

Н. П. РЯШЕНЦЕВ, А. П. ТРОНОВ

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МОЛОТКОВ

(Представлено кафедрой горных машин и рудничного транспорта)

Первые электромагнитные молотки не получили распространения ввиду быстрого подгорания контактов механических прерывателей цепи питания, служащих для коммутации тока в обмотках электромагнитов [1, 2]. Впоследствии механические прерыватели были заменены газотронами, на смену которым пришли сначала купроксные выпрямители, затем — германиевые кремниевые диоды [3].

Применение полупроводниковых выпрямителей позволило значительно улучшить параметры существующих молотков, создать новые схемы питания и разработать молотки с качественно новыми рабочими процессами [4].

В настоящее время электромагнитные молотки фирм «Синтрон» (США), «Симби» (Италия), АЕГ и «Миллерс-фолс» (ФРГ) широко используются в промышленности и строительстве. Изготовлен опытный образец электромагнитного молотка ЕК-1М в Чехословакии. В СССР осваивается производство молотков МС-15, МС-18/36 [5].

Анализ схем питания и рабочих процессов электромагнитных молотков позволит наметить пути совершенствования машин этого класса. В основу данной работы положены исследования молотков АЕГ, Синтрон и МС-15, как машин, использующих наиболее характерные способы получения возвратно-поступательного движения бойка [6].

Исследования проводились по методике, изложенной в литературе [7, 8, 9].

Молоток фирмы АЕГ (рис. 1, а) работает от постоянного напряжения, получаемого с помощью специальной подстанции, схема которой приведена на рис. 1, б. Возвратно-поступательное движение бойка осуществляется двумя катушками, включаемыми поочередно переключателем, управляемым от бойка [2].

В момент удара бойка о хвостовик инструмента (точка а кривой хода бойка S на рис. 2) переключатель замыкает цепь катушки обратного хода, благодаря чему боек начинает перемещаться в сторону пружины (участок а—б). Включение катушки прямого хода происходит несколько раньше, чем заканчивается сжатие пружины бойком (участок б—в). После остановки в точке в боек под действием упругих сил пружины и усилий, развиваемых катушкой прямого хода, устремляется к инструменту и наносит удар в точке а. Далее цикл повторяется. Молоток делает 1500 уд/мин; cos φ довольно высок — 0,64. Особенности

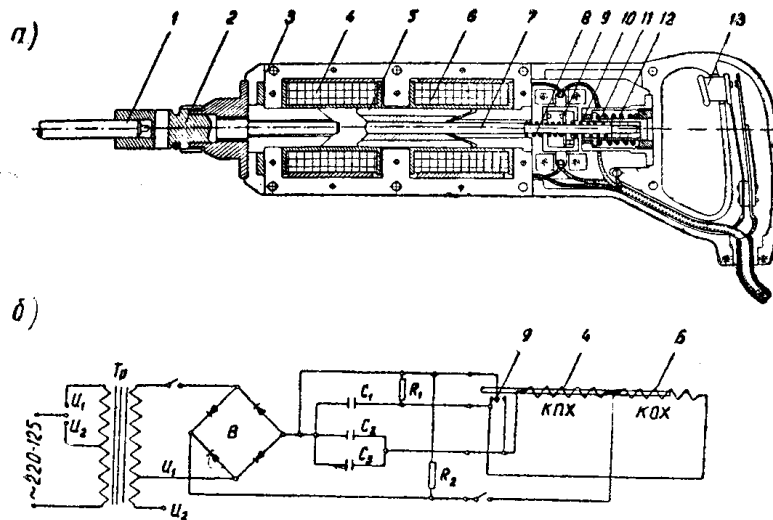


Рис. 1. Молоток фирмы АЕГ.
 а) Разрез молотка. 1 — инструмент, 2 — наковальня, 3 — магнитопровод, 4 — катушка прямого хода, 5 — боек, 6 — катушка обратного хода, 7 — шток переключателя, 8 — передняя пружина переключателя, 9 — контакты переключателя, 10 — задняя пружина переключателя, 11 — стакан амортизатора, 12 — пружина амортизатора, 13 — выключатель.
 б) Схема питания молотка. Тр — трансформатор, КПХ — катушка прямого хода, КОХ — катушка обратного хода.

