

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО УДАРНОГО УЗЛА С ПОВЫШЕННЫМ ЧИСЛОМ УДАРОВ

*А. С. Симонов*

Исследования электропневматических отбойных и бурильных молотков с числом ударов 1000—1400 в минуту показывают, что по энергии удара и ударной мощности они не уступают пневматическим [1—4]. При этом электропневматические молотки в 6—8 раз экономичнее пневматических [5, 6], кроме того, для их эксплуатации не требуется больших капитальных затрат (отсутствуют компрессорные установки, трубопроводы и пр.) и упрощается канализация энергии. Однако, несмотря на значительные преимущества электропневматических молотков, до сих пор не создано ни одной промышленной конструкции такой машины. Это объясняется главным образом тем, что при одной и той же энергии удара электропневматические молотки имеют в 2—3 раза больший вес, чем пневматические. Конструкторы терпели неудачу в большинстве случаев вследствие стремления создать ручные электропневматические молотки, близкие по весу к пневматическим. Но такие молотки получались непрочными и имели малую энергию удара (1,5—2,5 кгм).

По нашему мнению, электропневматические ударные узлы могут быть успешно применены при изготовлении колонковых бурильных молотков или машин вращательно-ударного бурения, где вес не имеет существенного значения. С целью выяснения возможности создания и использования электропневматического ударного узла с повышенным числом ударов для колонковых бурильных молотков или машин вращательно-ударного бурения нами были проведены дополнительные исследования ударного узла при его различных параметрах и режимах работы.

Экспериментальная установка (рис. 1) состояла из ударного узла с электродвигателем, подающего и опорного устройства, скалки с опорной стойкой и контрольно-измерительной аппаратуры. Ударный узел состоит из цилиндра 1 (внутренний диаметр  $d_{вн} = 68$  мм), поршня 2, бойка 3, промежуточного ударника 4 и кривошипно-шатунного механизма 5. Между поршнем и бойком при работе машины образуется воздушная подушка 6, длина которой изменяется с помощью шайб 7. При работе удар-

ного узла боек и поршень совершают возвратно-поступательные движения с помощью кривошипно-шатунного механизма 5 от электродвигателя 8 через клиноременную передачу 9. При движении поршня вправо (рис. 1) между ним и бойком создается разрежение и избыточным давлением атмосферного воздуха боек перемещается также вправо. При ходе поршня влево начинается сжатие воздуха между поршнем и бойком. Боек меняет направление движения и в конце хода, приобретая некоторую скорость, наносит удар по ударнику 4.

Для компенсации утечек воздуха вдоль ствола цилиндра расположен ряд отверстий 10, которые при необходимости перекрываются винтовыми пробками. Расстояние между отверстиями

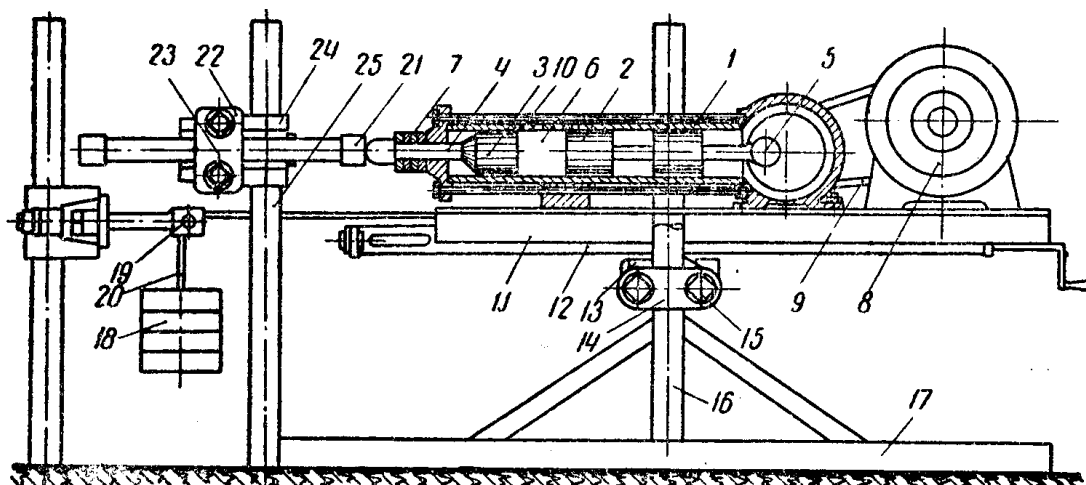


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки.

