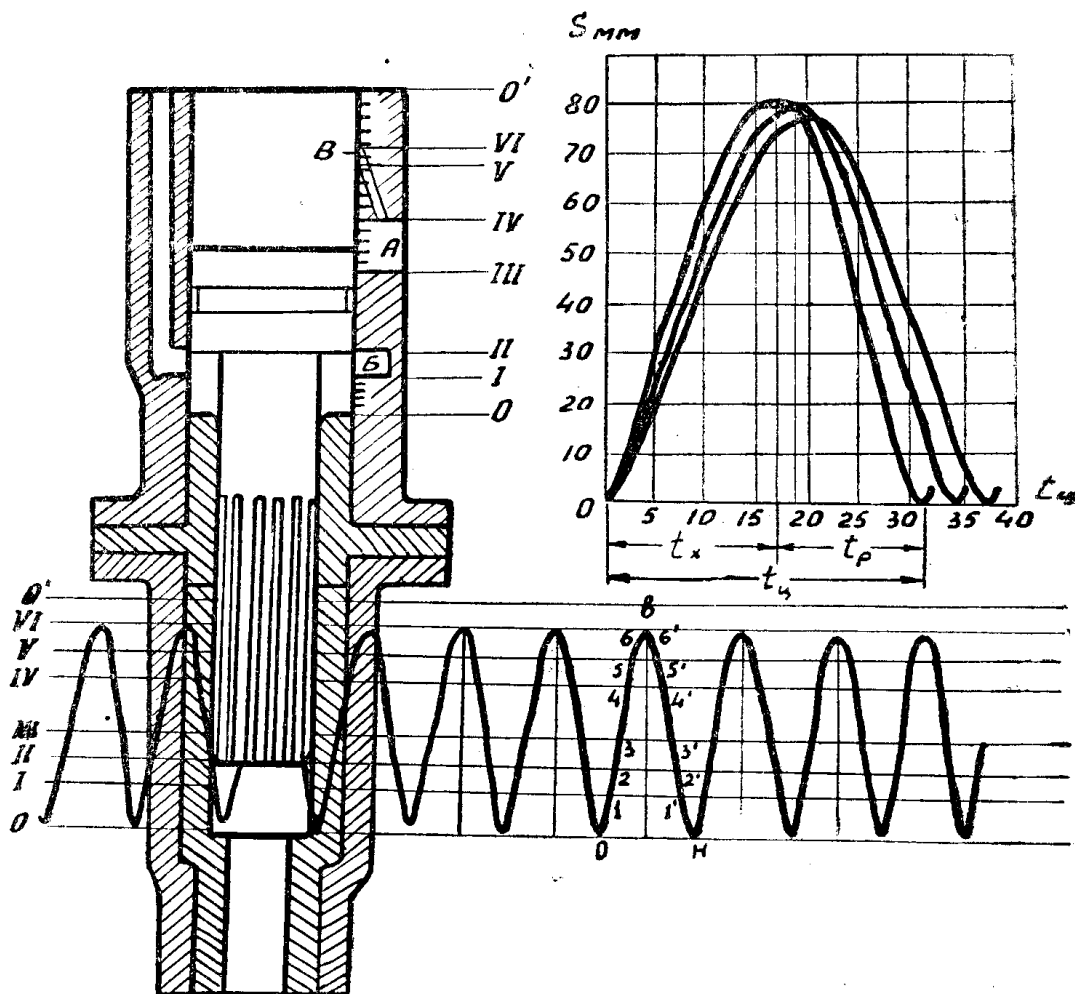


Рис. 1. Ма^{*}ет бурильного молотка для обработки диаграмм хода поршня.

в переднюю полость молотка из сети поступает сжатый воздух, и поршень продолжает ускоренно двигаться в заднее положение, вытесняя воздух из задней полости через выхлопное отверстие А. После того, как задняя кромка поршня перекроет выхлопное отверстие (положение IV), воздух, оставшийся в задней полости цилиндра, частично вытесняется через отверстие „В“, соединяющее полость цилиндра с атмосферой. Перекрыв отверстия „В“ (положение V), поршень сжимает воздух, оставшийся в полости. На сжатие воздуха расходуется кинетическая энергия, которую приобрел поршень в начале хода назад. До перекрытия канала „В“ (положение VI) с начала открытия канала „Б“ поршень проходит расстояние $l_1 = 50$ мм. Замедление хода поршня назад начинается, в основном, с начала перекрытия канала „В“. После начала перекрытия канала „В“ до остановки поршень проходит путь равный 23–25 мм, не доходя до заднего конца цилиндра (положение O') на 6–8 мм. Степень сжатия воздуха в заднем буфере после перекрытия канала „В“ составляет $\frac{V_4}{V_5} = 3,7-2,75$.

Вследствие того, что при ходе назад (обратный ход) поршень сжимает воздушный буфер большего сечения и большей длины, чем при ходе вперед, остановка поршня при ходе назад происходит на большем промежутке времени, чем в конце хода вперед. Время замедления составляет:

а) при ходе вперед 2—3 миллисекунды, или $1/15$ времени цикла;

б) при ходе назад 5—7 миллисекунд, или $1/7—1/5$ времени цикла.

Величина холостого хода поршня, рис. 1, увеличивается при увеличении давления воздуха. При давлении воздуха 4—6 *ати* длина хода поршня составляла 75—80 мм. Одновременно с увеличением хода поршня при увеличении давления воздуха уменьшается время одного цикла: с $t_u = 37$ мсек при 4 *ати* до $t_u = 31$ мсек при 6 *ати*, соответственно число ходов поршня увеличивается с 1620 до 1940 в минуту. Отношение времени обратного хода

к времени рабочего хода составляло $\frac{t_x}{t_p} = 1,17—1,2$.

Максимальную скорость относительно корпуса молотка поршень имеет: а) при ходе вперед на расстоянии 40—42 мм от начала хода вперед, что предшествует открытию задней кромкой поршня выхлопного окна (положение IV); б) при ходе назад на расстоянии 50—57 мм от начала хода назад, что предшествует открытию передней кромкой поршня выхлопного окна (положение III).

По диаграммам холостого хода поршня можно вычислить максимальные скорости движения поршня относительно корпуса молотка и соответствующие им величины кинетической энергии поршня, которые при холостой работе молотка в основном расходуются на сжатие воздушных буферов.

На основе анализа диаграмм холостого хода поршня можно сделать следующие выводы:

1. Величина холостого хода поршня составляет 88—90% теоретически возможного хода поршня.

2. Степень сжатия воздушных буферов при ходе вперед достигает 15, а при ходе назад $3,7 \div 2,75$.

3. Предполагаем, что время цикла поршня можно сократить, а следовательно, увеличить число циклов в минуту за счет уменьшения длины заднего буфера и уменьшения тем самым времени замедления и ускорения поршня в заднем крайнем положении.

Уменьшение заднего буфера может быть осуществлено за счет уменьшения длины цилиндра или за счет увеличения длины поршня.

Работа пневматического бурильного молотка с инструментом

При работе пневматического бурильного молотка с инструментом ход поршня ограничивается при движении вперед торцом хвостовика бура, при движении назад—воздушным буфером. Необходимым условием для обеспечения нормального рабочего процесса бурения является приложение к корпусу молотка дополнительного усилия в направлении забоя—усилия подачи. При отсутствии дополнительного усилия корпус молотка при первых же ударах отходит от ограничителя буртика бура настолько, что инструмент выскакивает из поворотной буксы.

При изменении усилия подачи происходит явление аналогичное изменению длины хвостовика бура, т. е. изменяется величина хода поршня и параметры рабочего процесса.

На рис. 2 представлены диаграммы хода поршня при бурении песчаника с давлением воздуха у молотка 4 *ати* при различном усилии подачи.

При малых усилиях подачи $F = 24$ кг и меньше ударный узел работает неровно, часть циклов с меньшей величиной хода поршня заканчивается

