

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ ПРОЦЕССОВ И ПАРАМЕТРОВ РУБИЛЬНЫХ И КЛЕПАЛЬНЫХ МОЛОТКОВ

В. И. БАБУРОВ, В. Ф. ГОРБУНОВ

(Представлено кафедрой горных машин и рудничного транспорта)

Рубильные молотки предназначены для рубки, клепки, чеканки, очистки литья от литников, вырубки раковин в поковках, буртовки труб, зачистки швов и прочих работ. Молотки типа МР-4, МР-5 и МР-6 конструктивно подобны между собой и отличаются только длиной ствола и ударника. Возвратно-поступательное движение ударника осуществляется путем попеременной подачи сжатого воздуха в полости цилиндра молотка. Переключение подачи воздуха производится плоским клапаном.

Клепальные молотки (рис. 1) предназначены для клепки заклепок и применяются в различных областях машиностроительной, металлургической и строительной промышленности. Три типоразмера клепальных молотков (КЕ-16, КЕ-19 и КЕ-22) применяются еще и как рубильные, предварительно переоборудованные для этой цели.

Молотки типа КЕ в отличие от рубильных имеют распределение воздуха цилиндрическим золотником и отличаются друг от друга также длиной ствола 3 и ударника 4 (рис. 1).

Испытания молотков производились на горизонтальном экспериментальном стенде в лаборатории кафедры горных машин и рудничного транспорта.

Методика проведения исследований включала в себя регистрацию изменения давлений сжатого воздуха в обеих полостях молотка с помощью тензодатчиков, усилителя и шлейфового осциллографа [1], запись пути ударника по времени с использованием индукционных датчиков [3], запись реостатными датчиками колебаний корпуса молотков [2] и определение конечной скорости ударника электрическим контактным датчиком (осциллографическим наконечником).

Применение различных способов определения параметров и характера протекания рабочих процессов молотков способствовало увеличению точности, достоверности и объективности проведения исследований.

Запись диаграмм осуществлялась при давлении воздуха в сети 4,5 и 6 *ати*, и усилиях подачи 10, 20, 30, 40, 50 и 60 кг. Такие условия проведения опытов позволили нам получить достаточное для анализа количество наблюдений и определить основные характеристики.

Анализ внутренних рабочих процессов пневматических молотков

можно осуществить наиболее полно только при условии одновременной записи диаграмм давлений воздуха и пути ударника.

