

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ СОЛЕНОИДНЫХ МОЛОТКОВ

П. М. Алабужев, Н. П. Ряшенцев

Бурный рост механизации в народном хозяйстве сопровождается внедрением различных механизмов. В частности, широкое применение нашли пневматические молотки и машины ударно-вращательного бурения в горнорудной, каменноугольной, строительной, металлообрабатывающей и машиностроительной промышленности, при путевых работах на железных дорогах, в автодорожном деле, на земляных работах коммунального и сельского хозяйства.

Пневматический молоток получил широкое применение благодаря надежности в эксплуатации, простоте и дешевизне конструкции. Однако пневматические молотки имеют ряд существенных недостатков, главным из которых является то, что они не могут применяться там, где нет пневматической энергии или преобразователя других видов энергии в пневматическую. Вторым недостатком является высокая стоимость пневматической энергии, обусловленная огромными потерями в канализации сжатого воздуха, в процессе преобразования энергии, и низкий к. п. д. молотка. Особенно неэкономично пневмохозяйство в горнорудной и каменноугольной промышленности, где пневматические молотки (перфораторы) применяются в большом количестве. Нерентабельность воздушного хозяйства ярко проявляется сейчас, когда весь рудник или шахта электрифицированы, а наличие двух видов энергии создает ряд неудобств в эксплуатации и снижает к. п. д. энергохозяйства рудника. Кроме того, электрическая энергия (по сравнению с пневматической) имеет ряд преимуществ: она позволяет автоматизировать производство, ввести диспетчеризацию, подавать энергию в любую точку рудника, шахты, завода, стройплощадки, колхоза и т. п.

Третьим недостатком пневматических бурильных машин и молотков является необходимость в точной обработке соприкасающихся поверхностей цилиндра с бойком и системой воздухо-распределения. Небольшой износ указанных поверхностей приводит к значительному уменьшению к. п. д. молотка.

Все сказанное выше побуждало многочисленных авторов и проектные организации к созданию электрических ударных узлов как более дешевых в эксплуатации и имеющих ряд преимуществ, свойственных электрическим машинам. В СССР конст-

руированием электрических молотков занимаются с 1928 г., однако до настоящего времени отечественной промышленностью не выпускаются электрические молотки и машины ударно-вращательного бурения с соленоидным приводом, так как выполнение требований, предъявляемых к ним, как со стороны его эксплуатационных качеств, так и со стороны конструктивных особенностей представляет большие трудности. Для производства нужна машина ударного действия, которая удовлетворяла бы следующим основным требованиям: ударный узел должен развивать на инструменте энергию удара, равную энергии удара пневматических молотков; нагрев не должен превышать 60—53° С при длительной работе; конструкция должна быть простой с минимальным числом деталей, надежной и прочной в эксплуатации при минимальном весе и удобной форме конструкции. Последнее требование особенно жестко предъявляется для ручных молотков. Кроме указанных требований, молоток должен удовлетворять всем необходимым санитарно-гигиеническим условиям работы и охраны труда. Выполнение указанных условий представляет значительные трудности.

При конструировании электрических молотков в настоящее время идут по двум направлениям. Первое — по пути создания электромеханического молотка и второе — соленоидного. Соленоидным молотком, несколько условно, называем молоток, у которого возвратно-поступательное движение сердечника — бойка осуществляется под действием электромагнитных усилий без механической передачи.

Электромеханическая группа молотков характеризуется наличием электродвигателя, вращательное движение которого при помощи различных механических передач преобразуется в энергию удара. Преимуществом данной группы молотков перед соленоидными молотками является то обстоятельство, что приводом служит широко распространенный электродвигатель (работающий в установившемся режиме), теория и конструкция которого разработаны хорошо. Двигатель такого молотка имеет высокий к. п. д. и $\cos \varphi$.

Однако указанная группа молотков имеет ряд существенных недостатков, к ним относятся: сложность конструкции, большое число относительно точно изготовляемых деталей механической передачи, которые увеличивают вес и уменьшают надежность работы всей конструкции, а также динамические нагрузки, возникающие во время работы молотка, в результате чего механическая передача быстро выходит из строя.