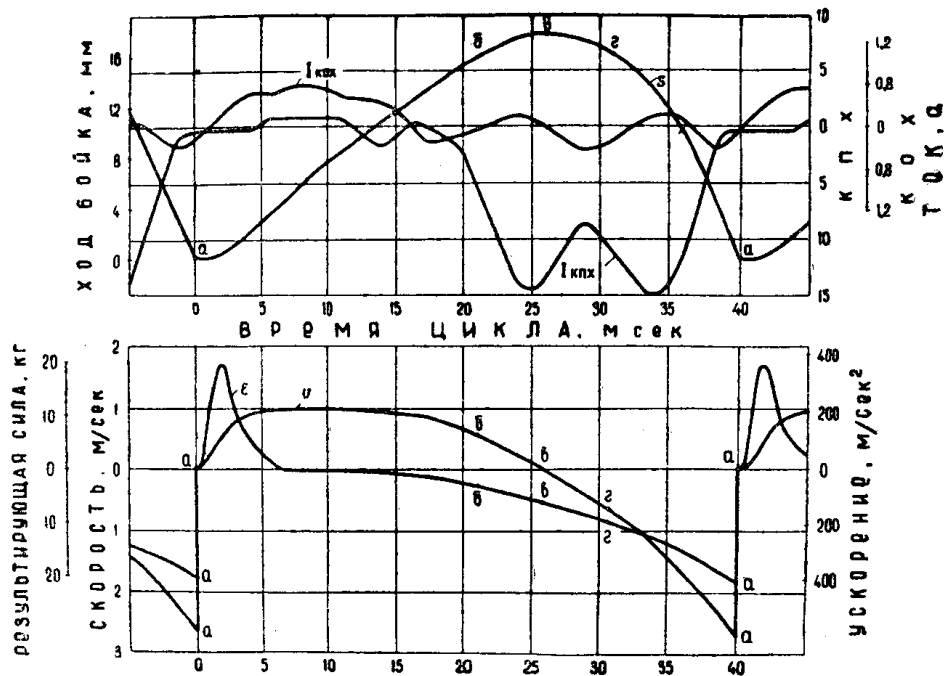


Рис. 2. Осциллограммы рабочего процесса молотка АЕГ.
 S — ход бойка, $I_{кох}$ — ток в катушке обратного хода, $I_{кпх}$ — ток в катушке прямого хода, v — скорость бойка, ϵ — ускорение и результирующая сила, действующая на боек.

схемы питания молотка АЕГ (наличие конденсаторов, служащих для уменьшения дуги при разрыве контактов переключателя, сопротивления R_1 , благодаря которому катушка обратного хода оказывается под напряжением все время, независимо от положения переключателя) приводят к тому, что в катушках возникают паразитные токи, вызывающие электромагнитное торможение бойка как при прямом, так и при обратном ходе.

Электромагнитное торможение бойка рабочим током, протекающим в катушке прямого хода, может быть устранено, если отключать катушку обратного хода и включать катушку прямого хода при положении бойка в точке *в*. Это может быть достигнуто соответствующей настройкой переключателя. Последнее обстоятельство является одним из основных достоинств молотка АЕГ.

В молотках фирмы «Синтрон» (рис. 3, а) для совершения возвратно-поступательного движения бойка также используются две катушки, включаемые поочередно. Однако в отличие от молотка АЕГ последние работают от сети переменного напряжения; поочередное включение катушек осуществляется с помощью двух вентиляв (рис. 3 б).