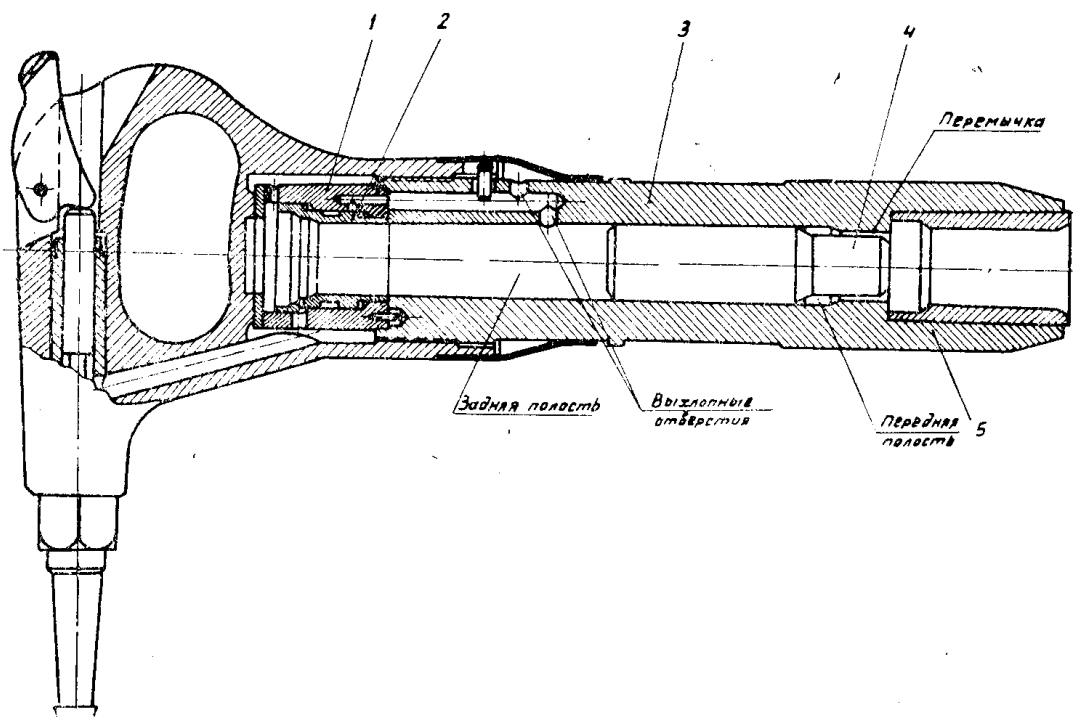


Рис. 1. Клепальный молоток:

1—золотниковая коробка; 2—золотник; 3—ствол; 4—ударник; 5—букаса.

Максимальное давление сжатого воздуха в задней полости молотков, как правило, равно давлению в сети и обычно устанавливается в конце холостого (обратного) хода ударника, перед его остановкой (рис. 2, а). Крайнее заднее положение ударника соответствует началу рабочего хода. Во время рабочего хода давление в задней полости начинает понижаться ввиду быстрого увеличения объема полости, несмотря на непрерывный приток воздуха из сети. Передняя кромка ударника вскоре перекрывает выхлопные отверстия. Для рубильных молотков, имеющих двухъярусное расположение выхлопных отверстий, в этот момент начинается процесс сжатия воздуха в передней полости, что вызывает перекидку клапана. У клепальных молотков после перекрытия выхлопных каналов передняя полость продолжает сообщаться с атмосферой через каналы, подводящие в нее сжатый воздух, а также через кольцевое пространство золотника, соединенное каналом с выхлопными окнами. По этой причине ударник, перекрыв передней кромкой выхлопное окно, не испытывает почти никакого противодействия со стороны передней полости. Перекидка золотника осуществляется за счет перепада давления на его уступы, который резко увеличивается после открытия выхлопных окон задней кромкой ударника. Величина давления воздуха к началу выхлопа (рис. 2, а) понижается до 70—80% сетевого. После удара по хвостовику рабочего инструмента (оправки) начинается холостой ход ударника. Максимальное давление воздуха, устанавливающееся в передней полости молотка (рис. 2, а), составляет 60—80% сетевого, что объясняется наличием утечек воздуха в атмосферу через зазоры в месте сопряжения хвостовика инструмента с корпусом молотка и дополнительного сопротивления в подводных каналах ствола. Кроме этого, ограничение давления воздуха в пе-

редней камере в некоторой степени обусловливается наличием отскока ударника после удара. При обратном ходе ударника после выхлопа воздуха из задней камеры начинается его сжатие. Увеличение давления воздуха продолжается до тех пор, пока не произойдет переброска золотника. В последующие моменты процесс периодически повторяется.

Следует отметить, что снижение давления воздуха в полостях клепальных молотков как при рабочем, так и при холостом ходе происходит почти по линейному закону [5]. Эта закономерность несколько нарушается у молотков МР-4, МР-5 и МР-6. На рис. 2, а изменение давления воздуха в передней полости осуществляется по криволинейной зависимости.

Изменение усилия нажатия на молоток заметно сказывается на протекании рабочих процессов. Причем для рубильных и для клепальных молотков это сказывается по-разному.

С уменьшением усилия нажатия в рубильных молотках при рабочем ходе ударника возникает противодействие в передней полости, которое тем больше, чем меньше усилие нажатия. У клепальных молотков это явление проявляется значительно меньше.