К основным преимуществам соленоидных молотков относятся: отсутствие механической передачи, простота конструкции, отсутствие точно изготовляемых деталей, следовательно, и незначительная стоимость их по сравнению с электромеханическим.

Основным недостатком соленоидных молотков является низкий к. п. д. и $\cos \varphi$, вследствие чего соленоидные молотки сильно

нагреваются при работе. Коэффициент полезного действия молотков средней и высокой мощности может быть значительно увеличен при работе его на пониженной частоте ударов. Однако в этом случае требуется специальный генератор, что чрезвычайно усложняет схему, не говоря уже о том, что изготовление надежно работающих переключателей к электромолоткам — дело чрезвычайно трудное. Попытки создания переключателей разнообразных конструкций не увенчались успехом вследствие быстрого подгорания контактов. Исследования, проведенные А. М. Москвитиним [1, 2], показывают, что в целом к. п. д. электромеханических молотков не выше, чем у соленоидных, а даже несколько ниже, а вес на единицу отдаваемой мощности для обоих молотков получается одного и того же порядка. Причем к. п. д. у электромеханических молотков можно увеличить лишь незначительно, в то время как для соленоидного молотка, благодаря выбору рациональной конструкции и схем его питания, к. п. д. можно увеличить в несколько раз и довести до 55—65%. Конструкция соленоидного молотка значительно проще и дешевле электромеханического. Все сказанное свидетельствует о том, что соленоидные молотки не только могут конкурировать с электромеханическими, но имеют больше перспектив к дальнейшему развитию.

Более эффективно соленоидные молотки работают при пониженной частоте ударов, так как здесь в меньшей степени оказывают влияние отрицательные действия противоэлектродвижущей силы бойка, токов Фуко, потерь на гистерезис. Чтобы осуществить конструкцию молотка с пониженной частотой ударов, авторы разработали безыскровой переключатель* и молотки типа МС-1 и МС-2, производящие 1500 ударов в минуту.

Молоток МС-1 представляет более совершенную конструкцию по сравнению с ранее предложенными молотками [1—5] благодаря двухступенчатому действию электромагнитных сил катушек на боек. Это позволило создать молоток с более устойчивой работой бойка, так как в течение всего хода бойка на него действуют электромагнитные силы большей величины, чем при двухкатушечных конструкциях. Конструкция молотка МС-1 показана на рис. 1, а**. Схема питания катушек изображена на рис. 1, б, а развернутая диаграмма напряжений — на рис. 1, в. Из диаграммы видно, что за один цикл удара используется время двух периодов тока, т. е. боек делает 1500 ударов в минуту.

Рассмотрим работу молотка при среднем положении бойка, как указано на рис. 1, а. Питание катушки К2 (рис. 1, б, в), а

* «Синхронный безыскровой переключатель». Статья в настоящем сборнике.

** В изготовлении молотка МС-1 принимал участие студент В. Т. Лопатин.

следовательно, и действие электромагнитных сил этой катушки, прекратилось, но в этот же момент возрастает ток полупериода фазы С, питающей через переключатель П катушку К1. После прекращения действия электромагнитных сил катушки К1 происходит удар бойка по рабочему инструменту. К этому време-