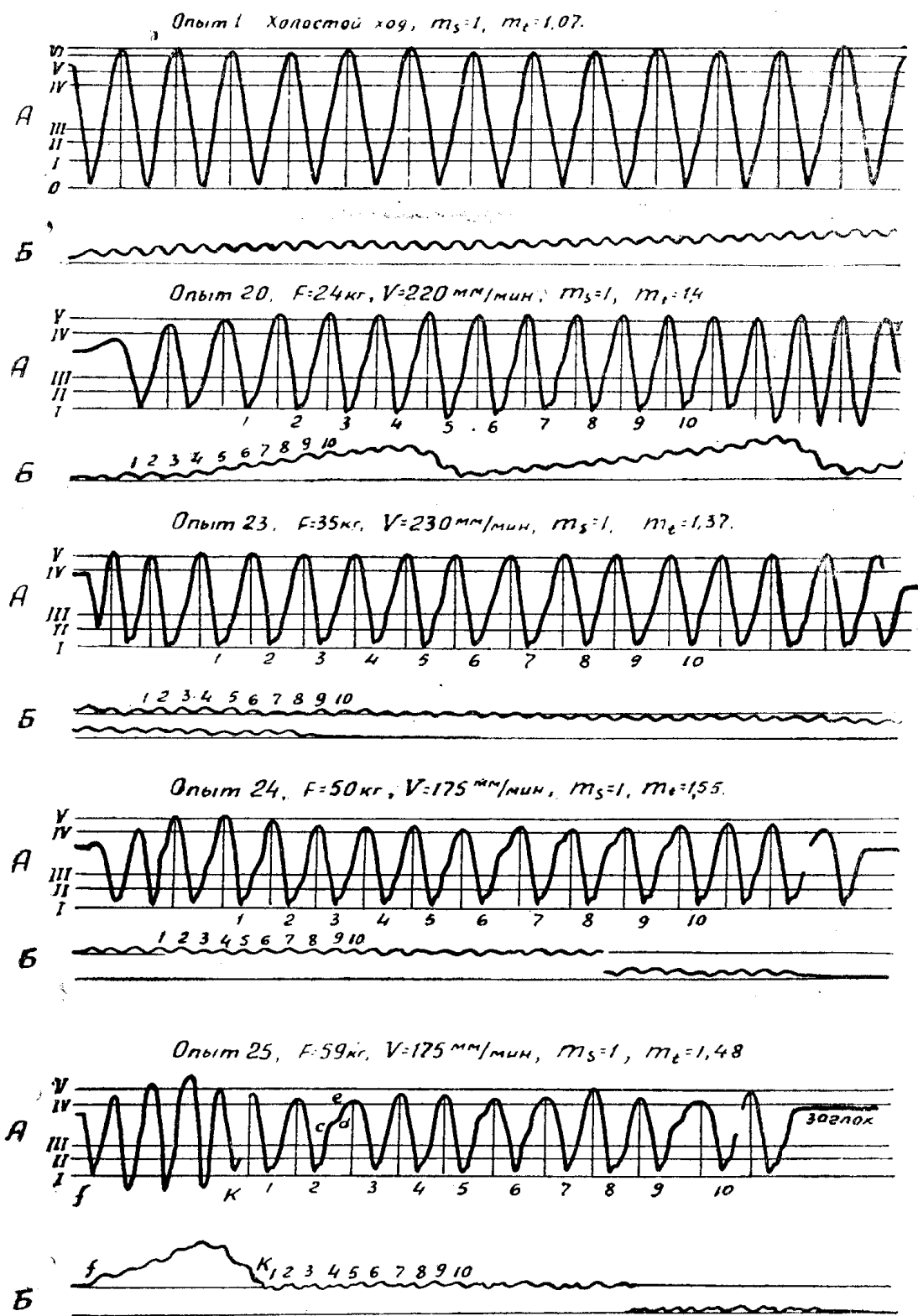


Рис. 2. Диаграммы хода поршня и отдачи при различных режимах бурения песчаника с давлением воздуха 4 атм
 F — усилие подачи, кг, V — скорость бурения, мм/мин,
 m_s — масштаб пути поршня, мм/мм,
 m_t — масштаб времени, сек/м, A — диаграмма хода поршня,
 B — диаграмма отдачи.

ударом по буру, другая часть циклов с большей величиной хода поршня представляет собой циклы холостой работы молотка при данном давлении сети. Холостые удары возникают в момент значительного отхода корпуса молотка (от линии внедрения), в результате чего хвостовик бура выходит из внутренней полости молотка. Вследствие различной длины хвостовика бура, вдвинутого в полость молотка в момент удара по нему поршнем, рабочие циклы при малом усилии подачи не одинаковы. При дальнейшем увеличении усилия подачи число холостых ходов уменьшается, рабочий процесс становится более устойчивым. Холостые хода прекращаются, когда максимальный отход молотка от ограничительного буртика бура (от линии внедрения) не превышает 10—12 мм.

Наиболее устойчивый процесс работы молотка наблюдается при усилиях подачи, обеспечивающих отход молотка от линии внедрения на 2—5 мм. В этих случаях отход молотка от линии внедрения и отскок бура от горной породы примерно постоянны, удары поршня по хвостовику бура происходят в одном и том же месте, с одинаковой скоростью, поэтому величина хода поршня изменяется в малых пределах.

Изменение скорости движения поршня при рабочем ходе происходит плавно, скорость возрастает на участке от начала хода вперед до открытия задней кромкой выхлопного отверстия (положение III) (рис. 2.). Затем до положения II движение происходит почти с постоянной скоростью. После начала перекрытия отверстия канала „Б“ скорость начинает уменьшаться. Наибольшее уменьшение скорости наблюдается после перекрытия передней кромкой отверстия канала „Б“. После соударения с буром поршень отскакивает назад с некоторой скоростью. С этой скоростью поршень движется 2—5 мм, затем скорость движения поршня несколько замедляется и только после полного открытия канала „Б“ (положение II) происходит увеличение скорости. Увеличение скорости движения поршня при обратном ходе после удара по буру происходит медленнее, чем в случае холостой работы молотка, когда поршень получает значительное ускорение за счет большой степени сжатия переднего буфера.

На участке III—IV поршень движется с почти постоянной скоростью. Перед открытием передней кромкой выхлопного окна (положение IV) начинается замедление хода поршня, а затем остановка его. Величина хода поршня, соответствующая максимальной скорости бурения песчаника и гранита при давления 4, 5, 6 *ати*, равна 52 ± 1 мм. В этих случаях поршень при ходе назад останавливался в положении V, то есть, когда задняя кромка поршня перекрывает отверстие канала „Б“. Изменения продолжительности одного цикла и соотношения между продолжительностью рабочего и обратного хода в этом случае были незначительными. При дальнейшем увеличении усилия подачи наблюдается меньшая устойчивость рабочего процесса бурильного молотка. Для пуска молотка в работу необходимо предварительное оттягивание корпуса молотка от забоя. В момент оттягивания молотка от забоя ход поршня естественно увеличивается (участок *f—k*, опыт № 25), рис. 2, а затем уменьшается. Изменяется и диаграмма цикла, особенно диаграмма второй половины заднего хода поршня. Переднее крайнее положение поршня, как и прежде, ограничивается ударом поршня по буру в момент почти полного перекрытия нижней кромкой поршня воздухоподводящего канала „Б“ (положение I). Заднее крайнее положение поршня в некоторых циклах соответствует началу открытия выхлопного отверстия „А“ (положение IV). Продолжительность отдельных циклов увеличивается за счет увеличения времени обратного хода. Замедление хода поршня происходит в основном во второй половине обратного хода на расстоянии 5—12 мм до открытия выхлопного окна. Характерно, что после резкого замедления скорости движения поршня он затем вновь движется с увеличивающейся скоростью. Такое местное замедление движения поршня можно объ-

яснить следующим: при ускоренном движении поршня назад разность давлений воздуха в передней и задней полостях цилиндра уменьшается, вследствие этого уменьшается ускорение поршня и крутящий момент, который может развить поршень, вращая бур. При значительном сопротивлении вращению бура в шпуре разность давлений не обеспечивает перемещение поршня назад с прежней скоростью и скорость поршня уменьшается (участок $c-d$, опыт № 25), рис. 2. Но при уменьшении скорости поршня давление воздуха в задней полости уменьшается за счет истечения части отсеченного воздуха в атмосферу через отверстие „В“. Вследствие этого увеличивается разность давлений в передней и задней полостях, что увеличивает усилие, действующее на поршень, а следовательно, и скорость поршня (участок $d-e$, опыт № 25). Таким образом, наличие отверстия „В“ позволяет увеличить крутящий момент молотка в конце обратного хода и тем самым обеспечить более устойчивую работу молотка.

Необходимо отметить, что при значительных усилиях подачи наблюдаются циклы, когда выхлоп воздуха из передней полости цилиндра через выхлопное окно не происходит, так как передняя кромка поршня в заднем крайнем положении не открывает выхлопное окно. В этом случае сжатый воздух из передней полости цилиндра истекает в атмосферу через шлицы штока поршня, которые выходят в переднюю полость молотка раньше момента открытия выхлопных окон. Так как при дросселировании воздуха через шлицы давление в передней полости падает медленнее, чем при выхлопе через специальные окна, то поршень задерживается в заднем крайнем положении на больший промежуток времени. Этот промежуток времени иногда бывает равным времени целого цикла при устойчивой работе молотка. Энергия удара в подобных циклах очень мала, вследствие неполного выхлопа из передней полости. Следующий за этим цикл обычно имеет нормальный ход поршня.

Работа бурильного молотка на режимах, когда заднее крайнее положение поршня соответствует началу открытия выхлопного окна, является неустойчивой, и молоток часто глохнет. Молоток глохнет обычно в тот момент обратного хода поршня, когда передняя кромка последнего не доходит до линии открытия выхлопного окна на 6—10 мм. В этом случае разности давлений недостаточно для дальнейшего продвижения поршня назад, а избыточное давление воздуха в передней полости не позволяет перекинуть золотник в положение, соответствующее рабочему ходу.

При бурении с давлением воздуха 5 и 6 *ати* картина изменения циклов хода поршня при изменении усилия подачи такая же, что и при работе на 4 *ати*. В отличие от работы на 4 *ати* при бурении на 5 и 6 *ати* область неустойчивой работы молотка при малых усилиях подачи расширяется вследствие большого отхода корпуса молотка от ограничительного буртика бура. Устойчивая работа молотка ОМ-506 при давлении воздуха 5 и 6 *ати* обеспечивается при усилиях подачи 47—60 кг.

При бурении гранита диаграммы хода поршня при различных усилиях подачи и давлениях воздуха сохраняют в основном все свои характерные особенности (рис. 3). Но, ввиду большей крепости гранита, область устойчивой работы молотка сдвигается в сторону больших усилий подачи, чем при бурении песчаника. На рис. 4 и 5 проведено сравнение циклов хода поршня при различных режимах бурения песчаника и гранита.

