

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО ПРОЦЕССА
БУРИЛЬНЫХ МОЛОТКОВ С МОТЫЛЬКОВЫМ КЛАПАНОМ

В. Ф. Горбунов

Для исследования внутреннего процесса молотков с мотыльковым клапаном были приняты ручные пневматические бурильные молотки ПР-25л (завода «Пневматика») и RH-754 (фирмы Атлас-Копко, Швеция), являющиеся ручными машинами, предназначенными для работы с пневмоподдержками. Мотыльковый клапан у этих молотков расположен непосредственно сзади цилиндра, что укорачивает воздухоподводящие каналы в сравнении с длиной их, например, у молотков с фланцевым золотником. Механизм поворота бура расположен в передней части молотка по типу механизмов поворота без отдельного геликоидального стержня. Шлицы на штоке поршня и в обойме храповой буксы выполнены полукруглыми. Храповые собачки расположены с двух сторон храповой буксы, причем у молотка RH-754 две собачки работают через 0,5 зуба, а у молотка ПР-25л четыре собачки работают через 0,25 зуба. Отличия в конструкциях молотков в основном состоят в следующем.

1. Молотки ПР-25л и RH-754 имеют диаметры цилиндров 85 и 75 мм, конструктивный ход поршня 51 и 60 мм, вес поршня 2,2 и 1,6 кг.

2. Молоток ПР-25л имеет больший по объему смазочный карман.

3. Распределение продувочного воздуха и воды для промывки производится отдельным краном, расположенным в задней головке у молотка RH-754 и в разрыве подводящего шланга у молотка ПР-25 (по типу продувочного устройства ОМ-506). Имеются и другие мелкие различия.

На рис. 1 приведена схема воздухораспределения молотка ПР-25 и теоретическая диаграмма хода поршня (близкая к диаграмме холостой работы молотка). Точками на диаграмме обозначены характерные положения поршня-ударника в цилиндре

молотка. Пользуясь разработанной нами методикой обработки диаграммы хода поршня [1, 3], можно легко проанализировать взаимодействие механизма воздухораспределения и ударного узла молотка. Поэтому подробного описания принципа действия бурильных молотков ПР-25 и РН-754 мы не приводим.

Испытательный стенд при исследовании рабочего процесса бурильных молотков РН-754 и ПР-25л состоял из пневматического поршневого податчика на распорной винтовой колонке, ком-