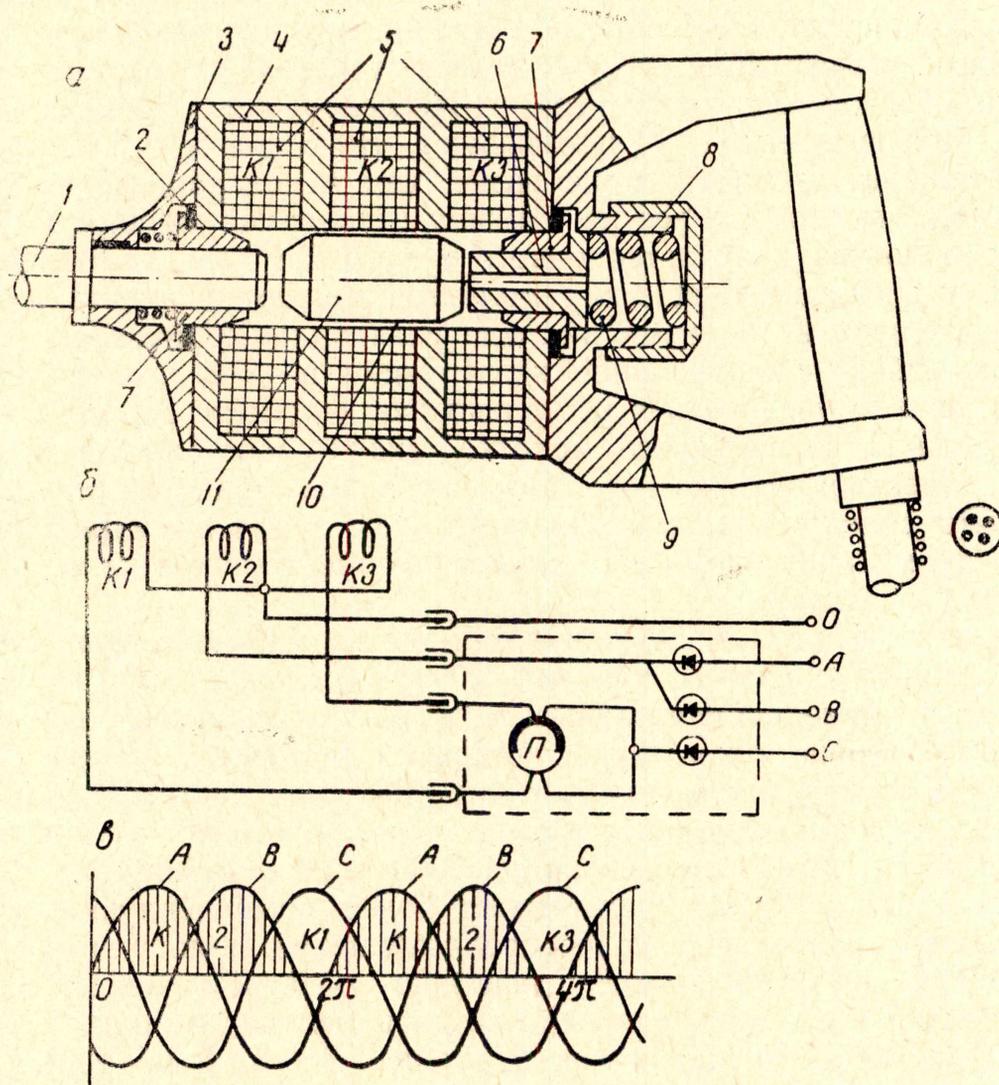


Рис. 1. Соленоидный молоток МС-1:

а — конструкция; *б* — схема питания; *в* — диаграмма напряжения; 1 — рабочий инструмент; 2 — амортизирующая шайба; 3 — упорный фланец; 4 — магнитопроводящий корпус; 5 — рабочие катушки; 6 — демпферная втулка; 7 — плавающие втулки; 8 — упорная гайка пружины; 9 — пружина демпферной втулки; 10 — направляющая немагнитная труба; 11 — ступенчатый боек.

ни катушка К2 получает питание от полупериодов фаз А и В и боек под действием электромагнитных сил катушки К2 стремится занять среднее положение относительно катушки К2. Однако еще до перемещения бойка в среднее положение питание катушки К2 прекращается с одновременным возрастанием тока, а следовательно, и с ростом электромагнитных сил катушки К3. Боек продолжает движение вправо, но на его пути встречается демпферная втулка, через которую боек сжимает демпферную

пружину. В момент спадания тока в катушке КЗ боек подходит к направляющей втулке. Боек удерживается в крайнем правом положении до тех пор, пока сила пружины не преодолевает электромагнитные силы катушки КЗ. Как только электромагнитные силы катушки будут меньше сил сжатия пружины, она начнет возвращать запасенную энергию бойку, перемещая его в направлении рабочего хода. В этот момент к силам пружины добавляются электромагнитные силы катушки К2. Затем цикл повторяется.

