

Н. П. РЯШЕНЦЕВ, А. П. ТРОНОВ

**О СПОСОБАХ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО
ДВИЖЕНИЯ БОЙКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МАШИН
УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ**

(Представлено кафедрой горных машин и рудничного транспорта)

В электромагнитных машинах ударного действия наибольшее применение нашли следующие способы получения возвратно-поступательного движения бойка [1].

Способ А. Электромагнит служит для втягивания бойка в одном из направлений (например, при обратном ходе). В конце хода боек сжимает пружину и под действием ее упругих сил возвращается в исходное положение, ударяя по рабочему инструменту (прямой ход бойка). По такой схеме работают электромагнитные молотки Бэви, Симби [2].

Способ Б. В схему включаются два электромагнита. Один из них втягивает боек при обратном ходе; прямой ход совершается под действием упругих сил пружины и усилий, развиваемых вторым электромагнитом. На этом принципе основаны молотки АЕГ, Синтрон, Миллерс-Фолс, ЕК-1М [2, 3].

Способ В. Один и тот же электромагнит за рабочий цикл включается как при прямом, так и при обратном ходе бойка. При этом в моменты отсутствия тока в катушке боек совершает свободные выбеги из среднего положения относительно катушки электромагнита [4]. Этот способ использован в молотках МС-15, МС-18/36, Дятел-2 [5, 6].

Установлено, что наиболее целесообразным способом получения возвратно-поступательного движения бойка электромагнитных молотков является способ В [1], поскольку «... применение одних и тех же катушек как для прямого, так и для обратного хода повышает мощность молотка вдвое...» [7] по сравнению с машинами, использующими способ Б.

Однако экспериментальные исследования показали, что у молотков, основанных на способах Б и В, отношение полезной мощности к весу практически одинаково [3].

Это потребовало дополнительного рассмотрения вопроса об эффективности способов получения возвратно-поступательного движения бойка электромагнитных машин ударного действия.

Сделать выводы о влиянии способа получения возвратно-поступательного движения бойка на частоту ударов, удельную мощность и нагрев машины можно в том случае, если использовать в различных схемах одни и те же электромагниты, параметры которых за единичное притяжение бойка близки к оптимальным.

В работах [7, 3] показано, что существенным недостатком молотков с выпрямителями в цепи питания является электромагнитное торможение

ние бойка. Рассмотрим, какие условия необходимо выполнить, чтобы осуществить бестормозные рабочие процессы машин, основанных на различных способах получения возвратно-поступательного движения бойка.

Допустим следующее:

1. Потери на трение отсутствуют.
2. Коэффициент восстановления скорости при ударе бойка о буферную пружину равен единице.

3. Время соударения бойка с пружиной мало по сравнению с временем протекания тока при обратном и прямом ходе бойка.

В этом случае для осуществления бестормозной работы молотков, использующих способ А, необходимо выполнить условие

$$V_{\text{ср. ох}} t_{\text{ох}} = V_1 t_{\text{н}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{ср. ох}}$ — средняя скорость бойка при обратном ходе;

$t_{\text{ох}}$ — время протекания тока при обратном ходе бойка;

V_1 — скорость бойка в момент нахождения под полюсами при обратном ходе;

$t_{\text{н}}$ — время, в течение которого ток в катушке не должен протекать (рис. 1, а).

В молотках, основанных на способе «Б», электромагнитное торможение бойка будет отсутствовать при соблюдении равенства

$$V_{\text{ср. ох}} t_{\text{ох}} = V_{\text{ср. пх}} t_{\text{пх}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{ср. пх}}$ — средняя скорость бойка при прямом ходе;

$t_{\text{пх}}$ — время протекания тока при прямом ходе.

Очевидно, при $t_{\text{пх}} = t_{\text{ох}}$, что имеет место в реальных машинах этого типа, электромагнитное торможение бойка неизбежно, поскольку $V_{\text{ср. ох}} < V_{\text{ср. пх}}$. Для устранения торможения бойка необходимо уменьшить время протекания тока при прямом ходе бойка до значения (рис. 1, б)

$$t_{\text{пх}} = \frac{V_{\text{ср. ох}}}{V_{\text{ср. пх}}} t_{\text{ох}}. \quad (3)$$

Предположим, что нагрев этой машины при заданной продолжительности включения оказался оптимальным.