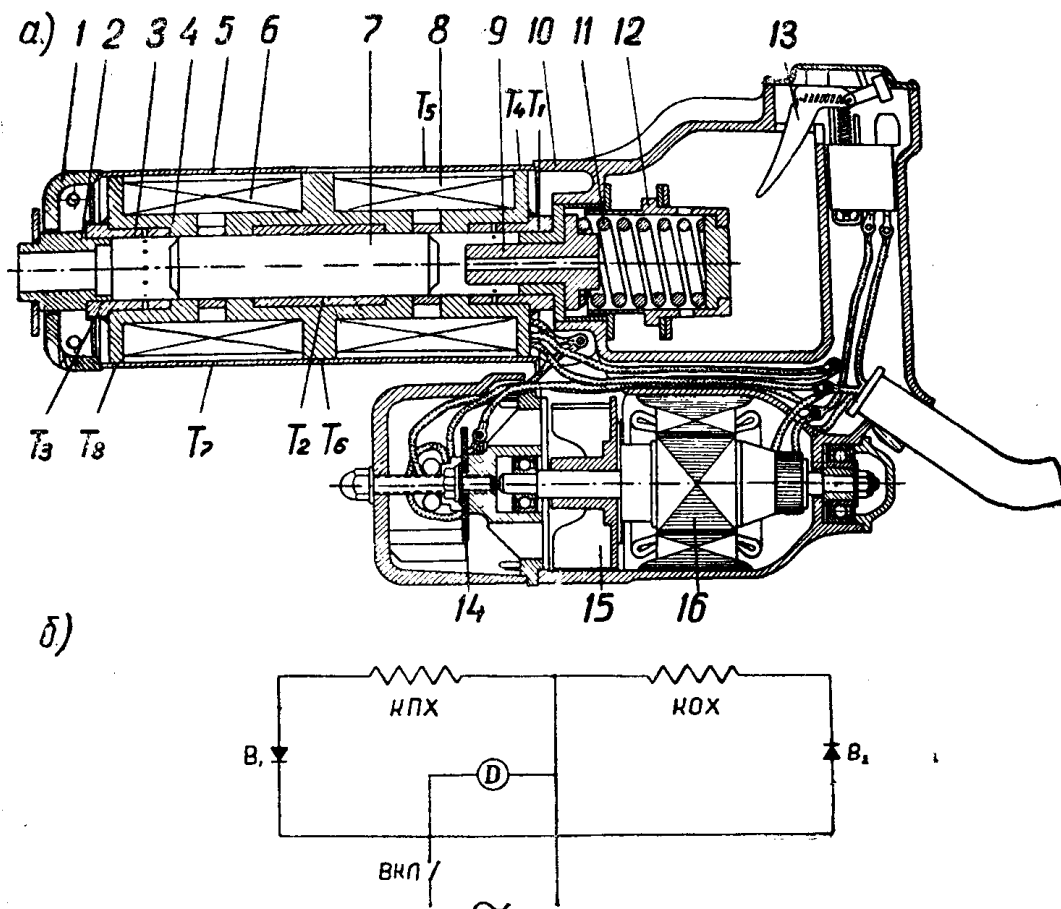


Рис. 3. Молоток фирмы Синтрон.

а) Разрез молотка. 1 — передний фланец, 2 — втулка, 3 — труба, 4 — магнитопровод, 5 — ярмо, 6 — катушка прямого хода, 7 — боек, 8 — катушка обратного хода, 9 — поршень, 10 — рукоятка, 11 — буферная пружина, 12 — стакан, 13 — выключатель, 14 — панель с выпрямителями, 15 — лопатки вентилятора, 16 — двигатель вентилятора, T_1 — T_8 — места заложения термомпар для снятия кривых нагрева молотка.

б) Схема питания молотка. КПХ — катушка прямого хода, КОХ — катушка обратного хода, B_1B_2 — выпрямители, Д — двигатель вентилятора, Вкл. — выключатель.

Из осциллограмм (рис. 4) следует, что независимо от того, отскакивает ли боек после удара (участок $d-e'$ — к кривой хода бойка S), или перемещается вместе с инструментом (участок $d-e-n$), втягивание бойка в катушку обратного хода начинается с момента прекращения протекания тока в катушке прямого хода (в точке a). Отрезок