Взаимосвязь между ходом поршня и отдачей бурильного молотка

При холостой работе молотка диаграмма хода поршня и диаграмма отдачи представляют кривые, похожие на синусоиды. Диаграмма хода поршня при бурении изменяет конфигурацию в связи с наличием удара поршня о хвостовик бура, как было описано выше. Кривая отдачи молотка—движение

корпуса молотка во времени—тоже имеет соответствующее изменение. При малых усилиях подачи отход молотка от забоя происходит не только в течение одного цикла, но наблюдаются колебания корпуса и в течение нескольких циклов. При этом характер и величина колебаний корпуса изменяются с изменением усилия подачи. На всем протяжении диаграммы отдачи

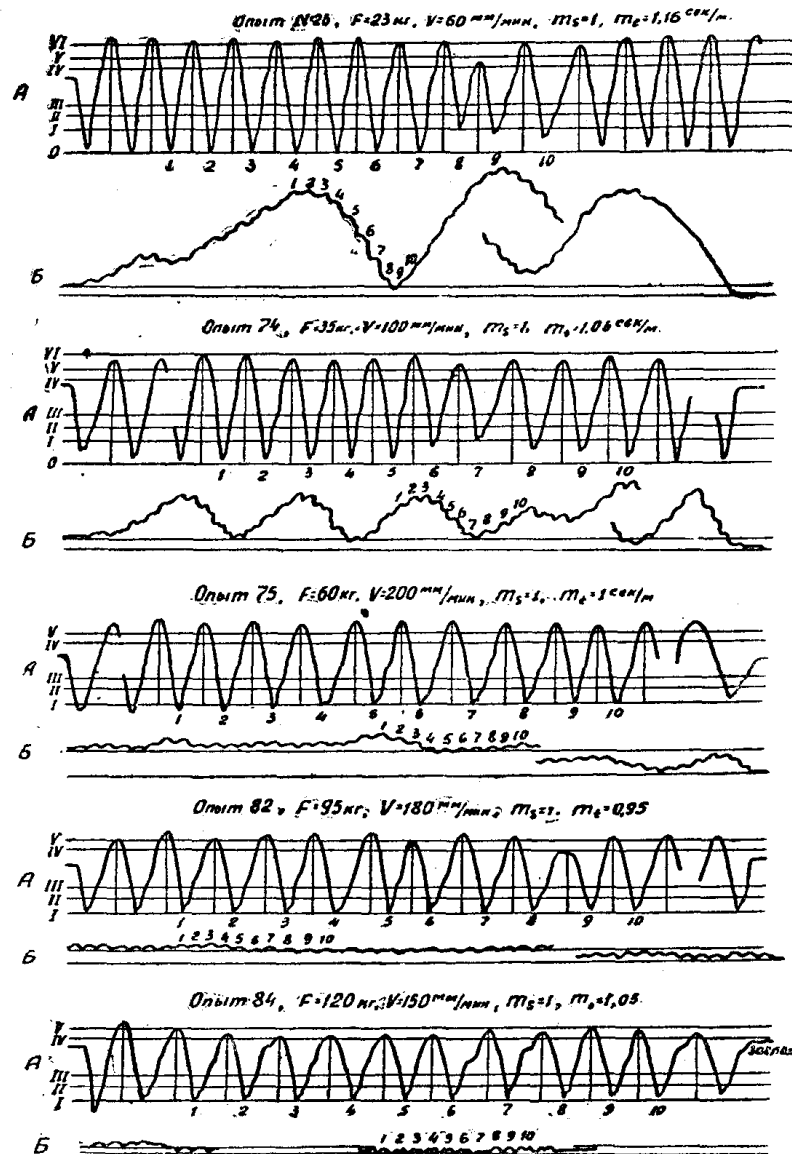


Рис. 3. Диаграммы хода поршня и отдачи при различных режимах бурения гранита с давлением воздуха 6 атм
 F — усилие подачи, кг, V — скорость бурения, мм/мин,
 m_s — масштаб пути поршня, мм/мм, m_t — масштаб времени, сек/м, A — диаграмма хода поршня, B — диаграмма отдачи.

(рис. 2), опыт № 20, наблюдаются периодические увеличения и уменьшения отхода молотка, причем увеличение отхода происходит плавно в течение 8—13 ударов (циклов), а уменьшение отхода—приближение молотка к за-

бою—происходит быстрее, в течение 3—4 циклов. Отход молотка уменьшается до 5—7 мм, а затем опять наступает увеличение отхода, то есть начинается следующий период. При оптимальных усилиях подачи отход молотка от забоя примерно одинаков на протяжении всей работы (опыт № 23).

В результате изменения величины отхода корпуса молотка от забоя при бурении с малым усилием подачи величина хода поршня при одном и том же усилии подачи и давлении воздуха не является постоянной (рис. 2), опыт № 20. Ход поршня увеличивается с увеличением отхода корпуса молотка от забоя. Но увеличение хода поршня не пропорционально увеличению отхода молотка от забоя (от линии внедрения), увеличение хода поршня, как правило, меньше увеличения отхода корпуса молотка от забоя. Это можно объяснить тем, что при отходе корпуса молотка от забоя бур после удара по горной породе отскакивает назад и ударяется буртиком в корпус молотка. В результате этого следующий удар поршня по буру происходит в момент, когда буртик бура или находится у корпуса молотка, или на небольшом расстоянии от него. После удара по буру поршень останавливается или несколько отскакивает назад, а бур движется к забою, ударяет лезвием по горной породе и вновь отскакивает. Среднюю величину отскока бура от горной породы в процессе бурения на оптимальных режимах без большой погрешности можно принять равной средней величине отхода корпуса молотка от линии внедрения. Максимальным скоростям бурения соответствует средняя величина отхода $H_{cp} = 2-6$ мм.

При увеличении усилия подачи сверх оптимального, циклам с резким изменением скорости движения поршня при обратном ходе соответствуют циклы диаграммы отдачи с дополнительными колебательными движениями корпуса молотка (опыт № 23, рис. 2). Циклы с дополнительным колебательным движением обычно более растянуты по времени, средняя амплитуда колебания корпуса в этом случае меньше.

Как видно из вышеизложенного, наличие некоторого постоянного отхода молотка от линии внедрения обеспечивает постоянный отскок бура от горной породы и обуславливает устойчивую работу молотка.

Величина хода поршня бурильного молотка ОМ-506 при бурении

Сравнение диаграмм хода поршня при одном и том же усилии подачи (рис. 4, 5 и таблицы 1 и 2) показывает, что при увеличении давления воздуха на 1 *ати* величина хода поршня увеличивается на 4—7 мм, причем в зоне малых усилий подачи это увеличение составляет 7 мм/1 *ати*, а в области больших усилий 4—5 мм/1 *ати*. В области устойчивой работы молотка при увеличении усилия подачи на каждые 10 *кГ* ход поршня уменьшается на 4—5 мм, рис. 6, 7. При уменьшении хода поршня до 50 мм молоток работает устойчиво. Дальнейшее уменьшение хода поршня за счет увеличения усилия подачи приводит к неустойчивой работе молотка. При ходе поршня менее 44 мм выхлопное окно в конце обратного хода поршня не открывается (при длине хвостовика бура $l_x = 107$ мм) и выхлоп сжатого воздуха происходит частично через зазоры между шлицами штока поршня и поворотной буксы. При уменьшении хода поршня до 42 мм молоток глохнет. Это соответствует усилиям подачи, приведенным в табл. 3.

На рис. 8а и 8б приведено сравнение циклов хода поршня, соответствующих оптимальным усилиям подачи (обеспечивающим максимальную скорость бурения), при разном давлении воздуха (рис. 8а) и бурении различных горных пород (рис. 8б).

Таблица 1

Давление воздуха, ати	4					5					6						
	Усилие подачи, кг	24	36	47	59	71	24	36	47	59	71	83	24	36	47	59	71
Ход поршня, мм	56	52	$\frac{45}{51}$	45	—	61	56	58	49	44	43	—	62	65	52	48	42
Продолжитель- ность цикла, миллисек	40	40	$\frac{43}{40}$	43	—	37	40	36	39	42	40	—	35	34	35	37	33
Отношение времени обрат- ного хода поршня к вре- мени прямого хода	1,7	1,7	$\frac{1,8}{1,4}$	1,7	—	1,9	1,9	1,5	1,7	1,8	1,9	—	1,5	1,3	1,9	2,0	2,1

Таблица 2

Давление воздуха, ати	4					5					6							
	Усилие пода- чи, кг	24	36	47	59	71	95	24	36	47	59	71	95	24	36	47	59	71
Продолжитель- ность цикла, миллисек	44	42	39	38	41	42	37	37	36	35	37	39	34	34	33	33	32	34
Отношение времени обрат- ного хода поршня к вре- мени прямого хода	1,4	1,5	1,4	1,4	1,5	1,6	1,5	1,4	1,6	1,6	1,5	1,6	1,3	1,3	1,3	1,5	1,7	1,7
Ход поршня, мм	58	52	51	50	45	43	68	61	56	53	51	44	73	67	65	59	54	51

Таблица 3

Давление воздуха, ати	Усилие подачи, кг	
	при бурении гранита	при бурении песчаника
4	83	70
5	95	80
6	105	90