— 10 мм, диаметр отверстий — 4,2 мм. Ударный узел укреплен на каретке 11, которая может перемещаться по направляющим пазам винтового податчика 12. Винтовой податчик с помощью обоймы 13 установлен на горизонтальной траверсе 14, закрепленной хомутами 15 на стойках 16 сварной рамы 17.

Подача ударного узла осуществляется грузом 18 (усилие подачи 25 кг), переброшенном через блок 19 на тросе 20. Ударный узел, ударя по скалке 21, заставляет ее продвигаться в хомутах 22, которыми она крепится к консоли 23. В свою очередь консоль хомутами 24 крепится к упорной стойке 25. Консоль может поворачиваться вокруг своей оси в хомутах 24 (при ослабленных болтах), что позволяет устанавливать скалку в требуемом положении. Скалка зажата с постоянным усилием, которое периодически проверялось на прессе (скалка продвигалась в хомутах при усилнии 1800 кг).

Для определения зависимости величины ухода скалки от энергии единичного удара скалка тарировалась на тарировочном копре высотой 16 м. Для тарировки скалку с консолью снимали с упорной стойки, укрепляли на траверсе стенда (ударный узел с падающим устройством снимался) и ставили под копер.

На скалке устанавливали ударник, соответствующий весу промежуточного ударника. На ударник бросали тарировочные бойки, вес которых соответствовал весу бойков ударного узла. Высоту подъема бойка изменяли от 1 до 14 м через 0,5—1 м. С каждой высоты боек бросали 10—15 раз.

Для каждого случая определяли:

а) энергию единичного удара бойка

$$A_{уд} = Q_б h \text{ кгм},$$

где  $Q_б$  — вес бойка, кг;

$h$  — высота бросания бойка, м;

б) уход скалки за один удар

$$l = \frac{S}{z} \text{ мм},$$

где  $S$  — уход скалки за  $z$  ударов, мм.

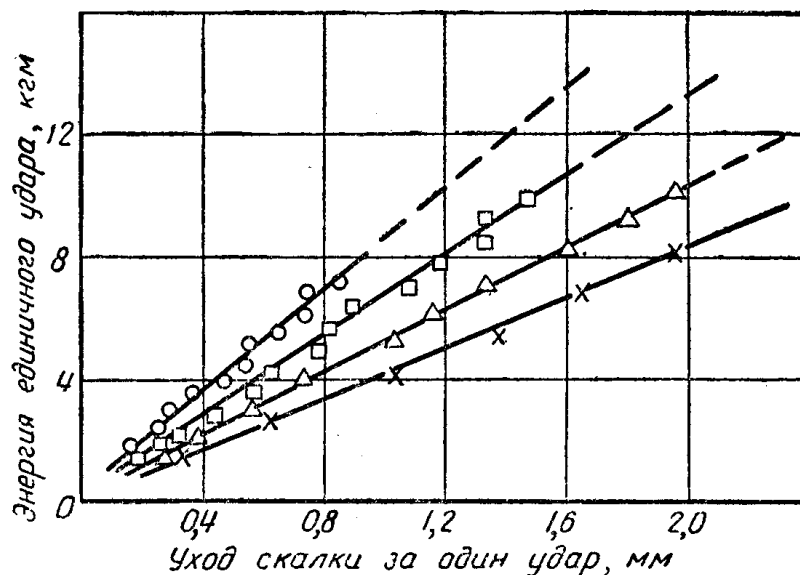


Рис. 2. Зависимость ухода скалки от энергии единичного удара:

○ —  $Q_б = 0,55$  кг; □ —  $Q_б = 0,70$  кг; △ —  $Q_б = 1,0$  кг; × —  $Q_б = 1,35$  кг.