С помощью рис. 3 можно объяснить влияние отхода корпуса молотка от инструмента на характер протекания внутренних процессов. Известно, что чем меньше усилие нажатия, тем больше амплитуда вибрации [1, 4, 5] корпуса молотка. При работе молотка корпус его осуществляет сложное колебательное движение, состоящее из нескольких видов: вибрации корпуса с частотой, равной числу ходов ударника в минуту, и амплитудой, зависящей от массы корпуса и других условий; и отхода, максимальная величина которого, как прави-

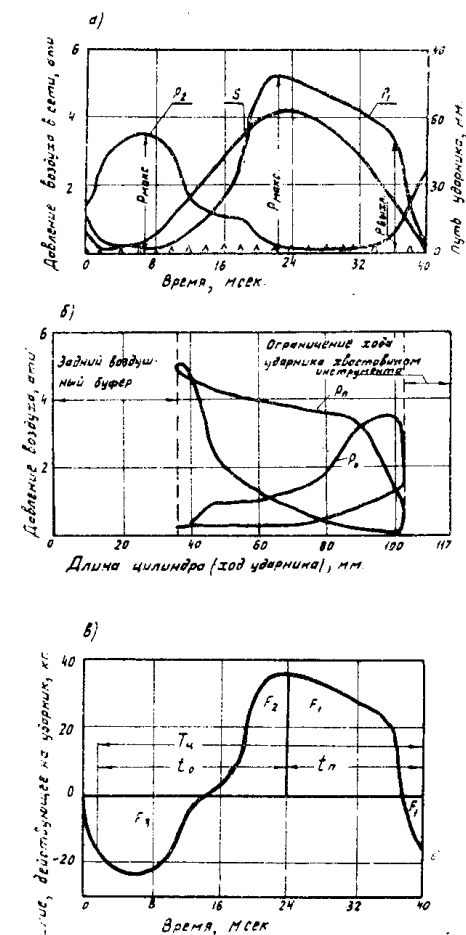


Рис. 2. Диаграммы рабочего процесса рубильного молотка МР-6, полученные при давлении воздуха в сети 5 атм и усилии нажатия 20 кг:
 а) диаграмма давлений воздуха в задней (p_1) и передней (p_2) полостях молотка и диаграмма пути ударника (S) по времени; б) индикаторные диаграммы прямого (p_1) и обратного (p_2) ходов ударника; в) диаграмма результирующей силы по времени.

ло, равна величине ограничения хода ударника хвостовиком инструмента. Последнее подтвердилось результатами наших экспериментов. Колебательное движение корпуса молотка вызывается также ударами при его посадке на буртик инструмента, ударами рабочего инструмента при отскоке последнего от обрабатываемой среды, сотрясениями в момент удара ударника и другими причинами. Как видно из изложенного, процесс колебания молотков очень сложен и до сих пор до конца еще не изучен. При одновременной записи диаграмм пути ударника, корпуса и давлений воздуха возможно установить ряд характеристик этого движения и объяснить некоторые явления, происходящие в рабочих цик-

лах молотков. Диаграмма движения корпуса молотка записывалась относительно нулевой линии 1 (рис. 3). Удаление кривой $S_{кор}$ от этой линии означает движение корпуса молотка в сторону рукоятки. Остальные диаграммы записывались относительно линии 2 (рис. 3).

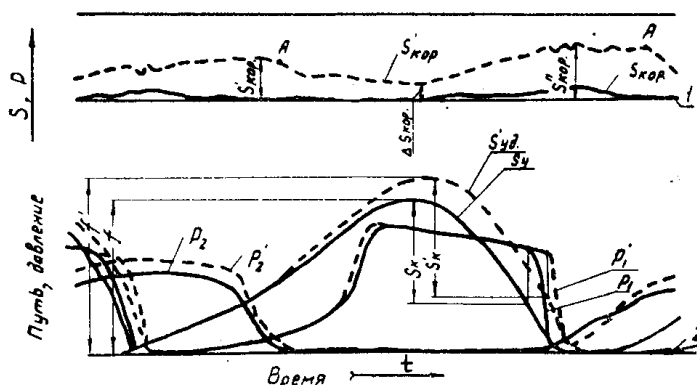


Рис. 3. Влияние колебаний корпуса молотка на диаграммы хода ударника и давления воздуха в полостях.