Таблица 4

Горная порода	Холостая работа			Песчаник			Гранит		
	4	5	6	4	5	6	4	5	6
Давление воздуха, <i>ати</i>	4	5	6	4	5	6	4	5	6
Усилие подачи, <i>кг</i>	0	0	0	36	50	59	36	59	75
Ход поршня, <i>мм</i>	77	79	80	52	51	52	52	52	53
Продолжительность цикла, <i>миллисек</i>	37	34	31	39	37	35	41	35	32
Отношение времени обратного хода к времени прямого хода	1,2	1,3	1,2	1,75	1,5	1,9	1,5	1,6	1,7

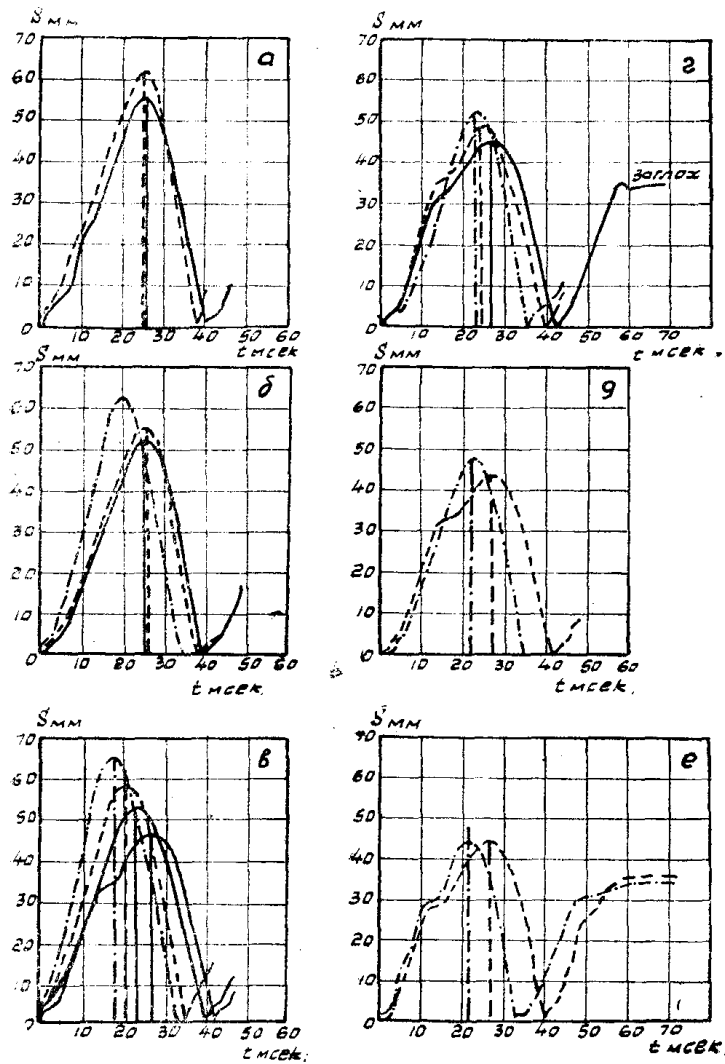


Рис. 4. Сравнение циклов хода поршня при различных режимах бурения песчаника:
 а — усилие подачи 24 кг, б — 36 кг, в — 47 кг, г — 59 кг,
 д — 71 кг, е — 83 кг, ———— давление воздуха 4 ати,
 - - - - - 5 ати, - . - . 6 ати.

Из рис. 8а, 8б и табл. 4 видно, что ход поршня молотка ОМ-506 при режимах работы, обеспечивающих максимальную скорость бурения при различном давлении воздуха и при бурении различных горных пород, является величиной относительно постоянной и равной $s = 52 \pm 1$ мм.

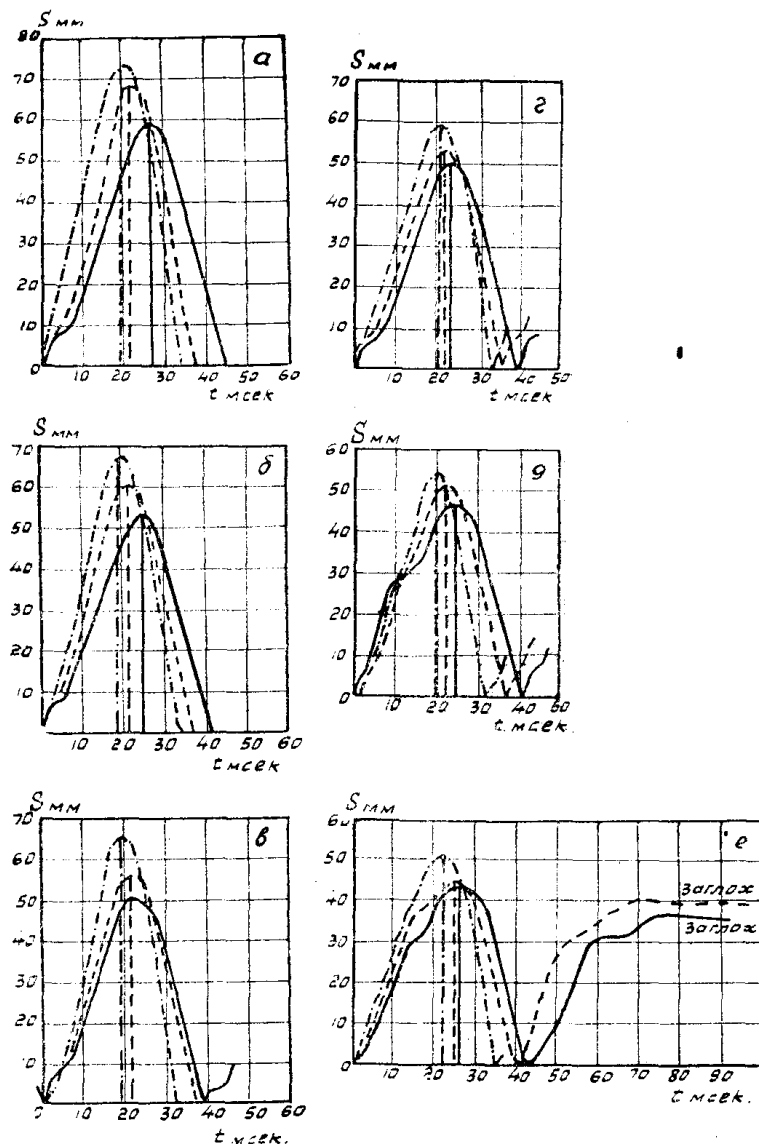


Рис. 5. Сравнение циклов хода поршня при различных режимах бурения гранита:
 а — усилие подачи 24 кг, б — 36 кг, в — 47 кг, г — 59 кг,
 д — 71 кг, е — 95 кг; — — — давление воздуха 4 ати,
 — — — — — 5 ати, — . — — — 6 ати.

Сжатие переднего и заднего воздушных буферов

Степень сжатия воздушных буферов оценивается в процентах к общей длине буфера [1]. При увеличении усилия подачи степень сжатия воздушных буферов уменьшается как при бурении песчаника, так и при бурении гранита. При одном и том же усилии подачи деформация воздушных буферов тем больше, чем больше давление воздуха (рис. 9). Максимальное сжатие заднего воздушного буфера соответствует холостому ходу поршня и составляет $\sim 90\%$. С увеличением усилия подачи на 10 кг сжатие заднего буфера уменьшается на 7—3%; с увеличением давления воздуха на 1 ати при тем

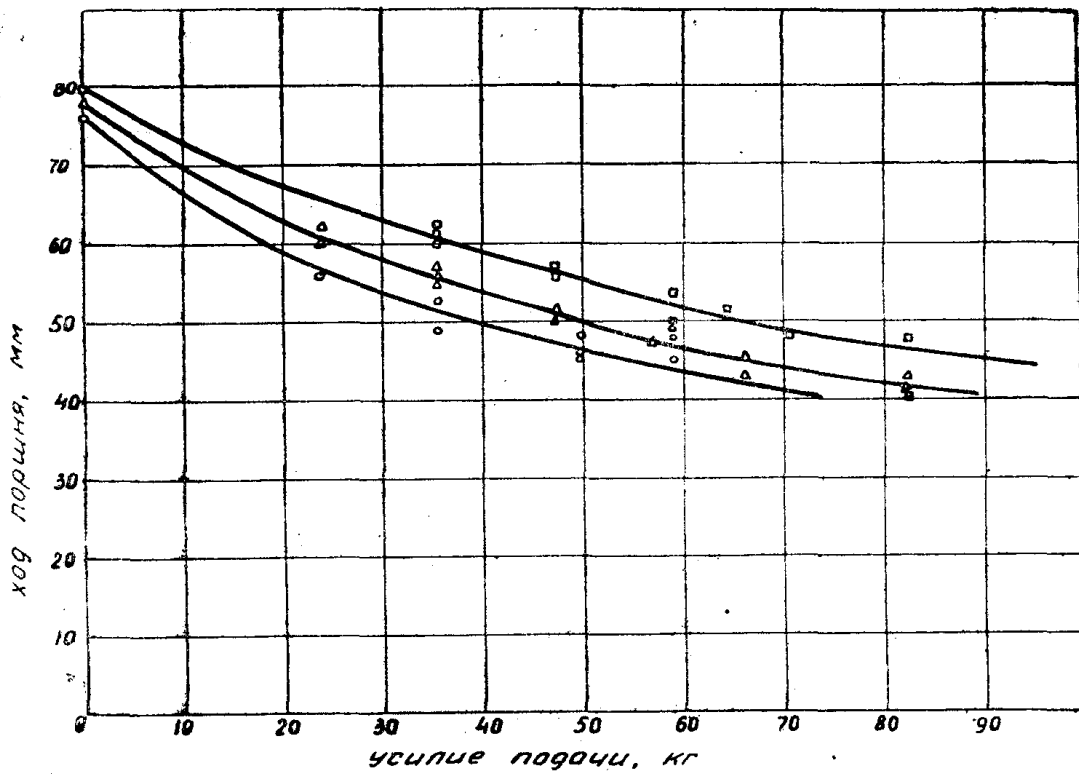


Рис. 6. Зависимость величины хода поршня от давления воздуха и усилия подачи при бурении песчаника:
 ○ — 4 ати, △ — 5 ати, □ — 6 ати.