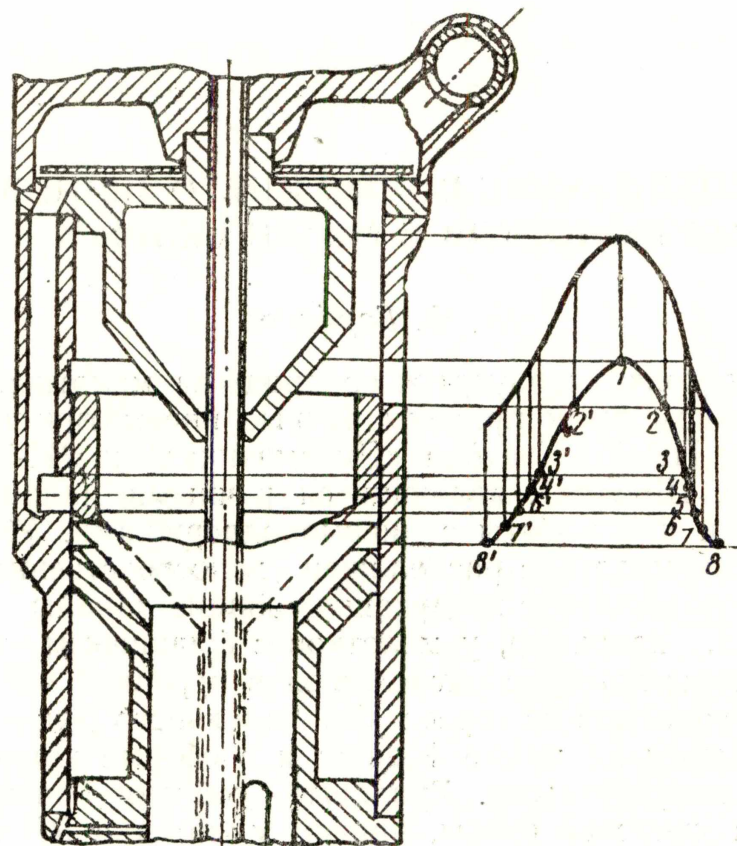


Рис. 1. Схема воздухораспределения молотка ПР-25л.

прессора, горной породы и регистрирующих приборов [3]. В процессе проведения опытов записывались следующие величины: давление воздуха у молотка, давление в податчике, время бурения, пробуренная глубина шпура, диаграмма хода поршня молотка, диаграммы давления воздуха в полостях цилиндра молотка (по времени). Кроме того, на отдельных режимах были записаны диаграммы колебаний корпуса молотка и диаграмма угловых перемещений бура. Запись диаграмм производилась на шлейфовом осциллографе 8SO—114.

Оба бурильных молотка испытывались в одних и тех же условиях, на одном испытательном стенде. Бурение производилось по роговику крепостью $f = 14—18$ по шкале проф. М. М. Протодьяконова. Бур применялся из шестигранной стали $D = 25$ мм, дли-

ной 1,2 м, диаметр однодолотчатой коронки 40 мм, диаметр воздушного шланга 25 мм, длина его 5 м. Бурение велось без промывки и без интенсивной продувки шпура.

Результаты исследования

Известно, что работа пневматического бурильного молотка с инструментом резко отличается от его работы вхолостую [1, 2, 4]. В зависимости от режимов работы (давления воздуха, усилия подачи) молоток изменяет свою характеристику и производительность. Наилучшие показатели работы молотка достигаются при определенном оптимальном усилии подачи, которое зависит от давления воздуха в сети и типа молотка.

Исследование рабочего процесса молотков ПР-25л и РН-754 проводилось на различных режимах работы — при давлении воздуха 4,5 и 6 *ати* и усилиях подачи от 45 кг до максимума. В процессе обработки результатов опытов определялись следующие показатели: величина и характер изменения давления воздуха в полостях цилиндра молотка; ход поршня; величины воздушных буферов в цилиндре; длительность цикла хода поршня (число ударов); соотношение продолжительности обратного и прямого ходов поршня; скорость поршня перед ударом по буру; энергия единичного удара; ударная мощность молотка; скорость бурения; объемная работа разрушения горной породы; к. п. д. молотка и другие величины.

Изменение давления воздуха в полостях молотка РН-754 за цикл происходит по-разному в зависимости от режима работы молотка. При холостой работе давление в задней полости (рис. 2, б, кривая 1) по величине максимума равно или несколько превосходит давление сети p_0 и уменьшается по мере движения поршня вперед. В момент выхлопа воздуха из задней полости давление составляет $0,5 \div 0,6 p_0$. При работе на оптималь-

