

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКИХ МАШИН УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

П. М. АЛАБУЖЕВ

Потребность в создании новых конструкций машин ударного действия поставила перед Томским электромеханическим заводом (ТЭМЗ) задачу исследования рабочего процесса электропневматических молотков и перфораторов, изготавливаемых заводом. Для этой цели, согласно договору с ТПИ, в порядке творческого содружества, был спроектирован и выполнен стенд, общий вид которого показан на прилагаемой фотографии, рис. 1; на стенде имеется возможность исследовать различные конструкции электропневматических узлов машин ударного действия при переменных параметрах, определяющих рабочий процесс, без какой-либо существенной переделки, не создавая машину заново.

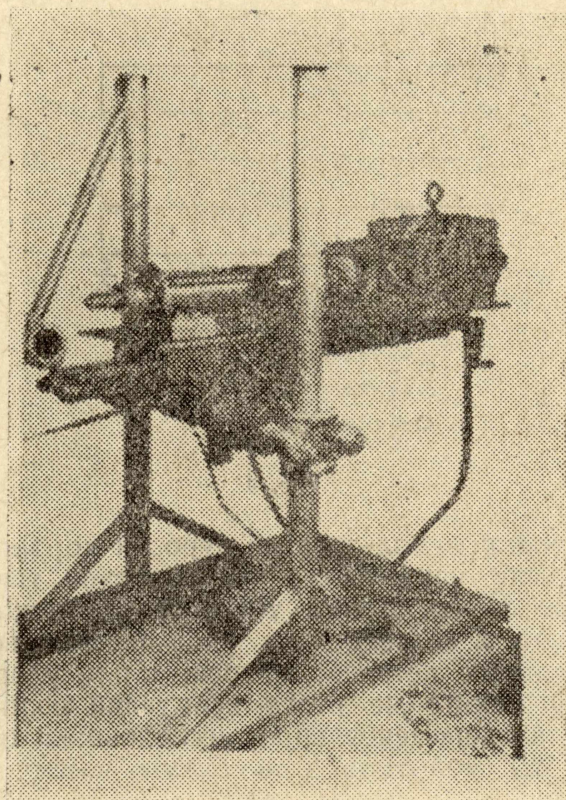


Рис. 1

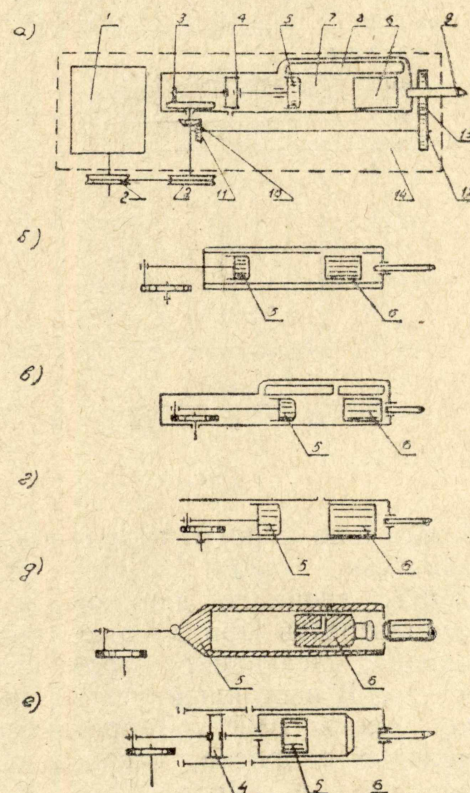


Рис. 2

Схема стенда представлена на рис. 2а. На стальной плите 14, закрепленной на колонках, расположены 4 основных узла: 1) электродвигатель—1; 2) кривошипно-шатунная передача (2—3—4), 3) ударный узел, состоящий

из цилиндра молотка 7, соединительной трубки 8 (для схемы молотка двойного действия), поршня 5, бойка 6 и инструмента 9; 4) механизм проворота бура (10—11—12—13), причем вращательное движение бура могло быть осуществимо и от отдельного электродвигателя постоянного тока.