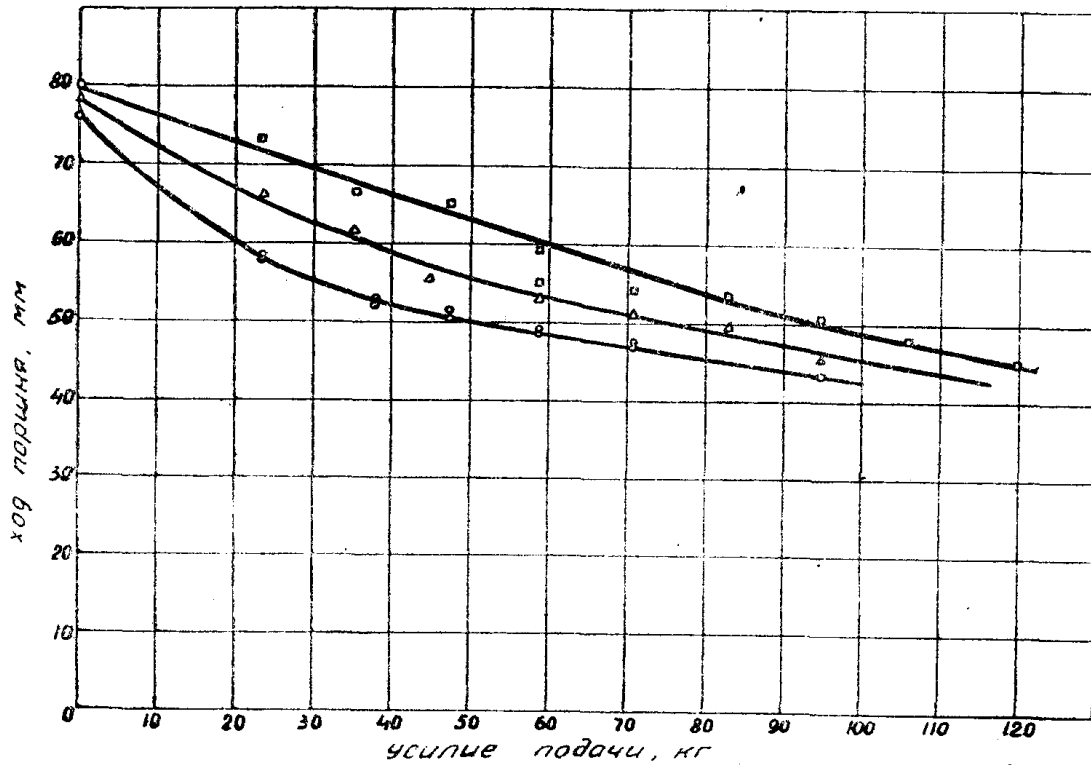


Рис. 7. Зависимость величины хода поршня от давления воздуха и усилия подачи при бурении гранита:
 ○ — 4 ати, △ — 5 ати, □ — 6 ати.

же усилию подачи сжатие увеличивается на 5—12%. Минимальное сжатие заднего буфера составляет при бурении гранита 45%, при бурении песчаника 43%, что соответствует ходу поршня $s = 43$ и 42 мм, то есть неустойчивому режиму работы молотка. В этом случае поршень при обратном ходе полностью не перекрывает канал „В“.

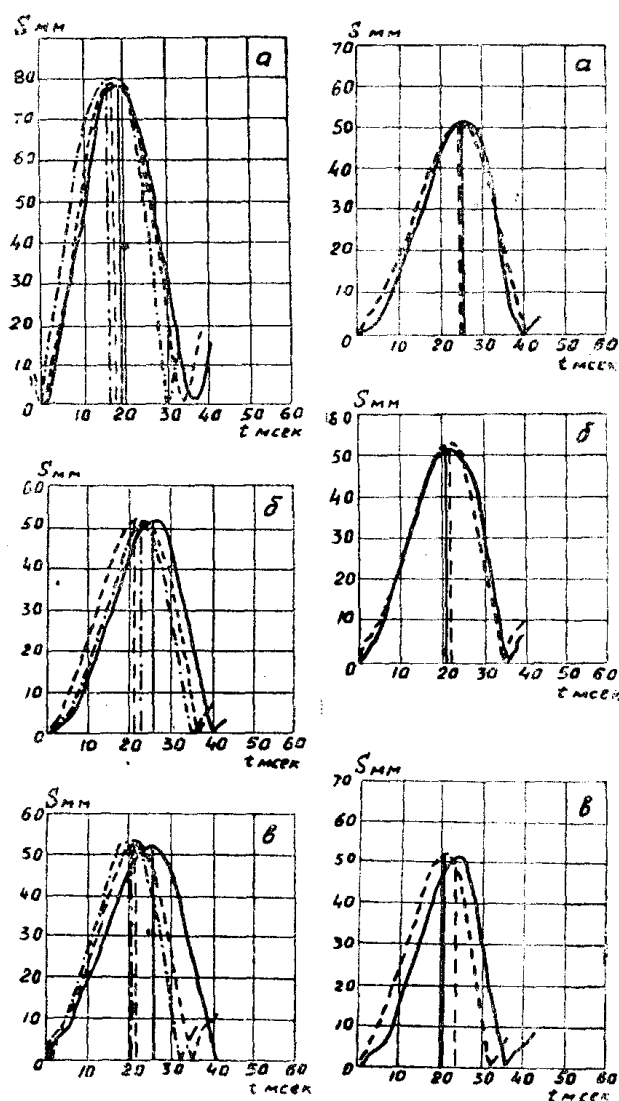


Рис. 8а. Сравнение циклов хода поршня при бурении на различных давлениях воздуха и с оптимальными усилиями подачи. а—работа молотка вхолостую, б—бурение песчаника, в—бурение гранита, —4 ати, ---5ати, -.-6ати.

Рис. 8б. Сравнение циклов хода поршня при бурении различных горных пород с оптимальными усилиями подачи. а—при давлении 6 ати, б—при давлении 4 ати, в—при давлении 5 ати, —песчаник, ---гранит.

Передний воздушный буфер при холостом ходе деформируется до 95%. При этом между передним торцом поршня и промежуточной втулкой остается иногда буфер толщиной порядка 0,5—1,0 мм. В области малых усилий подачи (до 25 кг) сжатие переднего буфера составляет 50—80%. При дальнейшем увеличении усилия подачи степень сжатия воздушного буфера быстро уменьшается. При усилиях подачи, обеспечивающих прижатие корпуса

молотка к ограничительному буртику бура, сжатия переднего буфера, после перекрытия впускного канала „Б“, вообще не происходит. Как отмечалось выше, при этих режимах отскок поршня назад после удара происходит на меньшую величину, чем при малых усилиях подачи, когда моменту удара предшествует перекрытие канала „Б“ и некоторое сжатие переднего воздушного буфера. Следовательно, сжатие переднего буфера оказывает большее влияние на величину отскока, чем прижатие бура к горной породе перед ударом по нему поршнем.

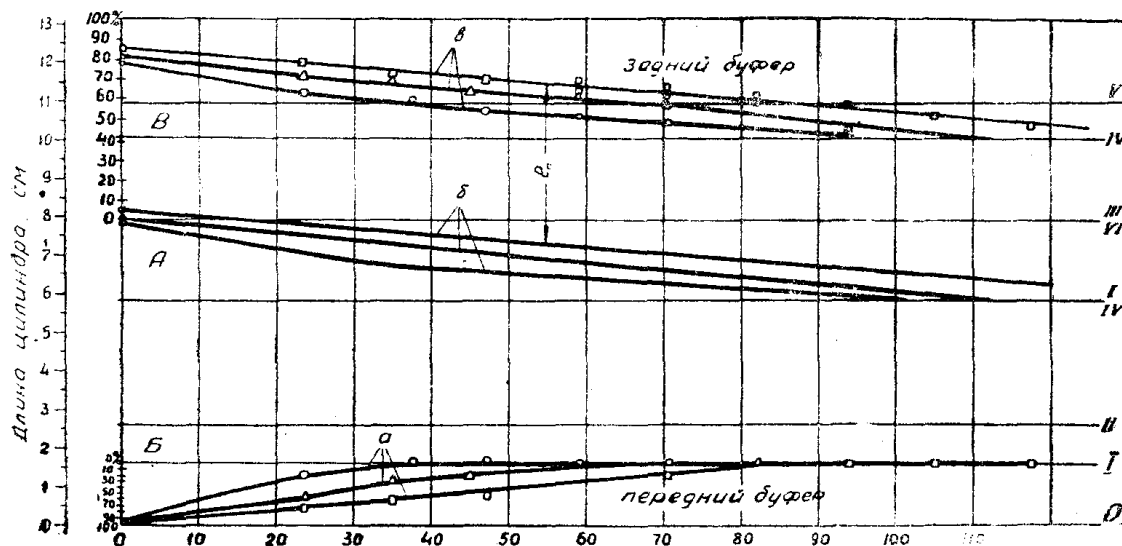


Рис. 9. Взаимосвязь между ходом поршня и степенью сжатия воздушных буферов при различных режимах бурения гранита:

○ — 4 атм, △ — 5 атм, □ — 6 атм, ■ — 8 атм

А — выхлопное окно, Б — переднее впускное окно, В — тангенциальный канал, а — изменение степени сжатия переднего буфера, б — положение передней кромки поршня в крайнем заднем положении (степень открытия выхлопного окна), в — изменение степени сжатия заднего буфера, *ln* — высота головки поршня. O — VI — характерные положения поршня в цилиндре молотка (см. рис. 1).