На основании полученных величин был построен график зависимости ухода скалки от энергии единичного удара (рис. 2) для четырех бойков  $Q_б$  (0,55; 0,70; 1; 1,35 кг).

Из рис. 2 видно, что между энергией удара и уходом скалки имеется линейная зависимость. При этом величина ухода скалки зависит не только от энергии удара, но и от веса бойка. Приведенный график дает возможность определить энергию удара для любого режима работы ударного узла при известном весе бойка и известной величине ухода скалки за один удар.

Исследование ударного узла проводилось с тремя различными радиусами кривошипа  $R$  (20; 25 и 30 мм), при различном

весе бойков  $Q_6$  (0,55; 0,70; 1,0; 1,35 кг) и различном числе ударов  $z$  (1500, 2000, 2500, 3000 уд/мин.).

В процессе эксперимента определяли длину воздушной подушки, положение компенсационного отверстия, потребляемую мощность, уход скалки и продолжительность опыта.

На основании экспериментальных данных определялись:

б) уход скалки за один удар

$$l = \frac{60S}{zt} \text{ мм,}$$

где  $S$  — уход скалки за опыт, мм;

$z$  — число ударов в минуту;

$t$  — продолжительность опыта, сек;

в) энергия единичного удара (рис. 2);

г) коэффициент полезного действия ударного узла

$$\eta = \frac{A_{уд} z}{60 \cdot 102 \cdot N} .$$

где  $A_{уд}$  — энергия удара, кгм;

$N$  — потребляемая мощность, квт.

Проведенные исследования показывают, что устойчивый режим работы ударного узла зависит от правильного выбора положения компенсационного отверстия и длины воздушной подушки. Для выяснения зависимости режима работы ударного узла от положения компенсационного отверстия при разных радиусах кривошипа за начало осей координат принята крайняя передняя точка поршня (рис. 3). При этом ось абсцисс проходит по оси цилиндра.

Из рис. 3 видно, что энергия удара достигает наибольшей величины при компенсации утечек воздуха через отверстие, расположенное на расстоянии 5 мм от крайней передней точки поршня, независимо от числа ударов и веса бойка. При компенсации утечек воздуха через другие отверстия замечаются толчки и сильный нагрев цилиндра. Особенно это заметно при большом числе ударов и работе компенсационных отверстий, близких к крайнему заднему положению поршня (рис. 3, левая половина графика).

Мощность, потребляемая ударным узлом, мало зависит от положения компенсационного отверстия, поэтому кривые изменения к. п. д. почти полностью соответствуют кривым изменения энергии удара.

На рис. 4 показана зависимость энергии удара от длины воздушной подушки. Ударный узел работает с компенсацией утечек через оптимальное компенсационное отверстие — отверстие, расположенное на расстоянии 5 мм от крайней передней точки поршня. С изменением длины воздушной подушки изменяется режим работы ударного узла и его энергия удара. С увеличением длины воздушной подушки энергия удара повышается до