Из вышеописанного видно, что для прохождения первой половины пути бойка при начальном его движении из крайних положений требуется больше времени, чем для прохождения второй половины его пути. Приведенная схема питания (рис. 1, а, б, в) удовлетворяет этим условиям: продолжительность действия электромагнитных сил средней катушки К2 в два раза больше действия этих сил в крайних катушках К1 и К3.

У предлагаемой конструкции молотка на боек действуют сдвинутые во времени две электромагнитные силы: первая от средней катушки, вторая — от одной из крайних катушек. Это позволяет работать молотку в зоне больших тяговых усилий характеристики соленоида, чем при работе двухкатушечного молотка. Благодаря поочередному действию на боек двух электромагнитных сил одного направления достигается устойчивая работа молотка без перемагничивания магнитопровода и бойка молотка. В отличие от ранее предлагаемых конструкций [1, 3] данная конструкция позволяет увеличить энергию удара бойка, уменьшить потери в молотке, а следовательно, и его нагрев. Компактность, простота изготовления, двухступенчатое действие на боек электромагнитных сил, увеличение энергии удара и к. п. д. молотка положительно разрешают вопрос создания соленоидного молотка.

Молоток МС-2 представляет собой более совершенную конструкцию по сравнению с молотком МС-1 благодаря двухступенчатому действию электромагнитных сил катушек на многоступенчатый боек. В течение всего хода на боек действуют электромагнитные силы значительно большей величины, чем у ранее предложенных конструкций. Это достигается благодаря не только двухступенчатому действию электромагнитных сил, но и многократному их приложению к бойку, состоящему из магнитных и немагнитных звеньев.

Соленоидный молоток МС-2 (рис. 2) в зависимости от назначения рассчитывается на энергию удара до 8 кгм при 1500 ударов в минуту. Охлаждение молотка может быть водяное или естественное.

Работа молотка МС-2. В зависимости от количества ступеней бойка и схемы его питания молоток может создать различную величину энергии удара. Рассмотрим работу молотка при энергии удара до 2 кгм и 1500 ударов в минуту, без

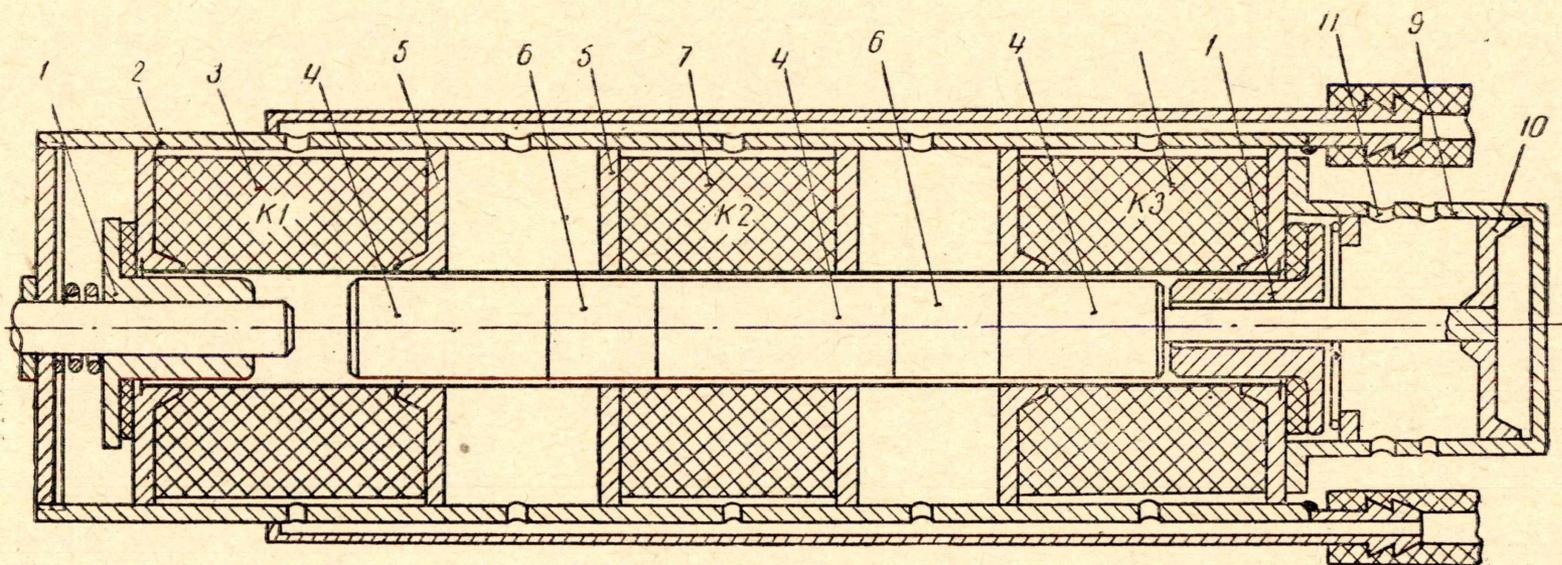
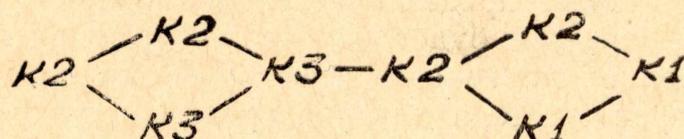