Под действием давления сжатого воздуха, поступающего в заднюю полость, корпус молотка стремится удалиться от обрабатываемой среды, но этому препятствует усилие нажатия, величина которого как раз и определяет величину отхода корпуса молотка. К моменту начала выхлопа корпус молотка уже имеет запас определенного количества кинетической энергии, и поэтому он продолжает по инерции свой путь даже после снижения давления до 1 *ати* ($S'_{кор}$, рис. 3). Через некоторый промежуток времени, под действием усилия нажатия и давления воздуха в передней полости на стенки корпуса, последний изменяет направление своего движения и начинает приближаться к буртику инструмента (точка А, рис. 3). Однако при малых значениях усилия нажатия (7—15 кг) корпус молотка не достигает буртика и останавливается на некотором удалении от него ($\Delta S_{кор}$, рис. 3), поскольку в это время сжатый воздух (диаграмма p'_1 , рис. 3) начинает поступать в заднюю полость молотка и вновь заставляет его изменять свое направление. При последующих циклах отход корпуса постепенно увеличивается до тех пор, пока величина его не станет равной величине ограничения хода ударника хвостовиком инструмента. Когда этот момент наступит, ударник начинает наносить удары по перемычке ствола (рис. 1), что быстро возвращает корпус в исходное положение. В последующие моменты процесс постепенного отхода корпуса повторяется. Частота и амплитуда отхода и вибрации корпуса молотка различны и изменяются с изменением условий работы молотков. Более подробно этот вопрос освещен в работах Б. В. Суднишникова [4, 5]. Нами этот вопрос рассматривается с целью установления влияния отхода корпуса молотка на его рабочий процесс.

Отход корпуса способствует увеличению хода ударника относительно инструмента, а также и относительно корпуса. На рис. 3 диаграммы пути ударника $S_{уд}$ и хода корпуса $S_{кор}$, давление воздуха p_1 и p_2 характеризуют протекание рабочих процессов при больших значениях усилия нажатия (30—60 кг), а диаграммы $S'_{уд}$, $S'_{кор}$, p'_1 и p'_2 — при малых (10—30 кг).

Как видно из рис. 3, полный ход ударника и ход ударника до выхлопных отверстий с уменьшением усилия нажатия увеличивается за счет отхода корпуса молотка от буртика инструмента. Чем дальше от него находится корпус молотка, тем длиннее путь ударника от точки

соударения с хвостовиком инструмента до открытия выхлопных отверстий передней кромкой (при обратном его ходе). Это приводит к увеличению кинетической энергии ударника при обратном ходе (площадь диаграммы p'_2 больше площади диаграммы p_2). Передача импульса ударнику сжатым воздухом передней полости тем больше, чем меньше усилие нажатия. Это положение верно как для клепальных, так и для рубильных молотков завода ТЭЗ. Абсолютные значения величины прироста, естественно, зависят от конструкции молотка. Так, например, для молотка МР-4 импульс результирующей силы, действующей на ударник со стороны передней полости, при холостом ходе (площадь F_3 , рис. 2, в) при усилии нажатия 10 кг равен 0,147 кг·сек; для МР-5 — 0,164 кг·сек, а для клепального молотка КЕ-22 импульс равен 0,36 кг·сек при этом же усилии нажатия. С увеличением усилия нажатия указанный импульс уменьшается. Например, для молотка МР-4 при усилии нажатия 10 кг он равен 0,164 кг·сек, 30 кг — 0,1 кг·сек и 50 кг — 0,06 кг·сек (давление в сети 5 атм).

Рассматриваемое увеличение импульса при уменьшении усилия нажатия вносит значительные изменения во все параметры молотков, о чем будет указано ниже.

Абсолютные значения максимального давления сжатого воздуха в передней полости молотка с увеличением усилия нажатия с 10 кг до 40 кг снижается: для рубильных молотков на 9—22% и для клепальных молотков на 2—17%. С уменьшением веса молотков это снижение проявляется более заметно. Уменьшение максимального давления воздуха в передней полости молотков с ростом усилия нажатия объясняется снижением ее — объема за счет уменьшения отхода корпуса.