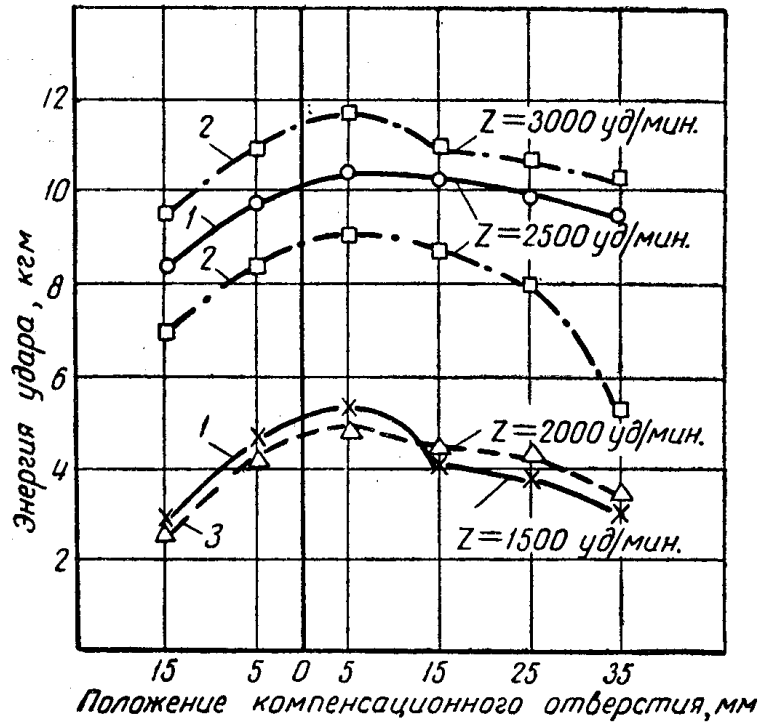


Рис. 3. Зависимость энергии удара от положения компенсационного отверстия:

○ —  $Q_6 = 0,55$  кг; □ —  $Q_6 = 0,70$  кг; △ —  $Q_6 = 1,0$  кг;  
 × —  $Q_6 = 1,35$  кг; 1 —  $R = 30$  мм; 2 —  $R = 25$  мм; 3 —  $R = 20$  мм.

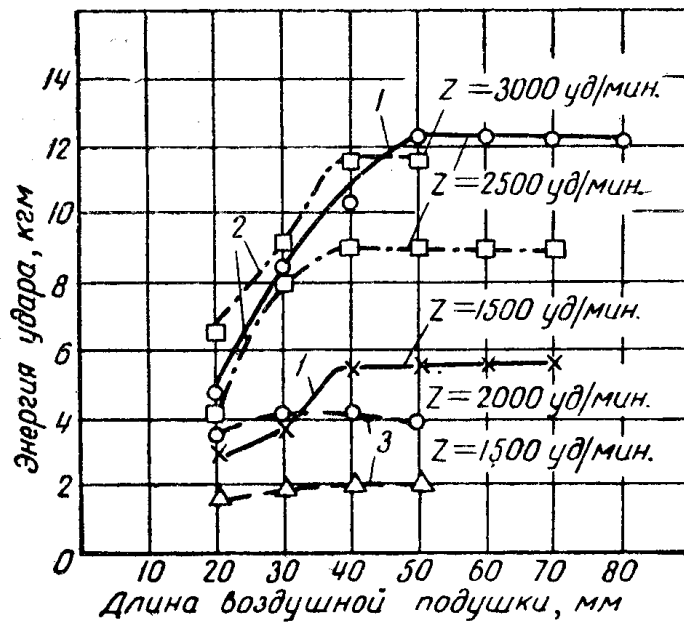


Рис. 4. Зависимость энергии удара от длины воздушной подушки:

○ —  $Q_6 = 0,55$  кг; □ —  $Q_6 = 0,70$  кг; △ —  $Q_6 = 1,0$  кг;  
 × —  $Q_6 = 1,35$  кг; 1 —  $R = 30$  мм; 2 —  $R = 25$  мм;  
 3 —  $R = 20$  мм.

определенного максимума, величина которого зависит от радиуса кривошипа. Так, при работе ударного узла с радиусом кривошипа  $R = 30$  мм повышение энергии удара происходит при увеличении длины воздушной подушки до  $l_0 = 40 \div 50$  мм, а при работе с радиусом кривошипа  $R = 20$  мм максимум энергии удара наступает при длине воздушной подушки  $l_0 = 30 \div 40$  мм, т. е. оптимальная длина воздушной подушки примерно равна или незначительно больше  $1,5 R$ . При дальнейшем увеличении длины воздушной подушки энергия удара не растет, а устойчивый режим работы постепенно нарушается. При некотором максимальном значении длины воздушной подушки  $l_{\max}$  боек не подхватывается и энергия удара снижается до нуля. Опыты показывают, что ударный узел работает устойчиво при  $l_0 \geq 1,5 R$  только тогда, когда  $l_{\max} > 2R$ .