На рис. 2б изображена схема молотка типа ЗЭРТ с двойным цилиндром; на рис. 2в показана схема молотка с одним цилиндром, но с двухсторонней воздушной связью, с внутренней компенсацией воздуха; на рис. 2г дана схема молотка с наружной компенсацией воздуха; рис. 2д представляет схему молотка типа ОМГ; на рис. 2е показана схема молотка типа КНШ. Диаметр цилиндров и бойков $D=68$ мм. Вес станда (без электродвигателя) равен 170 кг. Подача ручная, а также при помощи грузов, закрепленных на гибком тросе и перекинутом через блок.

Оптимальная сила подачи P , обеспечивающая продвижение молотка к забою порядка $\approx 75-90$ кг. На станде возможна работа в любом положении (по условиям договора испытания проводились при горизонтальном положении молотка). Экспериментальная установка позволяет проводить лабораторные исследования в условиях, близких к производственным

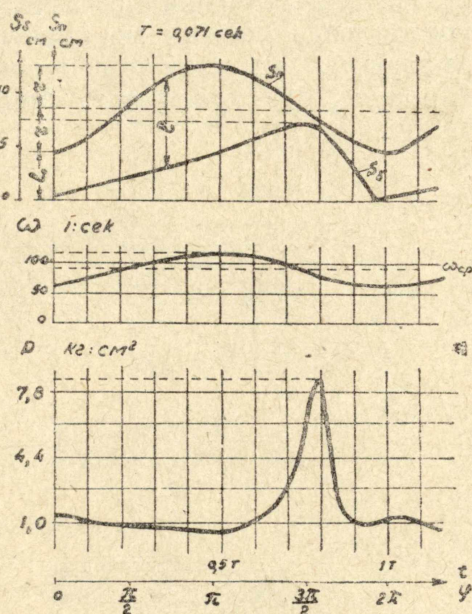


Рис. 3

Область оптимальных параметров электропневматических молотков схемы З.Э.Р.Т.

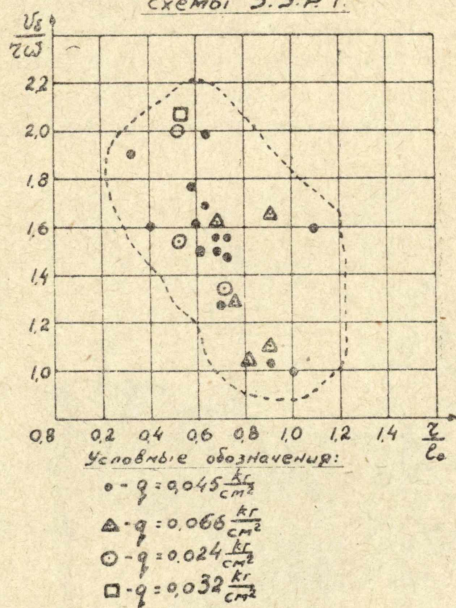


Рис. 4

(работа по породе, возможность проходки; использование буров и коронок заводского типа). На этом станде были изучены схемы молотков типа ЗЭРТ, двойного действия и другие схемы. Кроме того, станд можно использовать при доводке конструкций и исследования ряда частных вопросов, касающихся прочности отдельных деталей, износа, к.п.д. удара и т. д. В настоящей статье мы дадим некоторые итоги испытаний молотков схемы ЗЭРТ. Теоретическое и экспериментальное исследования отдельных вопросов, касающихся работы молотков этой схемы, частично освещены в работах [1; 2; 3].

На рис. 3 показано изменение ряда величин, характеризующих рабочий процесс молотка в установившемся режиме. Здесь обозначено: s_p и s_b — пути поршня и бойка, записанные нами оптическим способом [4]; l — длина воздушной подушки; ω — угловая скорость вала кривошипа, полученная при помощи таходинамо постоянного тока; p — давление воздуха между

бойком и поршнем, регистрируемое датчиком емкостного типа и наблюдаемое на экране осциллографа [7]. В этом режиме (№ 8 по журналу) вес бойка на единицу площади сечения цилиндра $q = 0,066 \text{ кг/см}^2$.

В результате проведенных испытаний выявлены реальные возможности машин этого типа.

На основании отобранных лучших режимов (см. табл. 1) имеется возможность с применением теории подобия [3] без особого труда выбрать параметры машины с энергией удара $A = 1 \div 15 \text{ кгм}$ и числом ударов $z = 500 \div 1500$ в минуту.