Режимам работы молотка, обеспечивающим высокие скорости бурения и устойчивую работу, соответствуют сжатия воздушных буферов: заднего — 60—65%, переднего — 17—20%.

Характер изменения хода поршня и деформации воздушных буферов одинаков как при бурении гранита, так и при бурении песчаника. Некоторое отличие имеется только в том, что при бурении гранита уменьшение сжатия переднего и заднего буферов происходит на несколько большем интервале усилий подачи, чем при бурении песчаника.

Энергия удара

Общий характер изменения энергии удара (кинетической энергии поршня перед соударением с буром) в зависимости от усилия подачи при различных давлениях воздуха (рис. 10) аналогичен характеру изменения скорости бурения. Вначале, при малых усилиях подачи, энергия поршня перед соударением с буром увеличивается и при усилиях подачи 45—55 кг достигает максимума. При дальнейшем увеличении усилия подачи кинетическая энергия поршня начинает уменьшаться.

Усилия подачи, соответствующие максимальным кинетическим энергиям поршня перед соударением с буром, близки к усилиям подачи, обеспечивающим максимальную скорость бурения. Максимальная энергия поршня перед соударением достигается при несколько меньшем усилии подачи, чем максимальная скорость бурения.

В табл. 5 приведены значения кинетической энергии поршня-ударника в зависимости от усилия подачи F и давления воздуха p для бурильного

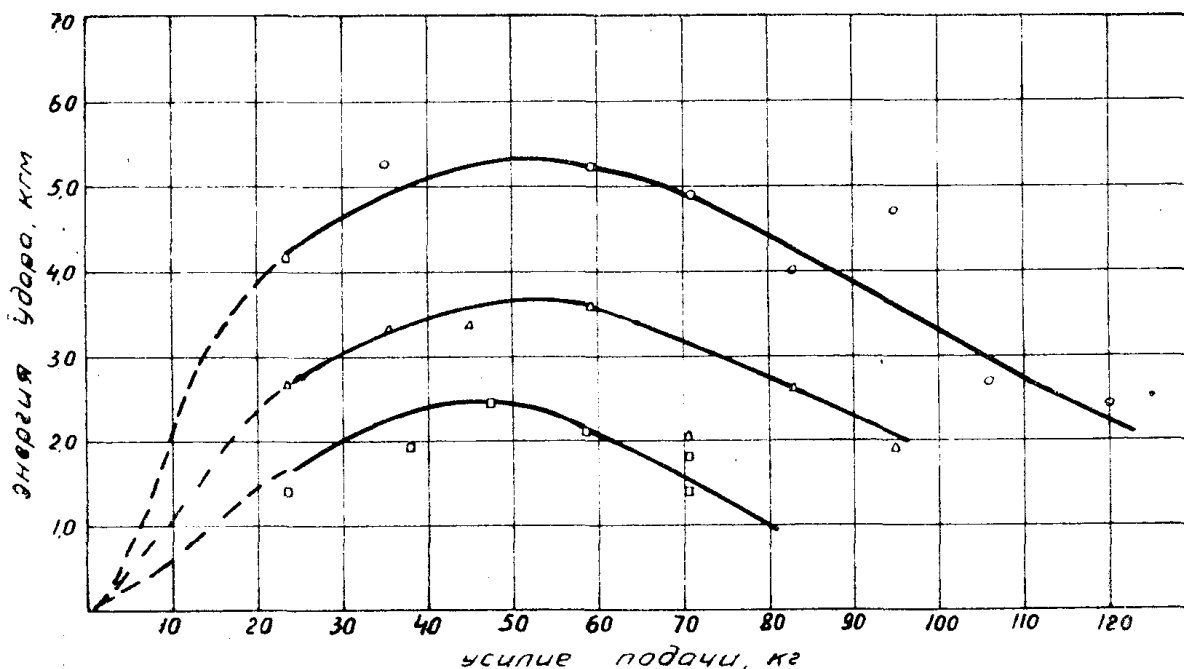


Рис. 10. Зависимость энергии удара от давления воздуха и усилия подачи при бурении гранита:
 \square — 4 ати, Δ — 5 ати, \circ — 6 ати.

Таблица 5

F кг	23	35	47	60	71	83	95	106
p ати								
4	1,5	2,2	2,5	2,1	1,5	—	—	—
5	2,6	3,2	3,6	3,6	3,1	2,7	1,9	—
6	4,2	4,9	5,1	5,1	4,8	4,3	3,5	2,9

молотка ОМ-506 при бурении гранита, а на рис. 11 представлена зависимость изменения энергии удара от величины хода поршня.

При построении рис. 11 выделены два вида характерных кривых:

1) зависимости энергии удара от хода поршня при постоянном давлении воздуха и различных усилиях подачи $A_y = f_1(S, F)$ выделены сплошными линиями;

2) зависимости энергии удара от хода поршня при постоянном усилии подачи, но при переменном давлении воздуха $A_y = f_2(S, p)$ выделены пунктирной линией.

Первые зависимости выражаются выпуклыми кривыми, имеющими максимумы

при $p = 6$ ати, $S = 60$ мм, $F = 60$ кг,

при $p = 5$ ати, $S = 57$ мм, $F = 50$ кг,

при $p = 4$ ати, $S = 50$ мм, $F = 45$ кг.

При уменьшении усилия подачи увеличивается ход поршня, а энергия удара уменьшается за счет затраты кинетической энергии поршня на сжатие воздушного буфера в передней полости цилиндра молотка. При увеличении усилия подачи больше оптимального, энергия удара быстро уменьшается за счет уменьшения активной части хода поршня (от заднего крайнего положения до открытия выхлопного окна) и за счет ухудшения выхлопа воздуха из передней полости цилиндра, вследствие чего оставшийся воздух оказывает большое противодействие при рабочем ходе. На диаграмме рис. 11 заштрихованная часть означает область рациональной работы бурильного молотка, она соответствует большим скоростям бурения.

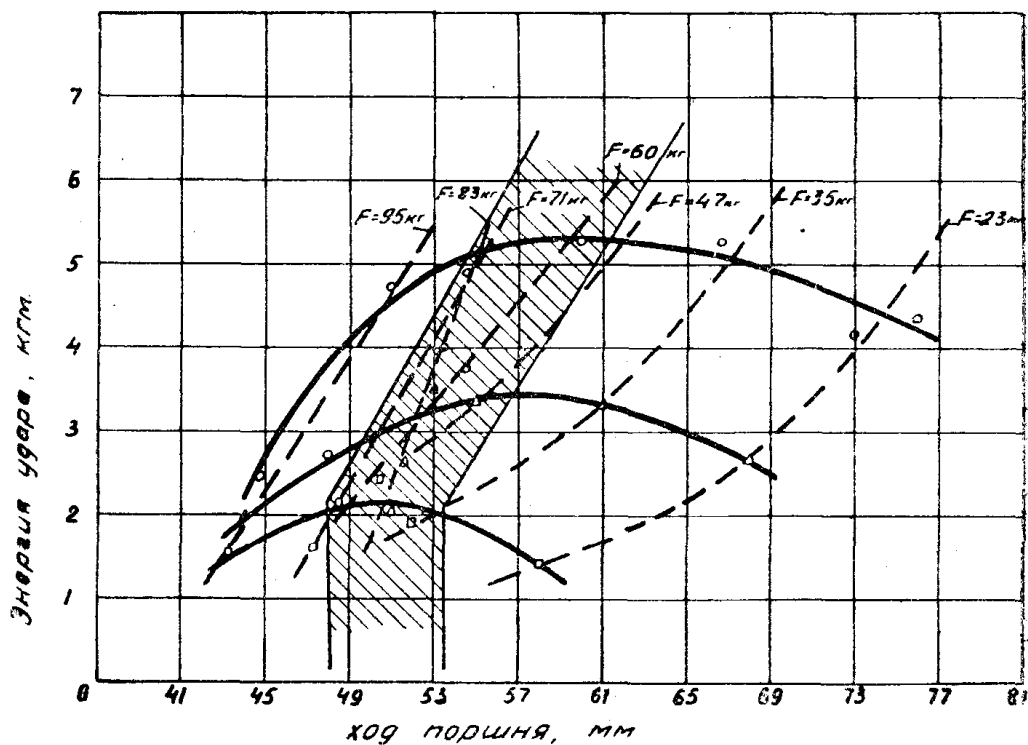


Рис. 11. Зависимость энергии удара от величины хода поршня:

□— 4 ати, △ 5 ати, ○— 6 ати.