Для снижения веса молотка попытаемся передать функции двух катушек, молотков, использующих способ Б, одной катушке молотка со свободным выбегом бойка, сохранив количественные и качественные стороны процесса преобразования электрической энергии в механическую работу за единичное притяжение бойка.

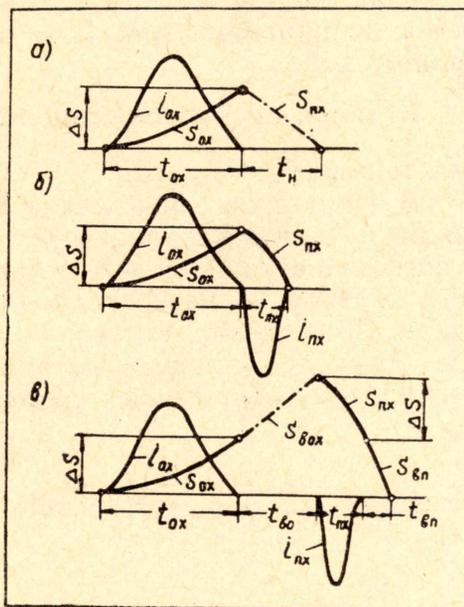


Рис. 1. Кривые рабочих процессов электромагнитных молотков.

ΔS — величина хода бойка; $i_{\text{ох}}$, $i_{\text{пх}}$ — ток в катушках молотков соответственно при обратном и прямом ходе бойка; $S_{\text{ох}}$, $S_{\text{пх}}$ — кривые соответственно обратного и прямого ходов бойка; $S_{\text{вох}}$, $S_{\text{вп}}$ — кривые свободного выбега бойка соответственно при обратном и прямом ходе.

Рабочий процесс молотков со свободным выбегом бойка, удовлетворяющий изложенным требованиям, иллюстрируют кривые рис. 1, в, а условие их бестормозной работы описывается выражением

$$V_1 t_{\text{во}} = V_{\text{ср.пх}} t_{\text{пх}} \quad (4)$$

которое тождественно равенствам (1) и (2), поскольку время выбега бойка при обратном ходе $t_{\text{во}} = t_{\text{н}}$.

При использовании в различных схемах одних и тех же электромагнитов процесс накопления кинетической энергии при обратном ходе бойка у машин всех типов протекает по одним и тем же законам (рис. 1). Отличаются рассматриваемые машины только способом осуществления прямого хода бойка.

С этой точки зрения кинематика рабочих процессов машин, использующих способы А и Б, различна; прямой ход бойка машин, основанных на способе В, включает соответствующие этапы рабочего цикла молотков первых двух типов (рис. 1).

Для удобства дальнейшего рассмотрения влияния схем получения возвратно-поступательного движения бойка на параметры машин введем следующие обозначения:

$W_{\text{ох}}$, $W_{\text{пх}}$ — количество механической энергии, запасаемой бойком соответственно при обратном и прямом ходе.

$t'_{\text{н}} = t_{\text{ох}} + t_{\text{пх}}$, $t_{\text{н}} = t_{\text{во}} + t_{\text{вп}}$ — соответственно суммарное время протекания тока в электромагнитах, включаемых по схемам Б и В, и время, в течение которого ток в катушках молотков со свободным выбегом бойка не протекает, где $t_{\text{вп}}$ — время свободного выбега бойка при прямом ходе.

Установившееся значение перегрева машины $\Theta = K_{\Theta} \frac{Q_2}{S}$, где полезная мощность $Q_2 = \kappa A n$.