При работе ударного узла с длиной воздушной подушки, меньшей  $1,5 R$ , наблюдаются толчки и сильный нагрев цилиндра.

Мощность, потребляемая ударным узлом, почти не зависит от длины воздушной подушки, поэтому к. п. д. имеет наибольшее значение, как и энергия удара, при  $l_0 \geq 1,5$ .

Опыты показывают, что длина максимальной воздушной подушки зависит от числа ударов. С увеличением числа ударов от 1500 до 3000 в минуту  $l_{\max}$  уменьшается в  $1,5$ — $2,0$  раза, что приводит к нарушению режима работы ударного узла. На рис. 5 дана зависимость отношения  $\frac{l_{\max}}{R}$  от числа ударов (ударный узел работает на оптимальном компенсационном отверстии). При работе в зоне  $A$ , когда  $\frac{l_{\max}}{R} > 2$ , наблюдается наиболее ус-

тойчивый режим работы ударного узла.  $B$  — зона неустойчивых режимов работы ударного узла. Ударный узел с  $z = 1500$  уд/мин. работает в устойчивом режиме при всех трех радиусах кривошипа и всех четырех бойках. С увеличением числа ударов до  $z = 3000$  в минуту ударный узел, работающий с бойками весом  $Q_6 = 1,0$  и  $1,35$  кг, переходит в неустойчивый режим работы и на грани устойчивости работает с бойками весом  $Q_6 = 0,55$  и  $0,70$  кг. Очевидно, при дальнейшем увеличении числа ударов окажется в неустойчивом режиме и ударный узел, работающий с бойками весом  $Q_6 = 0,55$ ;  $0,70$  кг.

На рис. 6 и 7 показана зависимость энергии удара и потребляемой мощности от числа ударов. Ударный узел работает на оптимальном компенсационном отверстии и воздушной подушке длиной  $l_0 = 40$  мм, так как на этой подушке были получены устойчивые и сравнительно оптимальные режимы работы ударного узла при всех трех радиусах кривошипа (рис. 4).

Из рис. 6 видно, что энергия удара растет с увеличением числа ударов до некоторой максимальной величины, а затем при нарушении устойчивого режима работы быстро снижается до

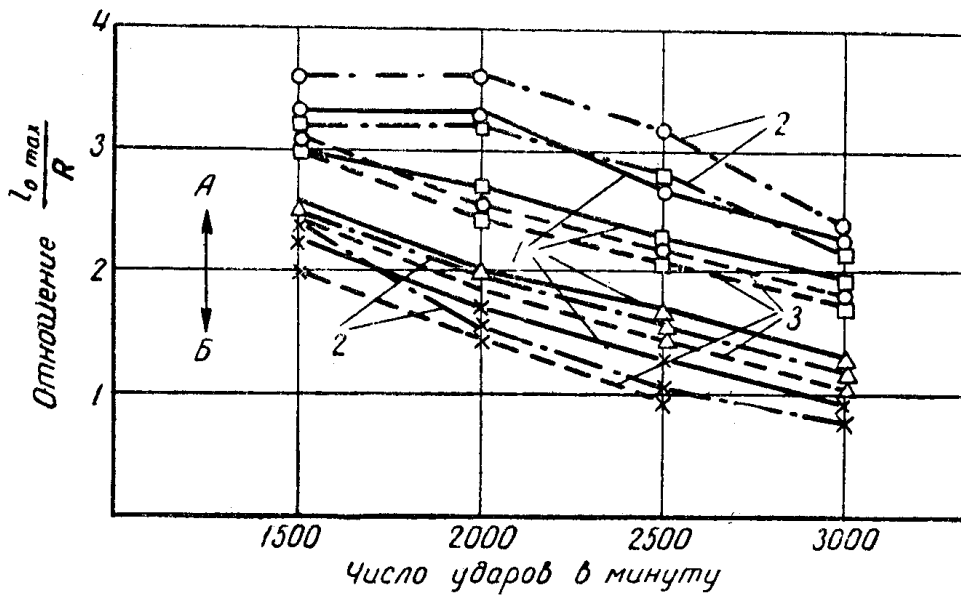


Рис. 5. Зависимость отношения  $\frac{l_{\max}}{R}$  от числа ударов:

○ —  $Q_6 = 0,55$  кг; □ —  $Q_6 = 0,70$  кг; △ —  $Q_6 = 1,0$  кг; × —  $Q_6 = 1,35$  кг;  
 1 —  $R = 30$  мм; 2 —  $R = 25$  мм; 3 —  $R = 20$  мм.

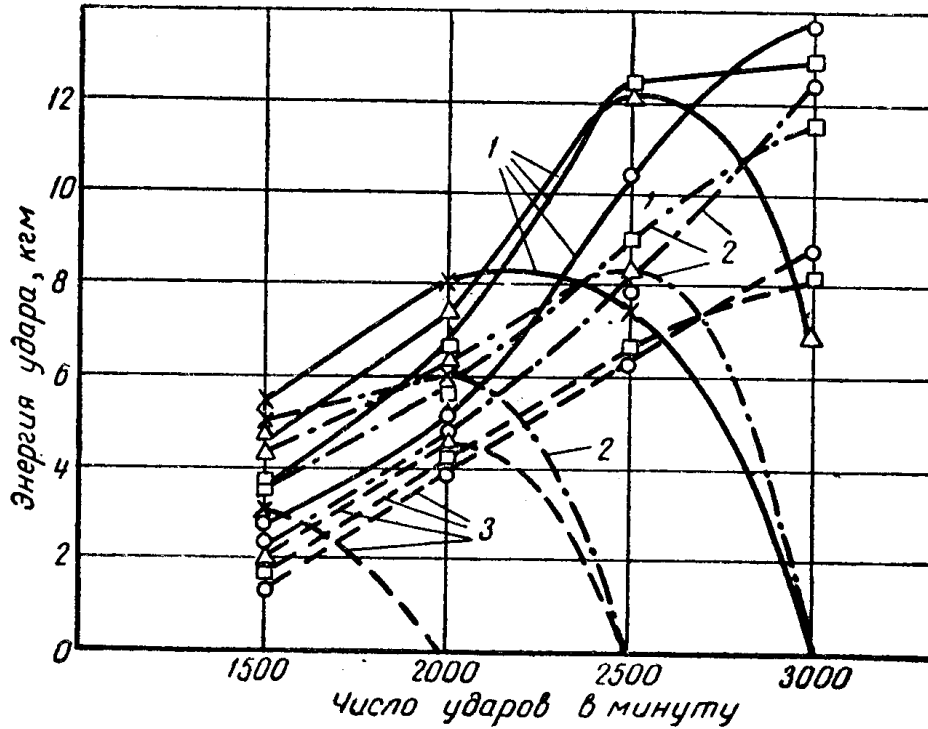


Рис. 6. Зависимость энергии удара от числа ударов:

○ —  $Q_6 = 0,55$  кг; □ —  $Q_6 = 0,70$  кг; △ —  $Q_6 = 1,0$  кг; × —  $Q_6 = 1,35$  кг;  
 1 —  $R = 30$  мм; 2 —  $R = 25$  мм; 3 —  $R = 20$  мм.