При постоянном усилии подачи и изменении давления воздуха ход поршня и энергия удара увеличиваются с увеличением давления воздуха. В зоне малых усилий подачи увеличению давления на 1 ати соответствует увеличение работы удара на 1,8 кГм и увеличение хода поршня на 6—7 мм. В зоне высоких усилий подачи изменению давления на 1 ати соответствует изменение энергии удара на 0,5—1,0 кГм и хода поршня 4—5 мм.

Теоретическое обоснование указанных зависимостей можно сделать достаточно точно только после дополнительного исследования изменения давления воздуха в разных полостях бурильного молотка в зависимости от усилия подачи.

Длительность одного цикла хода поршня

Длительность одного цикла хода поршня изменяется в зависимости от давления воздуха и усилия подачи (рис. 12).

С увеличением давления воздуха уменьшается длительность одного цикла, а следовательно, увеличивается число ударов. При увеличении дав-

ления воздуха на 1 *ати* продолжительность цикла уменьшается в среднем на 0,0025—0,003 сек.

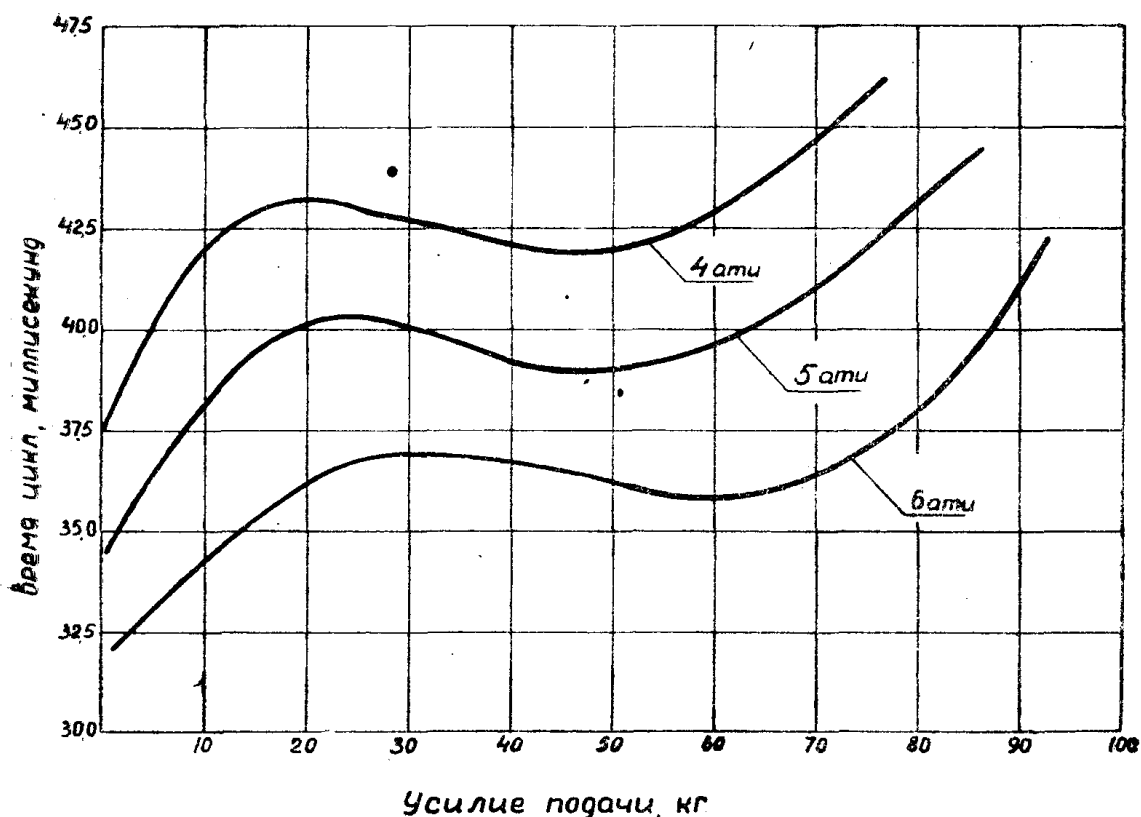


Рис. 12. Зависимость времени цикла хода поршня от усилия подачи и давления воздуха при бурении песчаника.

При изменении усилия подачи в случае бурения песчаника продолжительность цикла хода поршня изменяется следующим образом:

- 1) при увеличении усилия подачи от 0 до 20 кг (для давления 4 ати), рис. 12, и до 35 кг (для 6 ати) продолжительность цикла увеличивается;
- 2) при увеличении усилия подачи с 20—35 кг до усилия подачи на 5—10 кг большего, чем оптимальное, продолжительность цикла постепенно уменьшается. Этот участок тем больше, чем больше давление воздуха;
- 3) при увеличении подачи более 50—60 кг продолжительность цикла увеличивается.

Такое изменение продолжительности цикла может быть объяснено влиянием следующих факторов: на первом участке ($F = 0 \div 20 - 35$ кг) продолжительность циклов увеличивается за счет уменьшения степени сжатия переднего воздушного буфера, вследствие чего увеличивается время разгона поршня в начале обратного хода. Отскока бойка от бура в этих случаях не наблюдается. На втором участке уменьшение времени цикла происходит, во-первых, за счет уменьшения длины хода поршня, во-вторых, за счет ускорения разгона поршня в начале обратного хода вследствие отскока поршня от бура. На третьем участке длительность цикла увеличивается за счет увеличения времени обратного хода, вследствие большого сопротивления вращению бура и за счет увеличения времени рабочего хода, вследствие неполного предварительного выхлопа воздуха из передней полости цилиндра.

В отличие от песчаника, при бурении гранита уменьшение продолжительности цикла хода поршня на втором участке происходит до больших абсолютных величин усилий подачи. Кроме того, максимальная продолжи-

тельность цикла при бурении гранита меньше, чем при бурении песчаника. Это можно объяснить влиянием отскока бойка, который при бурении гранита больше, чем при бурении песчаника.

Соотношение между продолжительностью обратного (холостого) хода и продолжительностью рабочего хода

С изменением усилия подачи изменяется продолжительность обратного хода t_x , рабочего хода t_p и их соотношение $t_x:t_p$ (рис. 13). При холостом ходе соотношение $t_x:t_p$ близко к единице. В ряде случаев при давлении $p=6$ *ати* были получены значения $t_x:t_p$ меньше единицы (0,9—0,8), то есть

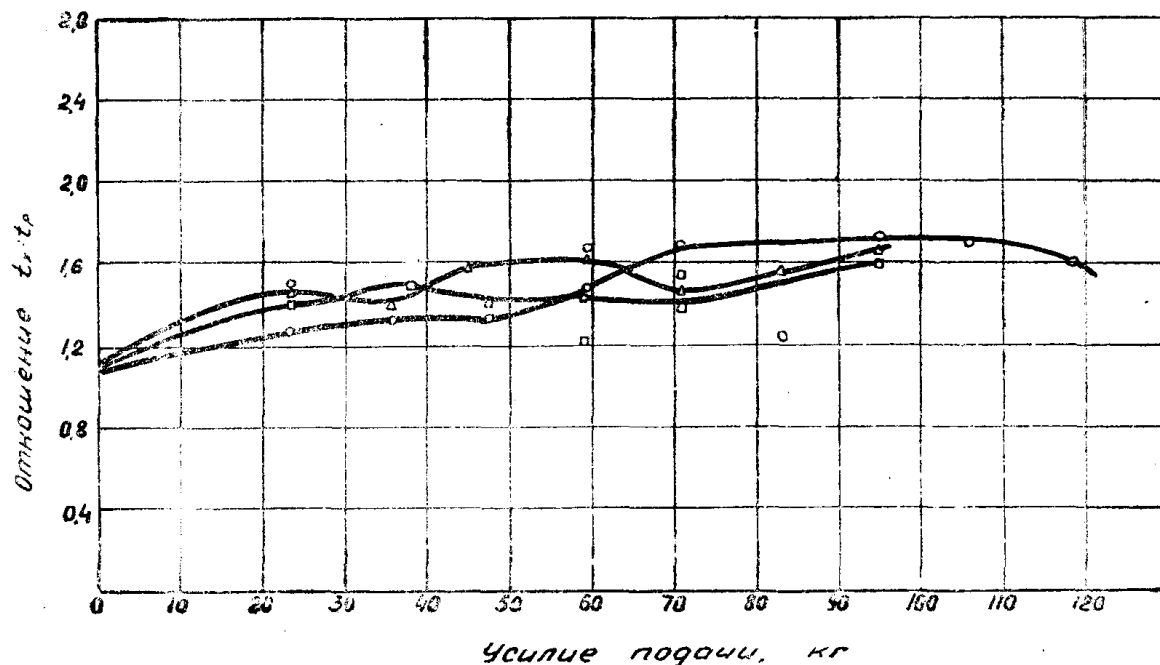


Рис. 13. Влияние усилия подачи на величину отношения времени обратного хода поршня к времени прямого хода при бурении гранита:

□ — 4 ати, △ — 5 ати, ○ — 6 ати.