Установлена зависимость между параметрами электропневматического молотка в лучших режимах при ударе по металлу:

$$\Pi = \frac{m p_0 g \pi D^2}{4 Q l_0 \omega^2} \approx 1/3 \text{ (с вероятной погрешностью результата } \approx 6\%).$$

Здесь обозначено:

m — показатель политропы (среднее значение $m_{cp} \approx 1,25 \pm 0,07$);

$p_0 = 1 \text{ кг/см}^2$;

$g = 9,8 \text{ м/сек}^2$ — ускорение свободного падения;

D — диаметр цилиндра молотка (в нашем случае $D = 68 \text{ мм}$);

Q — вес бойка;

l_0 — начальная длина воздушной подушки;

$\omega = \frac{\pi n}{30}$ — среднее значение угловой скорости вала кривошипа.

Существование критерия подобия Π показано нами в работе [3]. Численное значение критерия $\Pi = 0,33$ дает возможность конструктору варьировать выбор параметров машины, подобной в динамическом отношении данной машине.

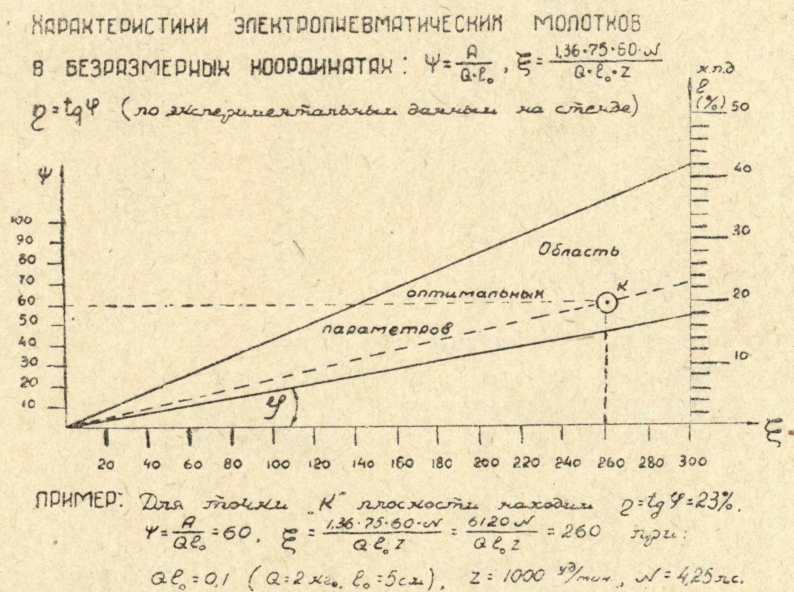


Рис. 5

Результаты испытаний, приведенные в табл. 1, для наглядности можно представить в виде зависимостей между безразмерными величинами (рис. 4, 5). Как видно из рис. 4 и 5 имеются области значения оптимальных параметров, и каждая точка этой области увязывает между собою значения параметров машины в оптимальном режиме. Из рис. 4 видно, что наиболее вероятное значение отношения радиуса кривошипа r в на-

начальной длине воздушной подушки, в оптимальном режиме, равно $\frac{r}{l_0} = 0,6$ (независимо от значения единичного веса бойка). При этом отношение скорости бойка к окружной скорости пальца кривошипа $\frac{V_6}{r\omega} = 1,6$.

Следовательно, при данном радиусе кривошипа r , числе оборотов вала кривошипа n и весе бойка не трудно подсчитать значение энергии удара на бойке $A = \frac{Q}{2g} (1,6 \cdot r\omega)^2$. Максимальное значение отношения $\frac{V_6}{r\omega}$ в наших исследованиях равно 2,1.

Таблица 1

Некоторые лучшие режимы ударного узла молотка схемы ЗЭРТ на стенде в ТПИ, при сочетании параметров r, l_0, Q, z

№ п. п.	Параметры молотка					Потребляемая мощность из эл. сети квт	К.п.д. молотка %
	r мм	l_0 мм	Q кг	z уд/мин	A кдж		
1	46	60	1,65	1100	5,5	4,50	20,0
2	46	73	1,65	1100	9,3	4,25	37,5
3	44	71	1,65	1400	10,5	6,00	40,0
4	44	66	1,65	1400	7,5	4,10	42,0
5	32	45	2,40	900	2,9	2,65	18,0
6	32	55	1,65	1450	5,0	4,50	26,5
7	32	45	0,87	1450	1,75	2,25	18,0
8	20	50	1,65	1475	2,2	2,48	20,5
9	39	58	1,65	1400	7,0	4,95	33,0
10	47,5	52	1,65	1450	5,1	5,25	23,6
11	47,5	70	2,40	1400	10,0	8,40	25,0
12	40	65	1,65	1190	4,5	4,90	21,0
13	40	70	1,65	1480	5,0	4,80	25,6
14	50	60	2,00	1350	8,8	6,18	31,4
15	47,5	60	2,40	1400	7,0	8,00	20,0