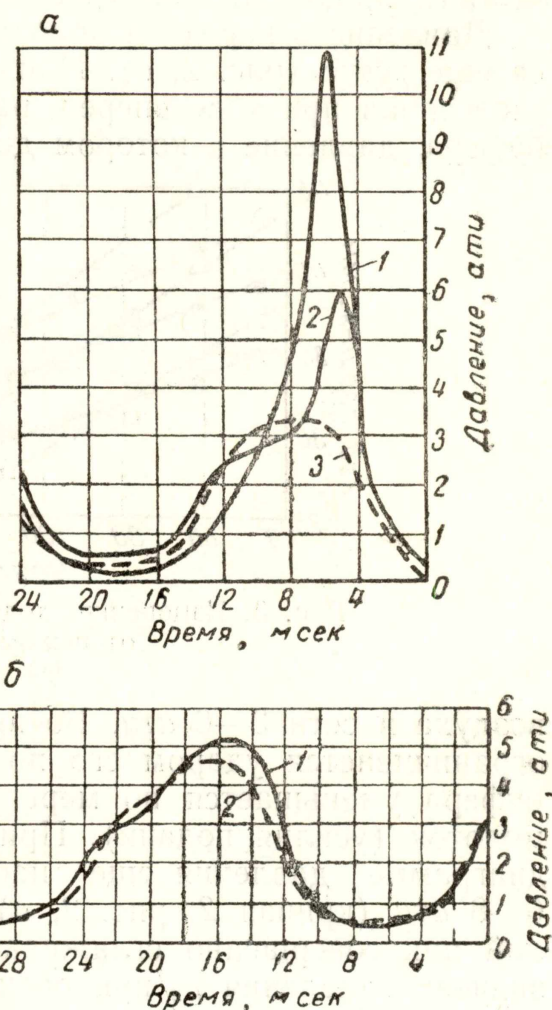


Рис. 2. Осциллограмма давления воздуха в цилиндре молотка РН-754:
а — передняя полость; б — задняя полость.

ных режимах или близких к ним величина максимального давления в задней полости несколько меньше сетевого, а в момент выхлопа составляет $0,65 \div 0,7 p_0$, т. е. выше, чем при холостой работе молотка (рис. 2, б, кривая 2). Это, очевидно, происходит за счет разницы в скоростях движения поршня. Во время холостой работы молотка поршень подходит к выхлопному окну с большей скоростью, вследствие чего падение давления в задней полости происходит быстрее, чем при оптимальных режимах.

Давление в передней полости цилиндра молотка p_2 изменяется еще резче (рис. 2, а). При холостой работе энергия поршня, запасенная при ходе вперед, расходуется на сжатие воздушного буфера, давление в котором достигает 11—14 ати при давлении

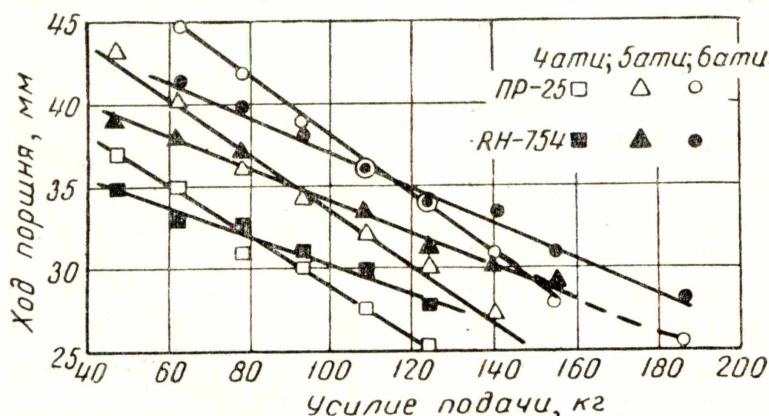


Рис. 3. Изменение хода поршня в зависимости от режимов бурения.

воздуха в сети 3—6 ати. Во время бурения ход поршня вперед ограничивается ударом его по буру, поэтому сжатие переднего буфера уменьшается по мере увеличения осевого нажатия на молоток (усилия подачи). При небольших усилиях подачи на диаграмме давления еще наблюдаются скачки давления до 6—8 ати (кривая 2, рис. 2, а), а в области оптимальных усилий пик совершенно сглаживается (кривая 3). Максимальное значение давления p_2 при оптимальных усилиях подачи не превышает 0,7 давления сети, т. е. 2,8; 3,5 и 4,2 ати при давлении в сети 4, 5 и 6 ати соответственно.