Рис. 2. Соленоидный молоток МС-2:

1 — плавающие втулки; 2 — цилиндрический магнитопроводящий корпус с отверстиями для циркуляции охлаждающей воды; 3 — катушка прямого хода бойка; 4 — магнитная часть бойка; 5 — полюс катушки; 6 — немагнитное звено бойка; 7 — средняя катушка; 8 — катушка обратного хода бойка; 9 — цилиндр демферного устройства; 10 — поршень; 11 — компенсационные отверстия.

учета сдвига фаз от индуктивности нагрузки. При работе молотка по схеме питания катушек, изображенной на рис. 3, соблюдается следующий порядок включения катушек при движении бойка от левого крайнего положения:



затем цикл повторяется. Согласно приведенной диаграмме напряжения катушек (рис. 3, б), в начальный момент включается средняя катушка К2, которая получает питание выпрямленного тока вначале от фазы С, затем от фазы А. Продолжительность включения средней катушки К2 длится в течение 300° (от точки *a* до точки *c*). Под действием электромагнитных сил средней катушки боек начинает перемещаться вправо, вместе с бойком перемещается шток с поршнем, последний начинает сжимать воздух, находящийся в цилиндре.

Спустя 120° после включения средней катушки К2 (в точке *B*) безыскровой переключатель П (рис. 3, а) включает торцовую катушку обратного хода К3, которая получает питание от выпрямленного тока фаз А и В. При этом к электромагнитным силам средней катушки прибавляются электромагнитные силы торцовой катушки обратного хода. Совместное действие этих сил продолжается до точки *c*, а действие электромагнитных сил торцовой катушки К3 до точки *d*. В течение всего времени перемещения бойка вправо воздух в цилиндре сжимается поршнем (рис. 2).

Из диаграммы напряжения видно, что еще до прекращения действия электромагнитных сил катушки К3 начинает возрастать действие сил катушки К2. Когда электромагнитные силы катушки К2 и силы давления на поршень сжатого воздуха будут больше электромагнитных сил катушки К3 и запасенной энергии движущихся сил, движение бойка изменится на обратное. Теперь под действием электромагнитных сил средней катушки и сжатого воздуха боек движется в рабочем направлении. После того, как переключатель П включит торцовую катушку К1, в точке *e* к указанным силам добавляются электромагнитные силы торцовой катушки прямого хода К1, питающейся от фаз А и В. В точке *n* действие электромагнитных сил средней катушки прекращается. Почти прекращается действие сил сжатого воздуха. Боек продолжает движение только под действием электромагнитных сил торцовой катушки прямого хода К1.