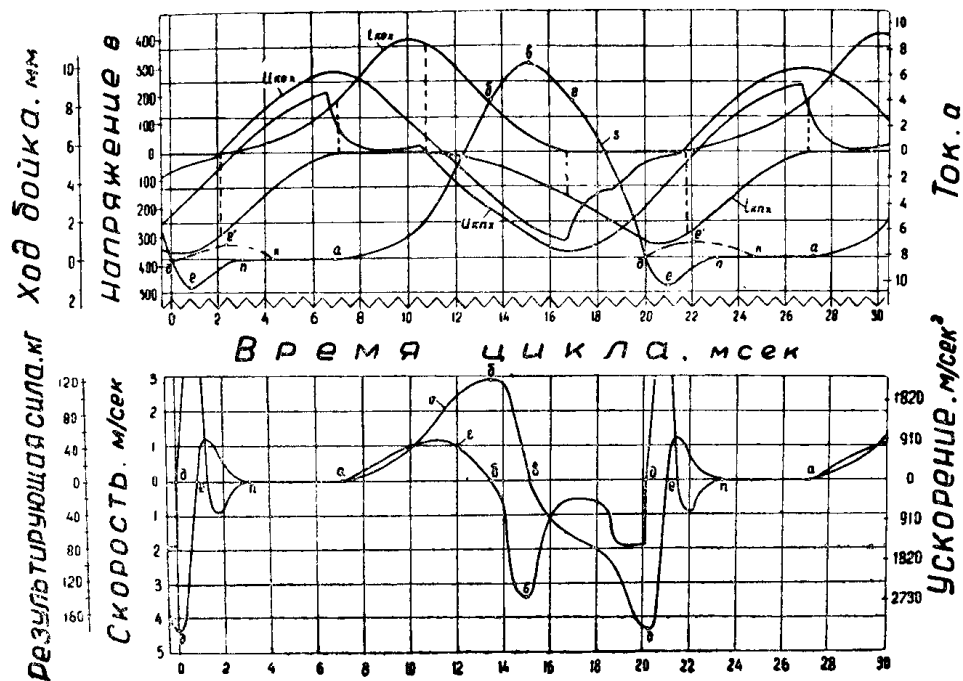


Рис. 4. Осциллограммы рабочего процесса молотка Синтрон.
 S — ход бойка, $U_{\text{кох}}$, $I_{\text{кох}}$ — напряжение и ток в катушке обратного хода, $U_{\text{пх}}$, $I_{\text{пх}}$ — напряжение и ток в катушке прямого хода, v — кривая изменения скорости бойка, ϵ — кривая изменения ускорения бойка и результирующей силы, действующей на боек.

времени от момента удара до начала движения бойка составляет около 30% времени всего рабочего цикла. В конце обратного хода (точка b) — боек ударяется о пружину и сжимает ее (участок $b-v$). Далее под действием упругих сил пружины и электромагнитных сил, развиваемых катушкой прямого хода, боек движется к инструменту и наносит удар в точке d . Таким образом, наличие двух катушек и двух вентилях в цепи питания молотка позволяет использовать из питающей сети обе полу-волны тока; при этом молоток делает 3000 уд/мин. Последнее обстоятельство благоприятно сказывается на среднем значении $\cos \phi$ молотка за рабочий цикл, который получился порядка 0,6—0,7. Существенным недостатком является большое перекрытие токов, обусловленное наличием индуктивности и принятой схемой питания: более 50% времени всего рабочего цикла ток протекает одновременно в обеих катушках. Это значительно снижает эффективность использования энергии, подводимой к молотку. Поскольку катушки молотков АЕГ и Синтрон включаются попеременно, имеется возможность уменьшить вес молотков, если использовать одни и те же катушки для прямого и обратного хода [7].

Стремление повысить отношение полезной мощности к весу электромагнитного молотка привело к созданию схем питания, обеспечивающих использование одних и тех же катушек для прямого и обратного хода бойка. Так были предложены резонансные молотки [3] и молотки со свободным выбегом бойка [2—3].

На рис. 5 и 6 показаны разрез, схема питания и осциллограммы рабочего процесса молотка со свободным выбегом бойка МС-15 [10]. Точка *a* кривой хода бойка *S* (рис. 6) соответствует моменту удара бойка о хвостовик инструмента. Первая после удара полуволна тока увлекает боек в сторону пружины. К моменту окончания протекания первой полуволны тока боек приходит к положению магнитного равно-