Характер и величина давления воздуха в полостях молотка ПР-25л почти целиком подобны соответствующим величинам молотка РН-754. Отличия состоят лишь в том, что диаграммы давления воздуха в молотке ПР-25л характеризуются более резким обозначением моментов выхлопа и впуска воздуха, а также несколько повышенными значениями сжатия переднего буфера.

Величины ходов поршня молотков РН-754 и ПР-25л примерно равны, несмотря на то, что полезная длина цилиндра молотка ПР-25л на 9 мм короче, чем у молотка РН-754. Зависимость хода поршня от усилия подачи и давления воздуха показана на рис. 3. При увеличении давления воздуха в сети на 1 ати

и постоянном усилии подачи ход поршня молотка ПР-25л увеличивается на 4—5 мм, а молотка РН-754 — только на 3—3,5 мм.

Существенное влияние на ход поршня оказывает и усилие подачи. Изменение его на 10 кг вызывает изменение величины хода поршня молотка ПР-25л в среднем на 1,8 мм, а молотка РН-754 — в среднем на 1,0 мм. Следовательно, внешние условия влияют на работу молотка ПР-25л в большей степени, чем на работу молотка РН-754.

Интересно отметить, что изменение величины хода поршня в зависимости от режимов работы у молотков с обычной частотой ударов происходит еще резче. Например, изменение хода поршня молотка ОМ-506л [1] в зависимости от давления происходило со скоростью 4—7 мм/ати, а в зависимости от усилия подачи — 4,5 мм на 10 кг. Для молотка Т-10, имеющего поворот бура при рабочем ходе поршня, эти величины составляли соответственно 2—3 мм/ати и 0,4—0,7 мм/10 кг, т. е. много меньше, чем у других молотков [4].

При изменении усилия подачи и давления воздуха величина хода поршня у молотков ПР-25л и РН-754 изменяется соответственно от 25 до 45 мм и от 27 до 42 мм. Однако при работе молотков с усилиями подачи, намного превышающими оптимальные, встречаются циклы с ходом поршня 18—20 мм. В этом случае выхлопа воздуха из передней полости через выхлопной канал не происходит и энергия удара в этом цикле очень мала. Встречаются также циклы с растянутым по времени обратным ходом поршня. Это происходит вследствие большой нагрузки на поворотную систему. Поршень при обратном ходе встречает большое сопротивление при набегании его спиральных шлицев на выступ поворотной муфты, вследствие чего его движение замедляется. Подобные явления отмечались нами при исследовании других молотков [1—2].

Рассмотрим изменение величины хода поршня при оптимальных режимах бурения (табл. 1). С изменением давления возду-

Таблица 1

Тип молотка	Давление воздуха, ати	Оптимальное усилие подачи, кг	Ход поршня, соответствующий $F_{\text{опт}}$, мм	Энергия удара, соответствующая $F_{\text{опт}}$, мм	Величина заднего воздушного буфера, мм	Величина переднего воздушного буфера, мм
ПР-25л	4	85	32	3,2	6	13
	5	100	33	4,3	6	12
	6	120	34	5,8	6	11
РН-754	4	75	32	3,1	13	15
	5	90	35	4,1	11	14
	6	110	37	5,3	10	13

ха на 1 ати, но с сохранением оптимального режима, величина хода поршня молотка ПР-25 изменяется на 1 мм. Величина хода поршня молотка ПР-25л при оптимальных режимах бурения изменяется за счет уменьшения переднего буфера, тогда как у молотка РН-754 изменяется и задний буфер, имеющий почти вдвое большую величину, чем у молотка ПР-25л.