Колебательные движения корпуса молотка вносят изменения и в диаграмму давления сжатого воздуха в задней полости молотка. Эти изменения, в основном, заключаются в увеличении на 5—15% для клепальных молотков времени действия сжатого воздуха на ударник с уменьшением усилия нажатия (диаграмма p'_1 , рис. 3), в результате чего увеличивается кинетическая энергия на ударнике к концу его рабочего хода (рис. 4, а). Испытания показали, что величина максимального давления воздуха в задней полости молотка при постоянном сетевом давлении не зависит от усилия нажатия. Не замечено также изменений величины давления в момент выхлопа.

Мы уже отмечали, что изменение усилия нажатия отражается на характере колебательных движений корпуса молотков и на их внутренних рабочих процессах, что, в свою очередь, сказывается на величине основных параметров. По заданию завода ТЭЗ в нашу задачу входило и определение параметров молотков для различных значений усилия нажатия. Табл. 1, 2 содержат параметры молотков по данным завода и полученные в результате лабораторных испытаний (усилие нажатия 20—30 кг).

Частота ударов в минуту определялась по отметкам вибратора шлейфового осциллографа МПО-2. Здесь необходимо отметить, что наличие металлического стержня, идущего от ударника через хвостовик инструмента (оправку) к индукционному датчику записи диаграмм хода ударника, уменьшает частоту ударов на 5—16%. Табл. 2 содержит величины частот ударов, подсчитанные без наличия стержня. В результате испытаний установлено, что в отдельных случаях этот параметр молотков выше заводских данных (КЕ-22, КЕ-32, МР-5), в других ниже (МР-4, КЕ-19, КЕ-28) (табл. 1 и 2). На рис. 4 приведены зависимости основных параметров молотка КЕ-22 от усилия нажатия. Из него видно (рис. 4, б), что частота ударов молотка, так же как и другие параметры, с уменьшением усилия нажатия и увеличением дав-

ления воздуха в сети изменяется в широких пределах. Эти изменения, как мы уже упоминали, являются отражением изменений, происходящих в рабочих циклах. Увеличение частоты ударов с повышением рабочего давления свойственно для всех типов пневматических молотков и наблюдается также у рубильных и клепальных молотков завода ТЭЗ.

Таблица 1

Технические характеристики рубильных и клепальных молотков завода ТЭЗ (по данным завода)

№ п.п.	Наименование показателей	Величина их для молотков							
		МР-4	МР-5	МР-6	КЕ-16	КЕ-19	КЕ-22	КЕ-28	КЕ-32
1	Вес молотка, кг	4,2	4,9	5,5	8,0	9,0	9,5	11,0	12,0
2	Рабочее давление воздуха, <i>ати</i>	5	5	5	5	5	5	5	5
3	Расход воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$	0,9	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
4	Энергия удара, <i>кгм</i>	0,9	1,2	1,6	1,25	2,1	2,7	3,0	3,8
5	Частота ударов в минуту	3500	2200	1600	1900	1500	1100	950	800
6	Ударная мощность, л. с.	0,7	0,59	0,57	0,52	0,7	0,66	0,63	0,67
7	Удельный расход воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$	1,28	1,35	1,40	1,92	1,42	1,52	1,59	1,67
8	Вес на единицу мощности, <i>кг/л. с.</i>	6,0	8,3	9,7	15,4	12,9	14,4	17,5	17,9

При малых усилиях нажатия продолжительность отдельных циклов меняется в зависимости от величины отхода корпуса. Увеличение отхода корпуса сопровождается удлинением пути ударника и, следовательно, сокращением частоты ударов. Чем выше рабочее давление в сети, тем больше величина отхода корпуса и тем больше необходимо усилие нажатия для того, чтобы стабилизировалась работа молотка и установились постоянными параметры, в том числе и частота ударов (рис. 4, б). Для более легких молотков изменение давления воздуха в сети вызывает большие изменения в частоте ударов по абсолютной величине. В процентном же отношении прирост частоты ударов с повышением давления воздуха в сети на 1 *ати* для всех молотков одинаков и составляет в основном 7—10%.