В приведенных равенствах S — поверхность охлаждения; K_{Θ} — коэффициент пропорциональности, зависящий от к. п. д. электромагнита и коэффициента теплоотдачи, принимаемых постоянными; κ — коэффициент пропорциональности; n — число ударов; A — энергия единичного удара. Вес однокатушечного молотка $G = G_A (1 + K_G)$,

где G_A — вес активных материалов,

$G_{\text{н}}$ — вес неактивных материалов.

$$K_G = \frac{G_{\text{н}}}{G_A}$$

Удельная мощность машины

$$q = \frac{Q_2}{G}$$

Параметры электромагнитных машин, использующих одни и те же электромагниты, но различные способы получения возвратно-поступательного движения бойка, описываются выражениями, приведенными в табл. 1. Для сравнения первого принципа получения возвратно-поступательного движения бойка со вторым и третьим (табл. 1), необходимо располагать данными о соотношениях $\frac{W_{\text{ох}}}{W_{\text{пх}}}$ и $\frac{t_{\text{ох}}}{t_{\text{пх}}}$, оптимальные значения которых могут быть получены экспериментальным путем.

Поэтому представляется возможным сравнить только машины, основанные на втором и третьем способах получения возвратно-поступательного движения бойка. Эти молотки имеют одинаковую энергию удара, но различные частоту ударов и вес (табл. 1). При переходе от второй схемы к третьей вес машины уменьшается вдвое, а частота уда-

Таблица 1

Параметры машин	Способ получения возврат. - поступ. движ. бойка		
	А	Б	В
Число ударов в минуту, n	$\frac{1}{t_{ox} + t_{bo}}$	$\frac{1}{t_{п}}$	$\frac{1}{t_{п} + t'_{н}}$
Энергия удара, А	W_{ox}	$W_{ox} + W_{пх}$	$W_{ox} + W_{пх}$
Полезная мощность, Q_2	$\frac{kW_{ox}}{t_{ox} + t_{bo}}$	$\frac{k(W_{ox} + W_{пх})}{t_{п}}$	$\frac{k(W_{ox} + W_{пх})}{t_{п} + t'_{н}}$
Вес машины	G	$2G$	G
Удельная мощность, q	$\frac{kW_{ox}}{t_{ox} + t_{bo}} \cdot \frac{1}{G}$	$\frac{k(W_{ox} + W_{пх})}{t_{п}} \cdot \frac{1}{2G}$	$\frac{k(W_{ox} + W_{пх})}{t_{п} + t'_{н}} \cdot \frac{1}{G}$
Площадь охлаждения	S	$2S$	S
Установившийся перегрев машины θ	$\frac{k\theta}{S} \cdot \frac{kW_{ox}}{t_{ox} + t_{bo}}$	$\frac{k\theta}{2S} \cdot \frac{k(W_{ox} + W_{пх})}{t_{п}}$	$\frac{k\theta}{S} \cdot \frac{k(W_{ox} + W_{пх})}{t_{п} + t'_{н}}$

ров снижается в $(1 + K_t)$ раз, что менее двух, поскольку в реальных машинах $0 < K_t = \frac{t'_{н}}{t_{п}} < 1$. Следовательно, в молотках со свободным выбегом бойка электромагнит более интенсивно используется во времени, что позволяет увеличить удельную мощность машины в $\frac{2}{1 + K_t}$ раз.

Однако нагрев молотка увеличивается во столько же раз.

Машины обеспечивают одно и то же число ударов при $K_t = 0$ (рис. 2). При этом удельная мощность и нагрев молотков со свободным выбегом бойка вдвое больше по сравнению с молотками, основанными на способе Б (случай, для которого справедливы выводы, изложенные в литературе [7]).

При $K_t = 1$ электромагниты молотков, работающих по схемам Б и В загружены одинаково, поскольку частота ударов со свободным выбегом бойка снижается вдвое по сравнению с молотками, использующими способ Б. Поэтому машины оказываются эквивалентными как по удельной мощности, так и по нагреву.

В реальном случае, как это отмечалось выше, необходимо ориентироваться на значения удельной мощности и нагрева, соответствующие условию $0 < K_t < 1$.