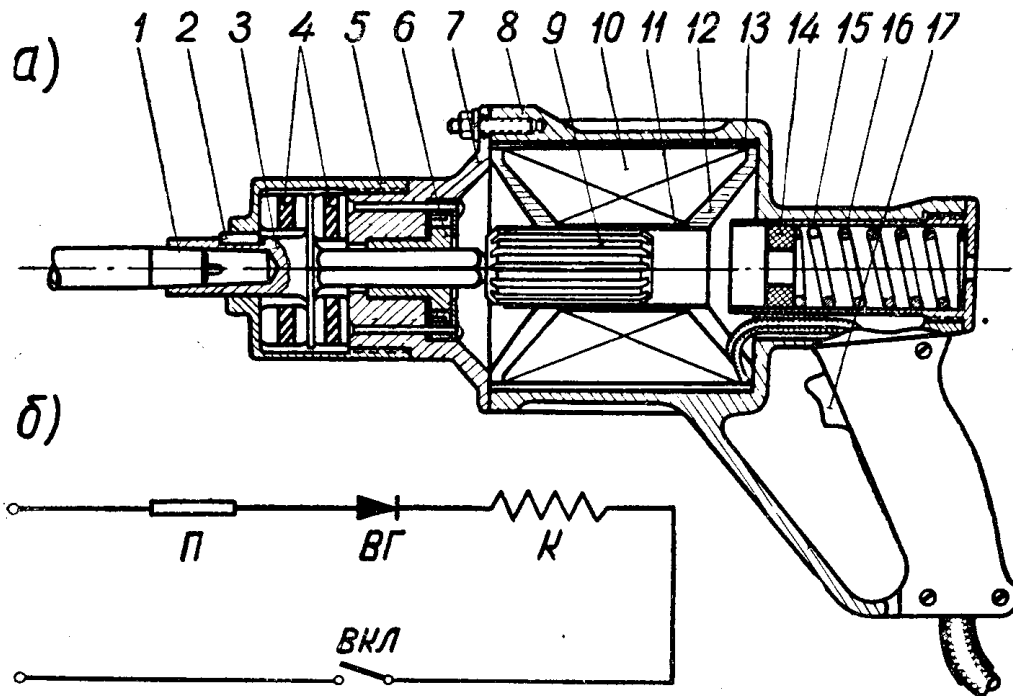


Рис. 5. Молоток МС-15.

- а) Разрез молотка. 1 — инструмент, 2 — шпонка, 3 — патрон, 4 — резиновые поворотные шайбы, 5 — гайка, 6 — втулка, 7 — передний фланец, 8 — корпус, 9 — боек, 10 — катушка, 11 — направляющая труба, 12 — поршень, 13 — ярмо, 14 — стопорный штифт, 15 — поршень, 16 — буферная пружина, 17 — стакан, 18 — включатель.
- б) Схема питания молотка. П — предохранитель, ВГ — выпрямитель германиевый, Вкл. — включатель, К — катушка.

весья: торцы бойка становятся под полюсами *б—в* и *к—м*. Следующая полуволна тока не пропускается вентилем, поэтому боек продолжает перемещаться в сторону пружины, обеспечивая рабочий зазор со стороны инструмента (участок *в—г*). Подойдя к пружине (точка *г*), боек сжимает ее (участок *г—д*). Далее под действием упругих сил пружины и электромагнитных сил соленоида, вызванных следующей полуволной тока, боек устремляется к инструменту (участок *д—е—к*), проходит полюс на участке *к—м* (вторая полуволна тока в катушке к этому моменту времени уже не протекает) и наносит удар в точке *a*, обеспечив рабочий зазор со стороны пружины. Так одна и та же катушка используется в молотках со свободным выбегом бойка для прямого и обратного хода бойка. Молоток делает 1500 уд/мин., поскольку полный рабочий цикл совершается за время двух периодов приложенного напряжения. Очевидно, переход к схеме однополупериодного выпрямления позволяет избежать перекрытия токов, но не обеспечивает рабочего процесса молотка без торможения бойка на одном из участков его хода. В данном случае электромагнитное торможение бойка происходит на участке *г—д* (рис. 6). Для осуществления бестормозного режима ра-

боты молотка необходимо, чтобы боек проходил отдельные участки рабочего хода следующим образом:

- 1) путь $a-b-v$ за время $t_{п1}$, протекания первой полуволны тока;
- 2) расстояние $v-z-d$ за время $t_{п2}$, в течение которого ток в катушке не протекает;
- 3) расстояние $d-e-k$ за время $t_{п3}$, протекания второй полуволны тока.