время холостого хода в этих случаях было меньше времени рабочего хода. С увеличением усилия подачи с 0 до 30—35 кг отношение $t_x:t_p$ возрастает с 1,0—0,8 до 1,3—1,6. При оптимальных усилиях подачи соотношение $t_x:t_p=1,4\div 1,9$. Этот диапазон одинаков при бурении как гранита, так и песчаника с различным давлением воздуха (от 4 до 6 ати). При увеличении усилия подачи выше оптимального большинство циклов имеют $t_x:t_p=1,7\div 1,8$, но встречаются циклы с $t_x:t_p=2\div 2,5$.

Мощность, развиваемая ударным узлом. Объемная работа разрушения

Мощность, развиваемая ударным узлом молотка, изменяется в зависимости от давления воздуха и усилия подачи (рис. 14). При увеличении усилия подачи от 0 до 50, 60, 65 кг (для 4, 5 и 6 ати) ударная мощность увеличивается. Это сопровождается быстрым ростом скорости бурения. При дальнейшем увеличении усилия подачи ударная мощность уменьшается. Уменьшение ударной мощности приводит к уменьшению скорости бурения.

Эффективность использования развиваемой молотком ударной мощности на разрушение горной породы при тех или иных режимах работы молотка может быть наиболее полно оценена по величине объемной работы разрушения (рис. 15).

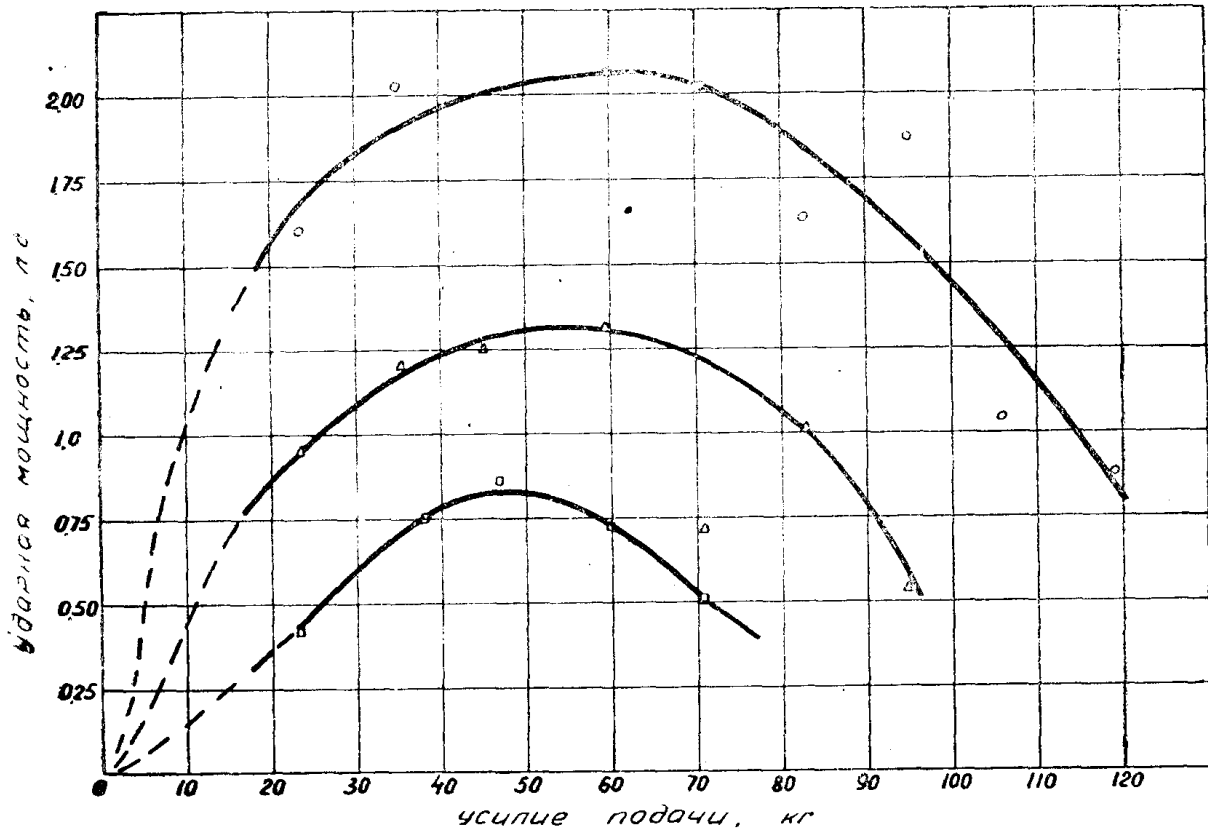


Рис. 14. Зависимость мощности ударного узла от усилия подачи и давления воздуха при бурении гранита:

□ — 4 атм, △ — 5 атм, ○ — 6 атм.

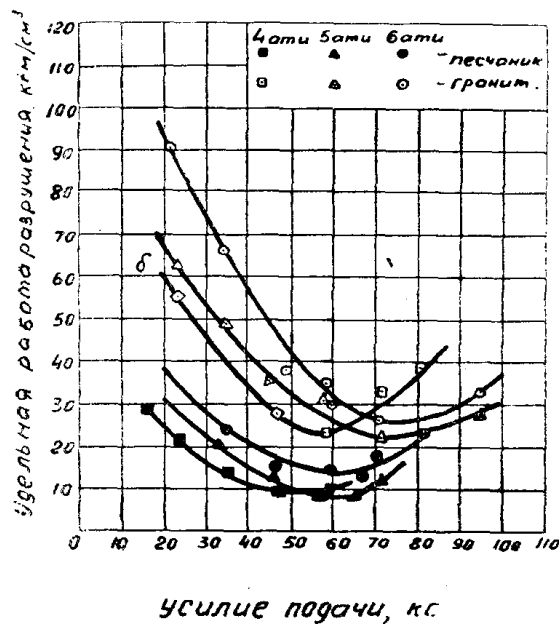


Рис. 15. Зависимость объемной работы разрушения горной породы от усилия подачи и давления воздуха.

Под объемной работой разрушения в этом случае понимается работа, затраченная ударным механизмом на разрушение 1 см³ породы. Мощность, затрачиваемая при этом на вращение бура, не учитывалась.

На рис. 15 видно, что как при бурении гранита, так и при бурении песчаника величина объемной работы разрушения с увеличением усилия подачи от нуля до 45—80 кг уменьшается. Минимальная объемная работа соответствует усилиям подачи, равным или несколько большим, чем усилия подачи, обеспечивающие максимальные скорости бурения. При дальнейшем увеличении усилия подачи объемная работа разрушения увеличивается. Следовательно, наиболее полная передача энергии удара от поршня-ударника через бур на разрушение горной породы происходит при уменьшении среднего отхода корпуса молотка до нуля.

Выводы

1. Давление воздуха, подводимого к молотку, и усилие подачи при бурении оказывают существенное влияние на рабочий процесс пневматических бурильных молотков типа ОМ-506.

2. При проектировании бурильного молотка с зависимым поворотом бура конструкцию и размеры ударного узла следует выбирать с учетом:

а) обеспечения устойчивой работы молотка вхолостую;

б) обеспечения устойчивой работы молотка в процессе бурения при значительном изменении усилия подачи.

3. Повышение скорости бурения при увеличении усилия подачи от 0 до 40—60 кг достигается за счет изменения рабочего процесса молотка, вследствие чего:

а) увеличивается число ходов поршня-ударника, заканчивающихся ударом поршня по буру;

б) увеличивается энергия поршня перед соударением (энергия удара);

в) увеличивается число ударов;

г) увеличивается к.п.д. передачи энергии от поршня буру и от бура на разрушение горной породы.

4. Устойчивость рабочего процесса ударного узла при работе на значительных усилиях подачи может быть обеспечена в том случае, если бурильный молоток развивает на буре крутящий момент, необходимый для вращения бура.

5. Увеличить крутящий момент, развиваемый на буре бурильных молотков с воздухомаслораспределительным устройством типа ОМ-506 (РП-17, ПР-30, ПР-35 и пр.), можно за счет специального канала, соединяющего заднюю полость молотка с атмосферой. Это отверстие целесообразно размещать в корпусе молотка таким образом, чтобы оно перекрывалось задней кромкой поршня в момент, когда передняя кромка поршня начинает открывать выхлопное окно.

6. На основании экспериментальных данных можно предполагать, что число ударов бурильного молотка ОМ-506 можно увеличить за счет уменьшения длины заднего буфера на 4—5 мм (уменьшения длины цилиндра за счет сокращения расстояния между задней кромкой выхлопного окна и золотниковой коробкой). Увеличить энергию удара можно за счет увеличения эффективной части рабочего хода поршня. Для этого целесообразно уменьшить длину выхлопного окна на 6—8 мм, переместив на эту величину заднюю кромку выхлопного окна в переднюю часть цилиндра молотка.

На основании проведенных исследований кинематики бурильного молотка ОМ-506 нам известны скорости движения поршня-ударника в каждой точке пути, по которым можно определить ускорения и силы, движущие поршень. Для проверки и уточнения полученных таким образом усилий целесообразно одновременно производить запись индикаторных диаграмм бурильного молотка.

ЛИТЕРАТУРА

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