Для уменьшения нагрева машины, основанной на способе В, необходимо увеличить поверхность охлаждения. В этом случае удельная мощность несколько снизится, поскольку возрастет вес неактивных материалов. Предположим, что с увеличением поверхности охлаждения пропорционально увеличению нагрева вес неактивных материалов уве-

личился в С раз. Тогда отношение удельных мощностей машин, использующих способы В и Б, определится выражением

$$\varphi_{В, Б} = \frac{2(1 + K_G)}{(1 + K_t)(1 + cK_G)} \quad (5)$$

Подставляя в формулу (5) реальные значения коэффициентов $K_G = 0,3 - 0,5$, $K_t = 0,3 - 0,5$, $c = \frac{2}{1 + K_t} = 1,54 - 1,33$, получим $\varphi_{В, Б} = 1,2 - 1,37$.

Таким образом, при осуществлении рабочих процессов по схемам рис. 1, б, в, вес молотков со свободным выбегом бойка по сравнению с молотками типа Б уменьшается вдвое, а частота ударов снижается в $(1 + K_t) = 1,3 - 1,5$ раза при неизменной энергии единичного удара. Благодаря этому удельная мощность молотков со свободным выбегом бойка при одинаковом нагреве оказывается больше в 1,2—1,37 раза.

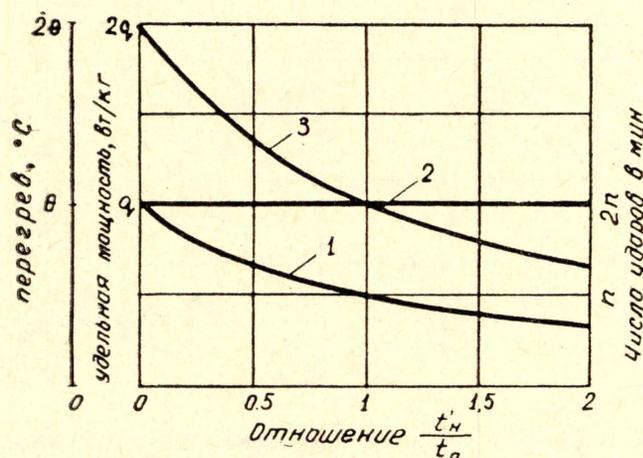


Рис. 2. Параметры электромагнитных молотков в функции K_t

1, 2 — зависимость числа ударов от K_t соответственно для машин, использующих способы В и Б.
2, 3 — зависимость удельной мощности и нагрева от K_t для машин, работающих соответственно по схемам Б и В.

В существующих машинах со свободным выбегом бойка частота ударов по сравнению с машинами, работающими по схеме Б, снижается не в 1,3—1,5 раза, а вдвое [3]. Поэтому с точки зрения удельной мощности ни одна из реальных схем не имеет преимущества.

Реальные машины со свободным выбегом бойка могут обеспечить большую удельную мощность при условии, что при одинаковых весовых и энергетических затратах энергия удара этих машин будет больше энергии удара машин типа Б. Это возможно в том случае, если электромагнитное торможение в машинах со свободным выбегом бойка в меньшей мере сказывается на процесс преобразования электрической энергии в механическую, чем перекрытие токов в молотках второго типа [3].

Количественную оценку влияния особенностей рабочих процессов указанных молотков на энергетику рабочего цикла можно сделать на основе соответствующих экспериментальных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. М. Тимошенко. Кандидатская диссертация. Томский политехнический институт, Томск, 1963.

2. А. И. Москвитин. Электрические машины возвратно-поступательного движения. Изд-во АН СССР, М.-Л., 1950.
3. Н. П. Ряшенцев, А. П. Тронов. Некоторые результаты экспериментального исследования электромагнитных молотков. Статья помещена в данном сборнике.
4. Авторские свидетельства № 42962, 1933; № 132578, 1960; № 139622, 1960.
5. Н. П. Ряшенцев, В. В. Иванов. Соленоидные молотки для монтажных работ. Техничко-экономический бюллетень Кемеровского СНХ, № 10, 1960.
6. Н. П. Ряшенцев, А. П. Тронов. Соленоид дробит гранит. Журнал «Изобретатель и рационализатор», № 9, 1963.
7. А. И. Москвитин. Электрический или соленоидный молоток. Электричество, № 5, 6, 1934.