нуля. Максимальное значение энергии удара и устойчивый режим работы ударного узла зависит как от радиуса кривошипа, так и от веса бойка. Чем меньше радиус кривошипа и больше вес бойка, тем меньше максимальное значение энергии удара и при меньшем числе ударов нарушается устойчивый режим работы. Так, ударный узел с радиусом кривошипа  $R = 30$  мм и с бойком весом  $Q_6 = 0,55$  кг работает устойчиво до 3000 уд/мин. и развивает максимальную энергию удара 14 кгм. При том же радиусе кривошипа, но бойке весом  $Q_6 = 1,35$  кг ударный узел

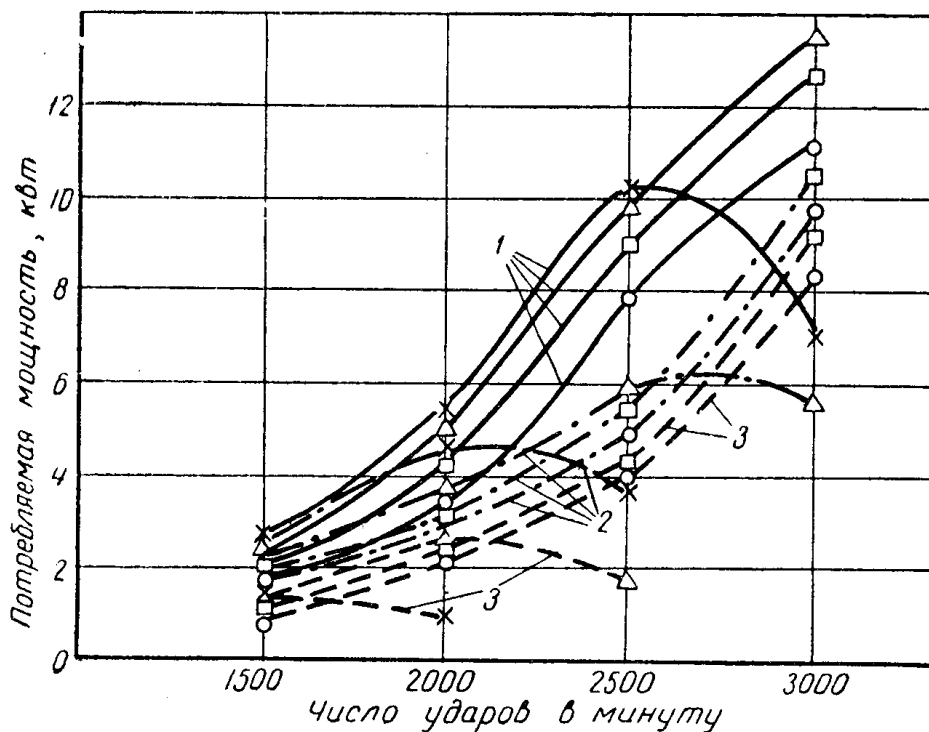


Рис. 7. Зависимость потребляемой мощности от числа ударов:  
 ○ —  $Q_6 = 0,55$  кг; □ —  $Q_6 = 0,70$  кг; △ —  $Q_6 = 1,0$  кг; × —  $Q_6 = 1,35$  кг;  
 1 —  $R = 30$  мм; 2 —  $R = 25$  мм; 3 —  $R = 20$  мм.

работает устойчиво только до 2200—2300 уд/мин. и максимальная энергия удара при этом достигает только 8 кгм. Дальнейшее увеличение числа ударов при работе с бойком  $Q_6 = 1,35$  кг приводит к снижению энергии удара до нуля.

Устойчивый режим работы ударного узла с радиусом кривошипа  $R = 20$  мм, нарушается при меньшем числе ударов, чем с  $R = 30$  мм, и максимальная энергия удара при работе с теми же бойками имеет значительно меньшую величину.

Мощность, потребляемая ударным узлом, с увеличением числа ударов растет, но в меньшей степени, чем энергия удара. Поэтому к. п. д. ударного узла увеличивается с повышением числа ударов. Так, с повышением числа ударов от 1500 до 3000 в минуту при работе с бойками весом  $Q_6 = 0,55$  кг и 0,70 кг к. п. д. машины увеличивается с 40—50 до 60—65%.