Изменения усилия подачи от нуля до максимума при одном и том же давлении вызывает прежде всего уменьшение переднего воздушного буфера. В зоне малых усилий подачи величина заднего буфера почти не изменяется. При оптимальных и близких к ним усилиях подачи одновременно изменяются величины и заднего и переднего воздушных буферов. В зоне больших усилий

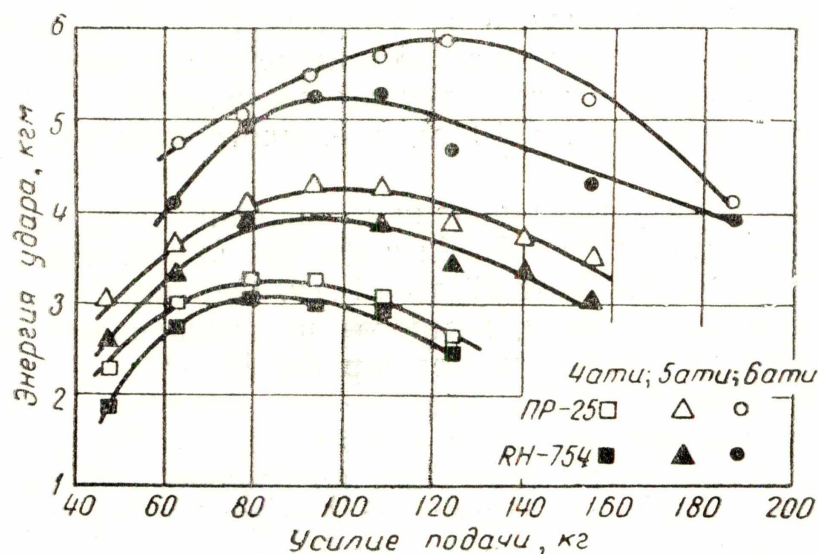


Рис. 4. Изменение энергии удара молотков в зависимости от режимов бурения.

подачи передний буфер почти не изменяется вследствие очень малого отхода корпуса молотка от ограничительного буртика бура [1, 2, 4], а сокращение длины хода поршня, ввиду большого сопротивления вращению бура, приводит к увеличению заднего воздушного буфера.

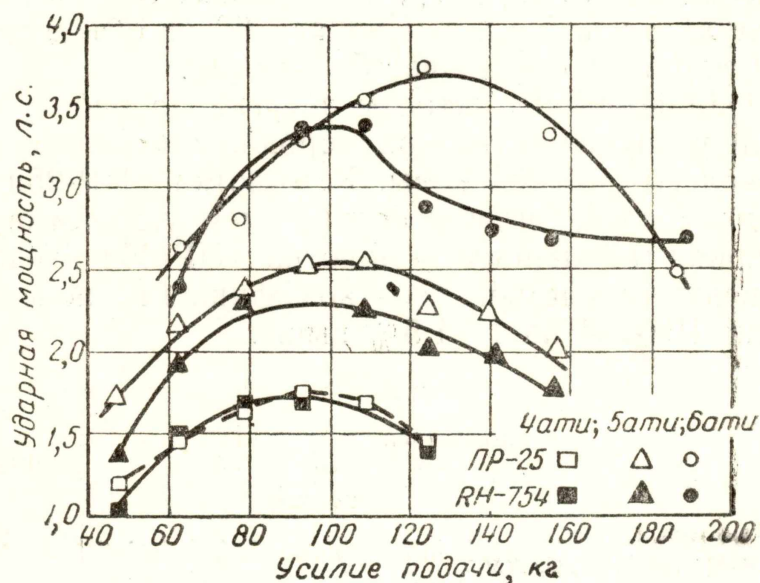
Изменение длины хода поршня молотков приводит к изменению энергии удара. При работе молотка ПР-25л на различных режимах энергия удара изменялась в пределах 2,2—5,9 кгм, а молотка РН-754 от 1,9 до 5,3 кгм. Характер изменения энергии удара при увеличении усилия подачи от нуля до максимума (рис. 4) одинаков для обоих молотков. В зоне малых усилий подачи энергия удара увеличивается в результате уменьшения степени сжатия переднего буфера. Эту зону усилий подачи можно назвать «переходной» в смысле перехода от холостого режима работы молотка к бурению на наиболее производительном оптимальном режиме.