В момент, когда электромагнитные силы торцовой катушки К1 резко уменьшаются, а электромагнитные силы средней катушки К2 возрастают, боек совершает удар по рабочему инструменту. Далее цикл повторяется.

Из вышеизложенного видно, что боек начинает движение независимо от его начального положения относительно катушек. Благодаря применению надежно работающего безыскрового переключателя питания торцовых катушек, подбора определенных схем включения катушек при заданной характеристике и определенном весе бойка представляется возможность спроектировать молоток, который будет работать в резонансном режиме.

Из приведенной диаграммы (рис. 3, б) видно, что безыскровая работа переключателя для поочередного включения питания торцовых катушек молотка обеспечивается, если производить

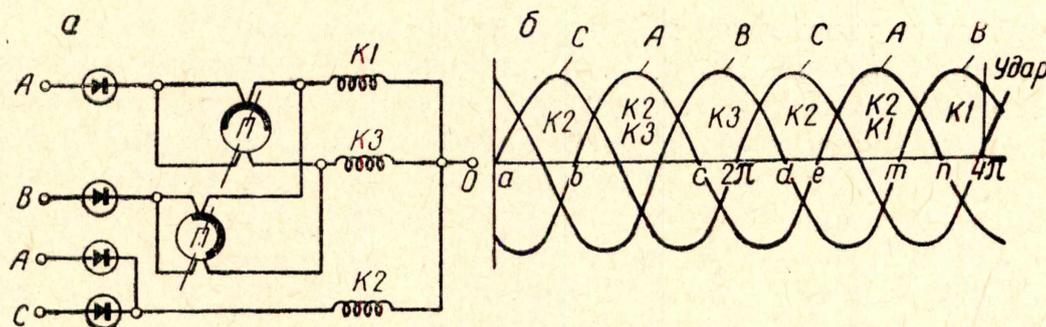


Рис. 3. Схема питания и диаграмма напряжений катушек молотка:
а — схема питания; б — диаграмма напряжения.

переключения фазы А в период $c—e$, а фазы В в период $d—m$. Это основное условие безыскровой работы переключателя предусматривается в его конструкции.

Основные преимущества молотка МС-2

Предлагаемая конструкция молотка позволяет:

- 1) осуществлять возвратно-поступательное движение бойка без перемагничивания магнитопровода, что значительно снижает потери на гистерезис и вихревые токи, а следовательно, увеличивает силу тяги соленоида и уменьшает нагрев молотка;
- 2) создать многоступенчатый молоток по заданной тяговой характеристике, обеспечивающей повышение к. п. д. молотка;
- 3) увеличить силу тяги бойка молотка и энергию удара за счет многократного приложения электромагнитных сил к бойку;
- 4) повысить силу тяги при меньшем диаметре бойка, что в свою очередь дает возможность значительно уменьшить расход меди на изготовление катушек, уменьшить тепловые потери в них и, следовательно, увеличить к. п. д. молотка;
- 5) создать молоток с малыми поперечными габаритами.

Предварительные экспериментальные испытания изготовленных моделей молотков МС-1 и МС-2 в Томском политехническом институте подтверждают справедливость высказанных выше соображений.

Работы по исследованию молотков МС-1 и МС-2 продолжаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Москвитин. Электрические машины возвратно-поступательного движения. Издательство АН СССР, 1950.
 2. А. Н. Москвитин. Электрический или соленоидный молоток. Электричество, № 5 и 6, 1934.
 3. К. Н. Шмаргунов. Электрические молотки. Машгиз, 1950.
 4. Н. А. Шмаров. Электроотбойные молотки для каменноугольной промышленности. Гостехиздат Украины, 1935.
 5. П. М. Алабужев. Исследование рабочего процесса электрических машин ударного действия. Томск, Полиграфиздат, 1954.
-