Здесь обозначено:

r — радиус кривошипа;

l_0 — начальная длина воздушной подушки;

Q — вес бойка;

z — число ударов в минуту;

N — потребляемая мощность из электрической сети;

$A = \frac{Q \cdot V_6^2}{2g}$ работа при ударе на бойке.

Восемь режимов работы молотка схемы ЗЭРТ нами были более тщательно изучены, записаны экспериментально графики рабочего процесса— s_n, s_6, ω, p и статистическим методом получены следующие соотношения, объединенные табл. 2.

На рис. 6 в безразмерных координатах $\frac{V_6}{r\omega_{cp}}$ и $\frac{s_6}{l_0}$ показан так

называемый предельный цикл в установившемся режиме работы машины. k — изображающая точка состояния системы на фазовой плоскости. Совокупность всех точек k дает нам „фазовый портрет“ всех состояний системы в установившемся режиме. Заметим, что получение предельного

цикла теоретическим путем для данной нелинейной системы является весьма трудной задачей.

Таблица 2

№ п. п.	Наименование безразмерного выражения	Обозначение	Величина	Вероятная погрешность результата $R = \pm \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum \Delta \delta^2}{n(n-1)}}$, где $n = 8$
1	Отношение радиуса кривошипа к начальной длине воздушной подушки	$\frac{r}{l_0}$	0,60	$\pm 0,04$
2	Отношение максимальной скорости бойка к окружной скорости пальца кривошипа	$\frac{v_{\delta}}{r \cdot \omega_{cp}}$	1,63	$\pm 0,07$
3	Отношение максимального хода бойка к начальной длине воздушной подушки	$\frac{s_{\delta \max}}{l_0}$	1,40	$\pm 0,07$
4	Отношение максимального хода бойка к удвоенному радиусу кривошипа	$\frac{s_{\delta \max}}{2r}$	1,22	$\pm 0,05$
5	Коэффициент восстановления при ударе по стали и отскоке бойка	$k = \frac{v_{om}}{v_{\delta}}$	0,40	$\pm 0,03$
6	Отношение максимальной скорости бойка к частоте ударов и максимальному ходу бойка	$\lambda = \frac{v_{\delta}}{\frac{\pi z}{30} \cdot s_{\delta \max}}$	0,85	$\pm 0,04$

Контролем метода статистической обработки служит соотношение: $\frac{l_0}{s_{\delta \max}} \cdot \frac{r}{l_0} \cdot \frac{s_{\delta \max}}{r} = 1$

В нашем случае $-0,71 \cdot 0,60 \cdot 2,44 = 1,03$ ($\pm 0,16$)

При испытаниях на стенде выяснено, что общий к.п.д. машины в среднем порядка 23% (в лучших режимах к.п.д. $\eta = 35-42\%$). На рис. 7 приведен баланс энергии электропневматического молотка в одном из лучших режимов; потери в воздушной подушке в зависимости от зазоров могут изменяться в пределах от 14—26% за цикл работы молотка.

В процессе выполнения работы создавалась методика экспериментальных исследований и обработки материалов [4; 5; 7] с выяснением погрешности результатов опытов; повышалась квалификация лаборантов и исполнителей работы (к числу которых привлекались и студенты ТПИ), накапливался опыт, отсутствие которого особенно сказывалось в начале выполнения работы. Создавалось оборудование и оригинальная безинерционная аппаратура для исследования быстро протекающих во времени процессов (электронный коммутатор; двухлучевой катодный осциллограф с коммутаторами на усилителях постоянного тока, на экране которого можно одновременно наблюдать за изменением четырех процессов; датчики давления

емкостного типа; аппаратура для записи хода бойка, поршня и др.). Сделанная нами аппаратура может быть применена в смежных областях техники (ДВС, пневматические молотки, кузнечные молоты, воздуходувки и т. д.) к исследованию рабочего процесса других машин как в установившемся, так и переходном режимах работы.