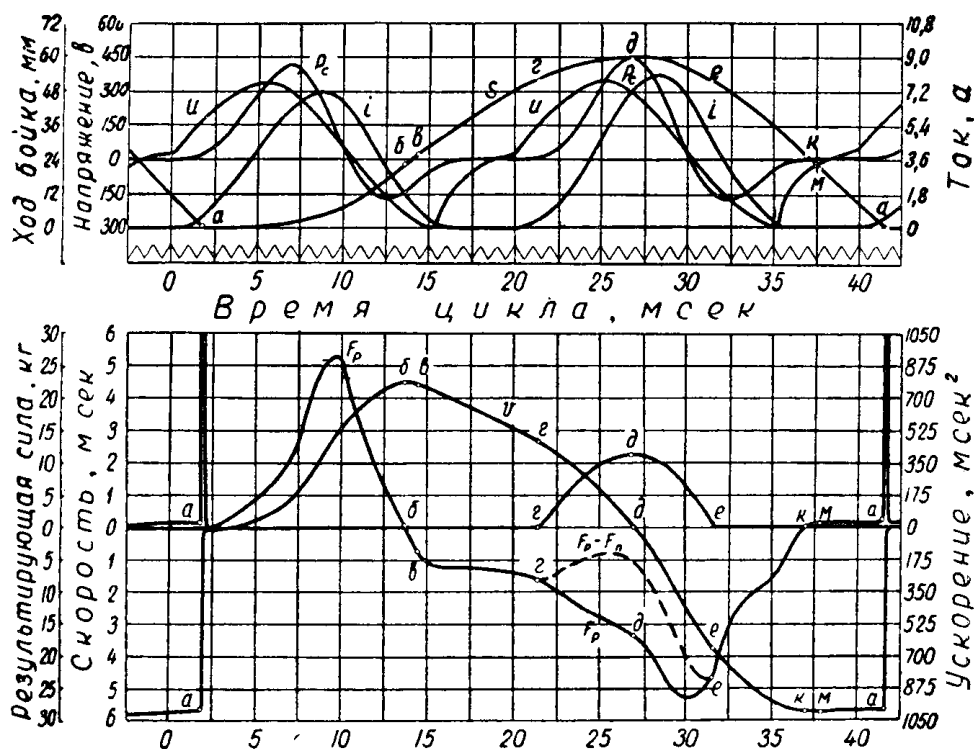


Рис. 6. Осциллограммы рабочего процесса молотка МС-15.

S — ход бойка, U, I — напряжение и ток в катушке, P_c — потребляемая из сети мощность, V — кривая изменения скорости бойка, F_p — кривая изменения результирующей силы, действующей на боек.

Условия 1—3 несовместимы, так как в реальных машинах $t_{п1} = t_{п2} > t_{п3}$ и скорость прямого хода превышает скорость обратного хода бойка. Следовательно, торможение бойка на одном из участков его хода является законом рабочего процесса молотков со свободным выбегом бойка, выполненных по схеме рис. 5. В молотке МС-15 время торможения бойка составляет более 25% времени всего рабочего цикла. Среднее значение $\cos \phi$ одного молотка невысокое и составляет 0,3—0,4. При работе двух молотков от одной сети общий $\cos \phi$ приближается к значению $\cos \phi$ молотка Синтрон, если используются обе полуволны тока [3].

Таким образом, характерной особенностью рабочих процессов электромагнитных молотков с выпрямителями (Синтрон и МС-15) является неизбежность электромагнитного торможения бойка, что отрицательно сказывается на энергетике рабочего цикла. Так, например, в молотке МС-15 кинетическая энергия бойка при обратном ходе в момент его нахождения под полюсами (точки b, v рис. 6) равна 0,29 кгм; в пружине же (участок $z-d$, рис. 6) накапливается 0,056 кгм, т. е. менее 20% механической энергии, полученной при обратном ходе. Остальная часть механической энергии превращается в магнитную, а также рассеивается в виде тепла. Поэтому вопрос о рациональном

построении рабочего цикла, исключаяющего, в частности, электромагнитное торможение бойка, имеет первостепенную важность.

Сравнение технических параметров молотков показывает, что молоток МС-15 имеет удельную мощность в 3,4 раза большую, чем молоток АЕГ при одинаковом весе этих машин (табл. 1). В то же время молотки

Таблица 1

Тип молотка	Параметры								
	Напряже- ние, в	Энергия удара, кдж	Число уда- ров в мин.	Ампервит- ки	Полезная мощность, вт	К. п. д. %	cos φ	Вес, кг	Удельная мощность вт/кг
АЕГ	220/46	0,13	1500	4000	32	32	0,64	5,4	5,90
Синтрон	230	0,515	3000	4400	250	33,5	0,6-0,7	10,0	25,0
МС-15	220	0,45	1500	4650	110	33,3	0,3-0,4	5,5	20,0

Синтрон и МС-15, использующие различные способы получения возвратно-поступательного движения бойка, имеют практически одинаковую мощность. В этой связи вопрос о ценности принципов получения возвратно-поступательного движения бойка потребовал проведения дополнительных исследований [11]. Указанные противоречия усугубляются тем, что большинство конструктивных параметров электромагнитных молотков АЕГ, Синтрон и МС-15 соизмеримы (табл. 2). Молотки имеют практически одинаковые суммарные сечения окон катушек, сечения бойков, магнитопровода, соизмеримые веса активных материалов и значения ампервитков.