## ВЫВОДЫ

1. Исследование электропневматического ударного узла показывает, что он может устойчиво работать при увеличении числа ударов до 3000 в минуту и более. Устойчивый режим работы ударного узла зависит от правильного выбора его параметров и положения компенсационного отверстия.

2. Наиболее устойчивый и оптимальный режим работы ударного узла наступает в случае:

а) компенсации утечек воздуха через отверстие, расположенное на расстоянии 5 мм от крайней передней точки поршня;

б) длины воздушной подушки  $l_0 \geq 1,15R$ .

При этом длина максимальной воздушной подушки должна быть  $l_{\max} > 2R$ . С увеличением числа ударов длина максимальной воздушной подушки уменьшается.

3. Энергия удара растет с увеличением числа ударов, но до определенного предела, который зависит от радиуса кривошипа и веса бойка. Чем больше радиус кривошипа и меньше вес бойка, тем выше этот предел и тем дальше он смещен в сторону высокого числа ударов.

4. Применение ударного узла с повышенным числом ударов позволит значительно увеличить производительность и к. п. д. электропневматических бурильных машин.

## ЛИТЕРАТУРА

1. П. М. Алабужев. Исследование рабочего процесса электропневматических машин ударного действия. Докторская диссертация. Библиотека ТПИ, Томск, 1954.
2. А. С. Симонов, Я. А. Серов, В. Ф. Горбунов, Н. Н. Родюков. Исследование ударного узла электропневматического бурильного молотка. Известия ТПИ, т. 88, Томск, 1956.
3. С. В. Веселицкий, Л. Я. Григорьев, Н. И. Либерман, О. М. Годес. Основы теории и расчета электропневмомолотков. Расчеты, конструирование и испытания горных машин, Сб. 2. Углетехиздат, 1955.
4. Н. М. Батуев. Энергетика электрических молотков и пути повышения их производительности. Исследование вибраторов и электрических молотков, VI, ВНИИ Стройдормаш. Машгиз, 1951.
5. А. И. Москвитин. Электрические машины возвратно-поступательного движения. АН СССР, 1950.
6. О. Д. Алимов. Технические характеристики пневматических бурильных молотков. Известия ТПИ, т. 78, Томск, 1955.

## ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть	По вине
13	1 сн.	7-10	T-10	Корр.
14	13 сн.	R-754	RH-754	»
28	1 сн.	$A_y = \frac{mV_6^2}{2}$	$A_y = \frac{mV_y^2}{2}$	Авт.
34	18—20 сн.		2 — диаграмма колебаний корпуса молотка; 3—диаграмма углового перемещения бура; 4—диаграмма давления воздуха в задней полости цилиндра молотка; 5 — диаграмма давления в передней полости;	
35	1 сн.	<b>Scerving Stienze</b>	<b>Serving Science</b>	Авт.
46	14 сн.	изменения	изменении	Ред.
90—91	Рис. 7 и 8	поменять местами, сохранив на месте подрисовочные подписи		Тип.
97	10 сн.	бурильного молотка	автоподатчика	Авт.
107	2—3 сн.	остановки	остановкой	»
156	2 св.	поверхностей	поверхностной	Корр.
166	14 сн.	разбуренным	пробуренным	Авт.
179	9 св.	кинетическую	кинематическую	Корр.
189	5 св.	(59—200 мм)	(50—200 мм)	»
192	10 сн.	расширится	расширителя	Тип.
197	1 св.	кинетики	кинематики	Корр.
198	3—6 св.	Строку пятую читать	после второй строки	Тип.
199	14 сн.	кинетики	кинематики	Авт.
212	12 св.	Л. Б. Левенмон	Л. Б. Левенсон	Авт.
219	3 сн.	$A = a + h . . . + h.$	$A = a + h . . . + h. (16)$	Корр.
223	3 св.	$- \left( 30 \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 + 5$	$- 30 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 + 5$	Тип.
224	19—20 св.	увеличилась	увеличивалась	Корр.
229	10 св.	АОФ4-2	АОФ42-2	Авт.
243	11 св.	1, 15	1, 5	Корр.