При оптимальных усилиях подачи энергия удара достигает максимума. Длина хода поршня, соответствующая максимальной

энергии удара, и названа нами «оптимальной». При дальнейшем увеличении усилия подачи энергия удара уменьшается вследствие укорочения хода поршня за счет его активной части. Увеличение давления воздуха на 1 *ати* вызывает рост энергии удара на 1—1,5 *кгм* (табл. 1), причем более быстрый рост наблюдается при изменении давления с 5 до 6 *ати*, чем с 4 до 5 *ати*.

Ввиду изменения величины хода поршня при одном и том же давлении воздуха, естественно, изменяется и частота ударов. При увеличении усилия подачи на 10 *кг* число ударов молотков ПР-25л и RH-754 повышается на 35—40 уд/мин. Число ударов, соответствующее оптимальным усилиям подачи, получено при исследовании рабочего процесса одинаковым для обоих типов мо-

Рис. 5. Изменение ударной мощности в зависимости от режимов бурения.



лотков, а именно — 2400, 2600, 2800 уд/мин при давлениях воздуха соответственно 4, 5 и 6 *ати*. Максимальное число ударов получено при давлении воздуха 6 *ати*, усилии подачи 186 *кг* и равно для молотка ПР-25л — 3000 уд/мин, а для молотка RH-754 — 3050 уд/мин, что соответствует данным фирмы Атлас-Копко [5].

В соответствии с изменением энергии удара и числа ударов при изменении усилия подачи мощность бурильного молотка также переменна (рис. 5). Изменение ударной мощности молотков при одном и том же давлении составляет от 0,5 до 1,1 л. с., изменение давления на 1 *ати* вызывает изменение ударной мощности также на 0,5—1,1 л. с., причем большая величина относится к оптимальным режимам. Абсолютное значение ударной мощности молотка ПР-25л несколько больше, чем молотка RH-754, вследствие большей энергии единичного удара, приобретаемой поршнем за счет увеличения диаметра цилиндра. Максимальное значение ударной мощности молотка ПР-25л — 3,6 л. с. получено при давлении воздуха 6 *ати* и усилии подачи 124 *кг*. У молот-

ка RH-754 при том же давлении воздуха ударная мощность не превосходит 3,4 л. с. (при усилии подачи 110 кг).

Производительность бурильных молотков при одинаковом числе ударов зависит от величины энергии удара. Ввиду этого скорость бурения молотком ПР-25л несколько большая, чем молотком RH-754 [6]. Сравнение эффективности использования ударной мощности молотков по объемной работе разрушения показывает, что затраты развиваемой мощности на разрушение единицы объема породы одинаковы у обоих типов молотков, причем минимальная объемная работа разрушения колеблется в пределах 25—30 кгм/см³. Если же молоток работает не на оптимальных режимах, объемная работа разрушения увеличивается в два и более раза, например, при работе молотка ПР-25л на давлении воздуха 6 ати и усилии подачи 60 кг объемная работа разрушения роговика составляет 54 кгм/см³.

Однако общие затраты энергии на работу бурильного молотка и разрушение горной породы у молотков ПР-25л и RH-754 несколько не одинаковы. У молотка ПР-25л расход воздуха в среднем на 0,4 м³/мин больше, чем у молотка RH-754 (табл. 2). Ударная же мощность молотка ПР-25л возрастает в меньшей степени, вследствие чего коэффициент полезного действия молотка RH-754 на 1—1,5% выше.