Для всех клепальных молотков завода ТЭЗ влияние усилия нажатия на энергию ударов выражается одинаковой закономерностью, изображенной на рис. 4, а. Для рубильных молотков повышение давления воздуха на одну атмосферу (в пределах 4—6 *ати*) вызывает увеличение энергии удара на 0,24 *кгм* у молотков МР-4, МР-5 и на 0,39 — 0,40 *кгм* у молотка МР-6. Для клепальных молотков этот прирост также повышается с увеличением веса: КЕ-16—0,34 *кгм*, КЕ-19—0,38 *кгм*, КЕ-22—0,59 *кгм*, КЕ-28—0,77 *кгм* и КЕ-32—0,80 *кгм*. Разное увеличение энергии удара объясняется различной величиной объема полостей

молотков и соответственно различным значением импульсов действующих сил.

Таблица 2

Параметры рубильных и клепальных молотков, полученные в результате испытаний

№ п/п	Типы молотков	Давление воздуха в сети, <i>ати</i>	Энергия удара, <i>кгм</i>	Частота ударов в минуту	Ударная мощность, <i>л. с.</i>	Вес на единицу мощности, <i>кг/л. с.</i>
1	2	3	4	5	6	7
1	МР-4	4	0,67	2950	0,44	10,3
		5	0,91	3200	0,65	7,00
		6	1,15	3530	0,90	5,05
2	МР-5	4	1,12	2130	0,53	10,2
		5	1,36	2280	0,69	7,8
		6	1,57	2600	0,85	6,3
3	МР 6	4	1,21	1500	0,40	15,1
		5	1,60	1600	0,57	10,6
		6	2,00	1750	0,78	7,7
4	КЕ-16	4	0,86	1520	0,29	25,2
		5	1,22	1850	0,50	14,6
		6	1,54	2000	0,69	10,6
5	КЕ 19	4	1,46	1310	0,42	20,8
		5	1,81	1400	0,56	15,6
		6	2,23	1500	0,74	11,4
6	КЕ-22	4	1,92	1040	0,44	21,6
		5	2,80	1120	0,70	13,6
		6	3,10	1200	0,83	11,8
7	КЕ-28	4	2,18	770	0,38	27,2
		5	3,07	850	0,58	17,8
		6	3,72	940	0,78	13,2
8	КЕ-32	4	2,82	710	0,46	24,6
		5	3,97	810	0,71	16,0
		6	4,41	925	0,91	12,5

Изменение усилия нажатия по-разному отражается на величине энергии удара для рубильных и для клепальных молотков. Для рубильных молотков уменьшение усилия нажатия приводит к снижению энергии единичного удара, а для клепальных к повышению, как это показано на рис. 4, а.

Построение индикаторной диаграммы, результирующей силы (рис. 2, в), действующей на ударник при различных условиях работы рубильных молотков, позволило установить нам причины этого снижения. По этим диаграммам установлено, что при малых значениях усилия нажатия в передней полости молотка создается противодействие в момент, предшествующий удару. Импульс противодействия (площадь F_4 , рис. 2, в) тем больше, чем длиннее путь ударника от выхлопных отверстий до момента удара. Переброска плоского клапана осуществляется сразу после открытия выхлопных отверстий ударником. Сжатый воздух, заполняя переднюю полость молотка, осуществляет давление на ударник в конце рабочего хода и снижает его кинетическую энергию. Чем больше отход корпуса молотка, тем раньше начинается поступление сжатого воздуха в переднюю полость. Противодействие, по-видимому, поглощает и тот дополнительный запас кинетической энергии ударника, который приобретает им за счет увеличения длины хода. Необходимо отметить, что при малых значениях усилия нажатия (10—20 кг) энергия единичного удара в различных цик-

лах разная и изменяется в широких пределах (рис. 4, а). Увеличение усилия нажатия приводит к стабилизации энергии удара (в этих условиях изменение ее значений находится в пределах ошибки расчета).