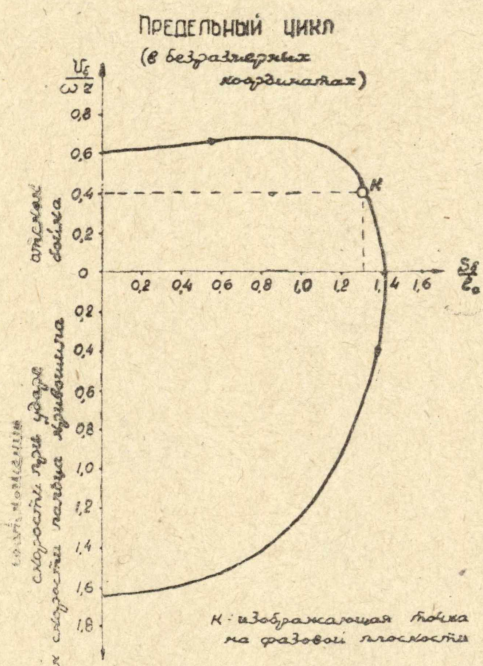


Рис. 6

БАЛАНС ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО МОЛОТКА

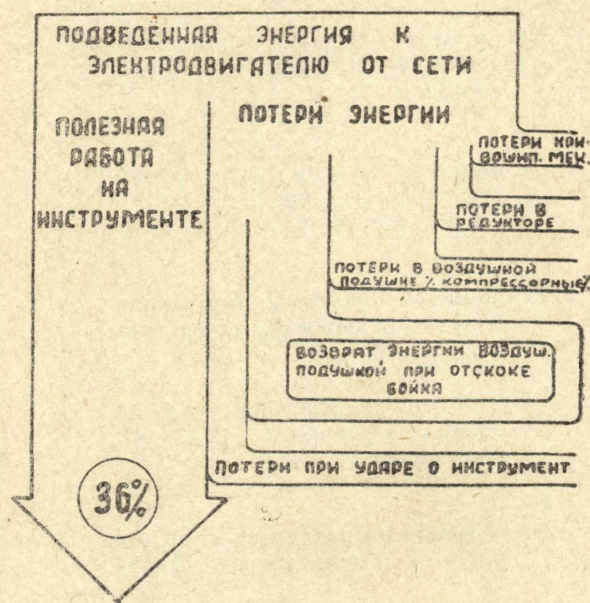


Рис. 7

Результаты экспериментов подтвердили теоретические представления и соображения, высказанные нами ранее [1; 3], а также уточнили значения ряда коэффициентов и показателей (η , P , m_{cp}), необходимых для расчета. Более ясно представляется сущность механизма процессов, происходящих в машине ударного действия и отдельных ее элементах, например, роль скорости деформации воздушной связи, роль компенсации воздуха и зазоров на работу молотка. Оказалось, что рабочий процесс электропневматической машины ударного действия существенно зависит от величины и местоположения компенсационных отверстий в цилиндре молотка (см. рис. 8). Это обстоятельство в свою очередь открывает возможности для повышения к.п.д. машины и регулировки энергии удара, что особенно важно при забурировании.

В процессе экспериментирования выявлена взаимосвязь рабочего процесса ударной машины с внешними факторами (разрушаемой породой и силой подачи). Выяснено, что к числу исходных параметров бурильного молотка относятся энергия удара необходимая для разрушения данной (6) породы, угол поворота бура между двумя ударами и усилие подачи.

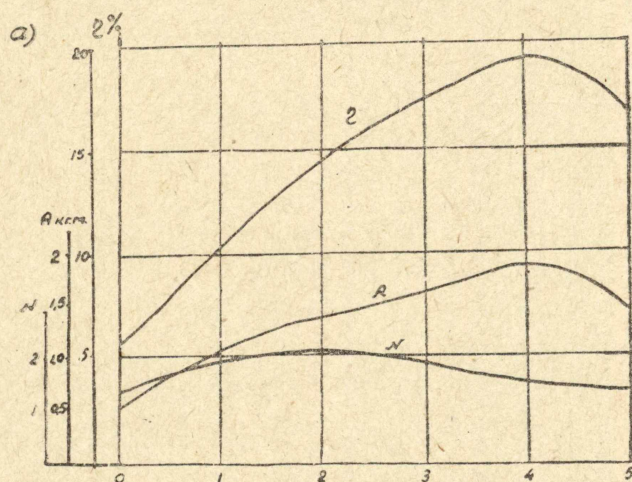
На основании имеющегося материала выбор остальных параметров машины ударного действия (r , l_0 , D , Q , z) для определенных конкретных условий не представляет значительных трудностей. Имеются возможности для теоретического построения индикаторной диаграммы давления в воздушной подушке через среднее давление за цикл:

$$p_{cp} = \frac{Qz(1+e) \cdot V_0}{15g \cdot D^2} \quad (\text{здесь } e \text{ — коэффициент восстановления при ударе)},$$

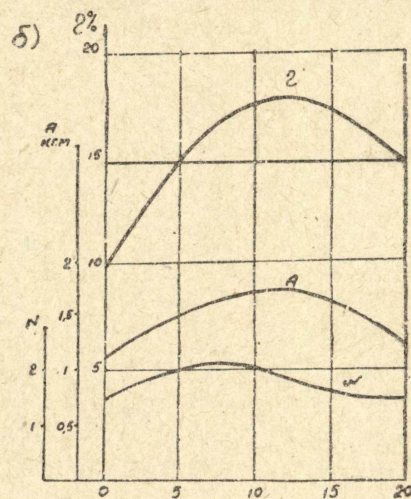
а также данные для силового расчета машины ударного действия (кривошипно-шатунная группа, механизм поворота бура и т. д.) и определения к.п.д. отдельных элементов машины.

Проведенные экспериментальные исследования не являются законченными. В дальнейших работах предполагается:

а) использовать для регистрации процессов в машинах ударного действия шлейфовый осциллограф, для чего уже сконструирован преобразующий прибор (на шесть кривых), выполняющий роль усилителя тока между датчиками и шлейфом.



Число отверстий ($d = 5$ мм) у кромки бойка



Расстояние центра отверстия ($d = 5$ мм) от кромки бойка по длине воздушной подушки

Фиг. 8

б) закончить конструктивное оформление и наладку датчиков емкостного типа для исследования и регистрации явления удара, а также крутящего момента на буре;

в) произвести измерения температуры в воздушной подушке (за один цикл работы) и отдельных частях машины;

г) закончить приставку к катодному осциллографу с возможностью двукратного электрического дифференцирования и интегрирования кривых, характеризующих то или иное явление рабочего процесса машины ударного действия, с возможностью использования магнитной записи;

д) изучить поведение и работу электродвигателя в режиме ударной нагрузки;

е) поставить работу над изучением различного рода податчиков; амортизаторов удара; поглотителей колебаний, уменьшающих вибрации корпуса молотка; исследовать колебание груза на пружине при наличии ударов по различным материалам в зависимости от соотношения частот возмущающей силы и собственных колебаний;

ж) совместно с ТЭМЗ поставить работу по изучению прочности и долговечности отдельных элементов и деталей при переменных и ударных нагрузках;

з) провести исследование по вопросу о к.п.д. удара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алабужев П. М. Исследование рабочего процесса электроотбойного молотка с упругой (воздушной) связью. Изв. ТПИ, т. 1, в. 1, 1947.
2. Алабужев П. М. и Юдин И. В. Экспериментальное исследование электропневматического молотка. Труды ЗСФАН, вып. 8, 1950.

3. Алабужев П. М. Применение теории подобия и размерностей к исследованию (моделированию) машин ударного действия. Изв. ТПИ, т. 73, 1952.

4. Алабужев П. М. и Алимов О. Д. Определение энергии боя в машинах ударного действия. Изв. ТПИ, т. 76, 1954.

5. Алабужев П. М., Медлиха Е. К., Невструев Е. Н. К методике исследования электропневматических молотков, Изв. ТПИ, т. 76, 1954.

6. Алабужев П. М. и Алимов О. Д. Влияние усилия подачи и угла поворота бура между ударами на скорость ударно-вращательного бурения шпуров. Изв. ТПИ, т. 75, 1954.

7. Алабужев П. М. Применение электрических методов к исследованию машин ударного действия. Изв. ТПИ, т. 78, 1954.