Т а б л и ц а 2

Показатели	Тип молотка	
	RH-754	ПР-25л
Вес молотка, кг	22,5	23,8
Диаметр цилиндра, мм	75	85
Вес поршня, кг	1,6	2,2
Расход воздуха, м ³ /мин	3,2	3,6
Энергия удара, кгм	4,1	4,3
Число ударов, уд/мин	2600	2600
Ход поршня, мм	35	33
Ударная мощность, л. с.	2,3	2,5
Оптимальное усилие подачи, кг	90	100
Скорость бурения роговика ($d_k=40$ мм), мм/мин	300	330
Объемная работа разрушения, кгм/см ³	28	27
Удельный расход воздуха, м ³ /пог. м	10,6	10,9

Анализ индикаторных и силовых диаграмм рабочего цикла молотков при оптимальных усилиях подачи и давлении воздуха в сети 5 ати (рис. 6) показывает, что индикаторные к. п. д. молотков ПР-25л и RH-754 не отличаются сколько-нибудь существенно (табл. 3). Однако вследствие несколько худшего механического к. п. д. молотка ПР-25л его общий к. п. д. ниже к. п. д. молотка RH-754 [7]. Характер силовых диаграмм рабочего и холостого ходов поршня у обоих молотков примерно одинаков вследствие идентичности конструктивного оформления ударных узлов и схем воздухораспределения. При работе молотков на оптимальных режимах в конце рабочего хода поршня всегда существует

Таблица 3

Показатели	Тип молотка	
	ПР-25л	RH-754
Потребляемая за цикл энергия, кгм	32	28
Индикаторная работа цикла, кгм	7,2	6,6
Энергия удара, кгм	4,3	4,1
Эффективный к. п. д., %	13,4	14,6
Индикаторный к. п. д., %	22,0	23,0
Механический к. п. д., %	60	63
Среднее индикаторное давление, <i>ати</i>	3,2	3,6

усилие, прижимающее поршень к хвостовику бура, вследствие чего после соударения с буром происходит остановка поршня, в