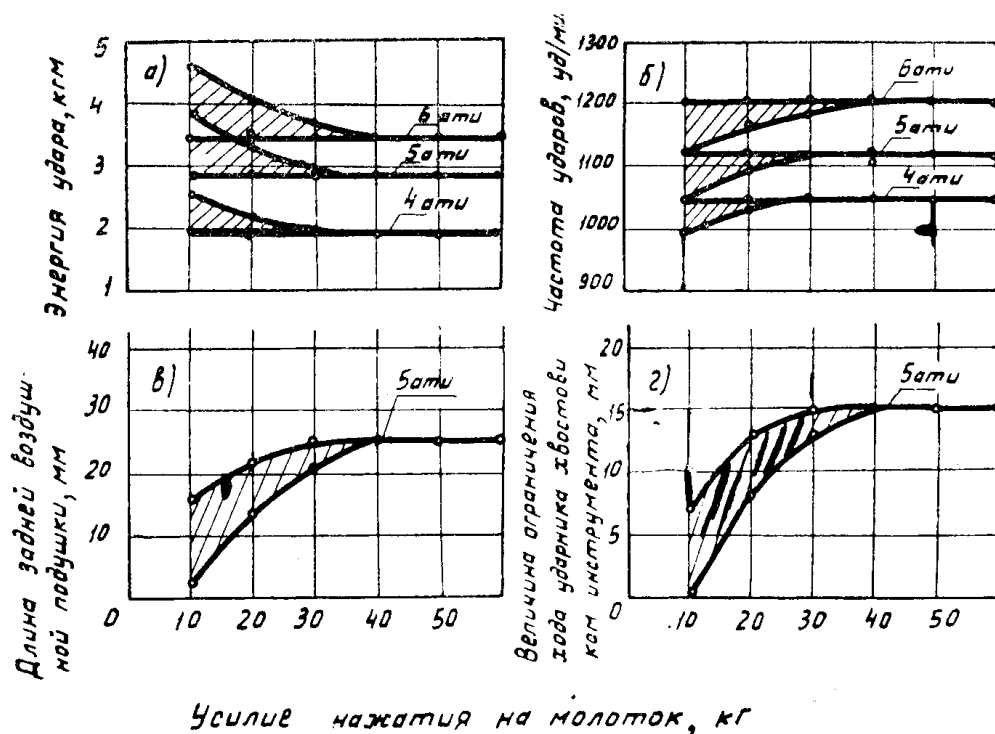


Рис. 4. Влияние усилия нажатия на основные параметры клепального молотка КЕ-22.

Изменение длины задней воздушной подушки (рис. 4, в) в результате колебания значений импульсов, действующих на ударник со стороны передней полости, подтверждается также анализом диаграмм хода ударника, записанных относительно корпуса молотка индукционными датчиками.

В результате испытаний нами были получены для установившихся режимов работы молотков при давлении воздуха в сети 5 ати следующие значения задних мертвых пространств: МР-4 — 4—5 мм; МР-5 — 23,5—26 мм; КЕ-19 — 18 мм, КЕ-22 — 25 мм и КЕ-32 — 24 мм.

Ударная мощность молотка, как правило, при меньших усилиях нажатия имеет несколько меньшие величины, чем при больших усилиях. Однако при испытаниях в отдельных случаях изменение ударной мощности почти не наблюдалось. Изменение этого параметра в зависимости от усилия нажатия происходит в очень незначительных пределах ± 2 —10%, а влияние давления воздуха в сети на ударную мощность хорошо видно из табл. 2.

Лабораторные исследования молотков завода ТЭЗ показали, что их заводские технические характеристики составлены в основном правильно и вполне достоверно отражают протекание рабочих процессов. Имеющиеся расхождения в параметрах объясняются, по-видимому, тем, что объектом наших испытаний были конкретные экземпляры молотков. С помощью полученных данных можно сделать оценку отдельных типов молотков.