Таблица 2

Тип молотка	Параметры					
	Высота ок- на катуш- ки, мм	Длина ок- на катуш- ки, мм	Сечение окна кату- шек, мм	Сечение бойка, мм	Сечение магнито- провода, мм	Вес актив- ных мате- риалов, кг
АЕГ	18	56	2000	625	600	3,13
Синтрон	14	77	2160	610	530	4,0
МС-15	30	46 и 90	1868	610	610	3,98

Вместе с тем, геометрические размеры и формы электромагнитов совершенно различны. Боек молотка АЕГ прямоугольной формы, высота намотки катушки — 18 мм, длина катушки — 56 мм, магнитопровод состоит из двух Ш-образных пакетов. Боек молотка Синтрон цилиндрический, высота намотки катушки 14 мм, длина катушки 77 мм, магнитопровод выполнен в виде восьми Ш-образных пакетов, набранных звездообразно. Боек молотка МС-15 цилиндрический, форма сечения окна катушки — трапециoidalная с основаниями в 46 мм и 90 мм и высотой 30 мм, магнитопровод состоит из цилиндрического яра и конусных полюсов (рис. 1, 3, 5).

Очевидно, ввиду отсутствия теории электромагнитных молотков авторы этих машин при выборе геометрических размеров электромагнитов вынуждены руководствоваться только конструктивными соображениями.

Этим отчасти объясняется тот факт, что молотки, имеющие соизмеримые веса активных материалов, обеспечивают различные полезные мощности (32 *вт*, 250 *вт* и 110 *вт*).

Таким образом, конструкции и схемы питания рассмотренных электромагнитных молотков могут быть значительно улучшены. Используя в схемах питания молотков кремниевые управляемые вентили, можно полностью устранить перекрытие токов в катушках молотков типа «Синтрон» и добиться бестормозного режима работы молотков со свободным выбегом бойка.

Другой резерв повышения к. п. д., $\cos \varphi$ и удельной мощности электромагнитных молотков состоит в отыскании оптимальных геометрических размеров и электромеханических параметров тяговых электромагнитов, существование которых доказано в работе [12] и подтверждено настоящими исследованиями. Необходимость постановки экспериментов с целью выбора рациональных параметров электромагнитов машин ударного действия и улучшения их рабочих процессов очевидна.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Москвитин. Электрические молотки. Электричество, № 20, 1933.
2. А. И. Москвитин. Электрические машины возвратно-поступательного движения. Изд-во АН СССР, М.—Л., 1950.
3. А. И. Москвитин. Электрический молоток для угольной промышленности. Электричество, № 4, 1939.
4. Авторские свидетельства № 42962, 1933, № 132578, № 139622, 1960.
5. Н. П. Ряшенцев, В. В. Иванов. Соленоидные молотки для монтажных работ. Техничко-экономический бюллетень, Кемеровского СНХ, № 10, 1960.
6. Е. М. Тимошенко. Кандидатская диссертация. Томский политехнический институт, 1963.
7. А. И. Москвитин. Электрический или соленоидный молоток. Электричество, № 5, 6, 1934.
8. Н. П. Ряшенцев, Е. М. Тимошенко. Соленоидные молотки. Известия ТПИ, т. 108, 1959.
9. Н. П. Ряшенцев. Исследование динамики соленоидных молотков. Известия ТПИ, т. 108, 1959.
10. Н. П. Ряшенцев, Е. М. Тимошенко. Экспериментальное исследование рабочего процесса и энергетики соленоидного молотка со свободным выбегом бойка. Известия ТПИ, т. 123, 1963.
11. Н. П. Ряшенцев, А. П. Тронов. О способах получения возвратно-поступательного движения бойка электромагнитных машин ударного действия. Статья помещена в данном сборнике.
12. Н. П. Ряшенцев, Е. М. Тимошенко, А. В. Фролов, А. П. Тронов. О параметрах соленоидного молотка со свободным выбегом бойка. Известия ТПИ, т. 123, 1963.