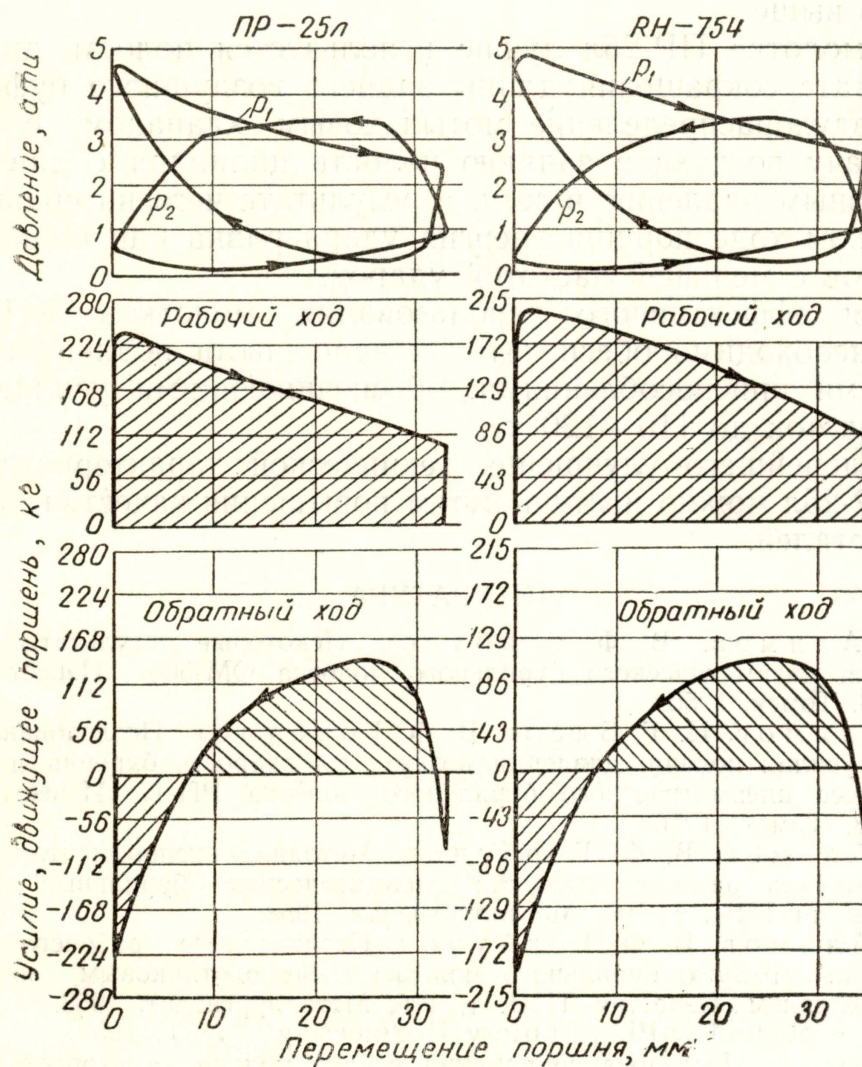


Рис. 6. Индикаторные и силовые диаграммы молотков при 5 *ати* и работе на оптимальных режимах.

связи с чем начальная скорость обратного хода его равна нулю. Подобное явление наблюдается у всех бурильных молотков, имеющих клапанное и золотниковое воздухораспределение. [8].

При анализе силовых диаграмм рабочего хода выяснилось, что среднее индикаторное давление при рабочем ходе поршня у молотка ПР-25л несколько ниже, чем у молотка РН-754 (табл. 3). Очевидно, механизм воздухораспределения молотка ПР-25л можно несколько улучшить путем корректировки размеров клапана и воздухоподводящих каналов. Некоторого улучшения технической характеристики молотка ПР-25л можно достичь также путем более тщательного исполнения его деталей, в частности, пускового устройства, поршня-ударника и элементов поворотного механизма.

ВЫВОДЫ

1. Молоток ПР-25л обладает несколько большей мощностью в сравнении с молотком РН-754, благодаря чему производительность его выше.

2. В молотке ПР-25л лучше используется полость цилиндра в результате сокращения длины заднего воздушного буфера.

3. Воздухораспределение мотыльковым клапаном обеспечивает подачу воздуха в заднюю полость цилиндра с давлением, почти равным давлению в сети, в результате чего на сравнительно коротком ходе поршня энергия удара равна или больше, чем у молотков с меньшей частотой ударов.

4. Для эффективного использования молотков РН-754 и ПР-25л необходимо обеспечить их надежными поддерживающе-подающими приспособлениями, обеспечивающими усилие подачи на молоток до 110—120 кг.

5. Дальнейшего улучшения технической характеристики молотка ПР-25л можно достичь путем повышения качества обработки его деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. Д. Алимов, В. Ф. Горбунов. Некоторые результаты исследования пневматического бурильного молотка ОМ-506. Известия ТПИ, т. 88, Томск, 1956.
2. О. Д. Алимов, И. Г. Басов, В. Ф. Горбунов. Исследование влияния усилия подачи, давления воздуха на скорость бурения и рабочий процесс пневматического бурильного молотка РП-17. Известия ТПИ, т. 88, Томск, 1956.
3. О. Д. Алимов, В. Ф. Горбунов. Методика экспериментального исследования рабочего процесса пневматических бурильных молотков. Известия ТПИ, т. 106, Metallurgizdat, 1958.
4. О. Д. Алимов, В. Ф. Горбунов. Исследование рабочего процесса высокочастотного бурильного молотка с беззолотниковым воздухораспределением. Известия ТПИ, т. 106, Metallurgizdat, 1958.
5. Air leg — mounted Drill. „Colliery Engineering“, № 1, 1954.
6. И. Г. Басов. Исследование влияния усилия подачи на скорость бурения и режим работы пневматических бурильных молотков. Кандидатская диссертация, Томск, ТПИ, 1958.
7. О. Д. Алимов, В. Ф. Горбунов. О коэффициенте полезного действия пневматических бурильных молотков. Статья в данном сборнике.
8. В. Ф. Горбунов. Рабочий процесс бурильных молотков с кольцевым золотником. Статья в данном сборнике.