По данным испытаний показатели некоторых молотков дублируют друг друга. Так частоты ударов КЕ-22 и КЕ-28 почти равны, ударные мощности молотков КЕ-28, КЕ-19 и МР-6 колеблются в пределах 0,56—0,58 л. с.

Анализируя длины задних воздушных подушек, необходимо отметить, что они получаются довольно значительными (18—26 мм). рядом исследователей (Б. В. Суднишниковым, Н. Н. Есиным и др.) отмечается, что для лучших конструкций пневматических молотков длина заднего воздушного пространства должна колебаться в пределах 6—13 мм. В зависимости от условий работы молотка эти значения, как было показано выше, меняются. Эксплуатация рубильных и клепальных молотков производится в самых разнообразных условиях. Рабочее давление воздуха в сети колеблется в пределах 3,5—6,0 *ати* и иногда даже более. Усилия нажатия также разнообразны. По-видимому, по этой причине конструкторы молотков заводов-изготовителей предусматривают повышенные длины задних воздушных буферов. По нашему мнению, с учетом разнообразия условий эксплуатации длину подушки у отдельных типов рубильных и клепальных молотков можно значительно уменьшить до 5—7 мм для легких и 7—10 мм для более тяжелых молотков.

Первые три типоразмера клепальных молотков (КЕ-16, КЕ-19 и КЕ-22) на производстве используются в основном как рубильные, с этой целью производственники делают некоторые переделки молотков. Так ими, например, заменяется концевая букса. На Электростальском заводе тяжелого машиностроения собственными силами изготавливаются молотки типа КЕ-16 облегченной конструкции (примерно на 1 кг). Нами также рекомендуется заводу пересмотреть конструкции молотков и их типоразмеры с целью облегчения и совершенствования. Так, например, названные выше три типоразмера необходимо сразу на заводе ТЭЗ изготавливать как рубильные, ставить рубильную концевую буксу, уменьшив длину ее до 55—60 мм. Следует отметить также, что клепальные молотки типа КЕ по своим характеристикам много хуже современных пневматических молотков. Это доказывается, в частности, отношением их веса на единицу мощности (табл. 1).

Отбойные молотки этого же завода имеют этот показатель равным 8 кг/л.с., рубильные — 7—10 кг/л.с. Современные бурильные молотки также имеют сравнительно небольшой вес на единицу мощности (8—11 кг/л.с.).

Выводы

1. В процессе исследований рубильных и клепальных молотков выявлен характер изменения внутренних рабочих процессов в зависимости от возможных режимов работы.

2. Существенное влияние на протекание внутренних рабочих процессов оказывает импульс силы, действующей на ударник со стороны передней полости. Этот импульс сильно меняется с изменением усилия нажатия.

3. Технические характеристики на рубильные и клепальные молотки, составленные заводом ТЭЗ, правильны и вполне достоверно отражают протекание рабочих процессов.

4. Клепальные молотки типа КЕ требуют значительного усовершенствования путем уменьшения длин задних воздушных подушек, облегчения, модернизации передней части ствола, изменения у некоторых типоразмеров конструкции буксы и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алимов О. Д., Басов И. Г., Горбунов В. Ф., Маликов Д. Н., Бурильные машины. Госгортехиздат, 1960.
2. Горбунов В. Ф., Гусаров В. М., Березин Л. С., Электрический спо-

соб записи виброграмм пневматических молотков. Известия вузов, Горный журнал, № 12, 1962.

3. Ряшенцев Н. П., Тимошенко Е. М., Индукционный датчик для исследований рабочего процесса машин ударного действия. Известия вузов, Горный журнал, № 7, 1960.

4. Суднишников Б. В., К теории отдачи ручных машин ударного действия. Сб. Машины ударного действия. Новосибирск, 1953.

5. Суднишников Б. В., Влияние параметров прямого хода на мощность и отдачу пневматического молотка. Ударно-вращательное бурение. Машины ударного действия. Новосибирск, 1956.
