

РАЗВИТИЕ РЯДА КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗОВ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ТОЛКАТЕЛЯМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Александр Дмитриевич КОСТРОМИН, канд. техн. наук, главный специалист,
Галина Александровна ГОРОБЕЦ, ведущий конструктор,
Николай Ильич ИВАШКОВ, канд. техн. наук, генеральный директор,
Денис Александрович КАРАСЕВ, технический директор,
Юрий Всеволодович КАЗУТО, ведущий конструктор, аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана
ООО Научно-производственное предприятие «Подъемтранссервис», Московская область

Дано аналитическое и экспериментальное обоснование преимуществ длинноходовых электромагнитных толкателей постоянного тока МПТ-400, -500 и -600 как привода растормаживания нового ряда колодочных тормозов типа ТКПМ, предназначенных для механизмов грузоподъемных и других подъемно-транспортных машин. Сделаны предложения по расширению типоразмерного ряда этих тормозов на основе использования толкателя МПТ-600 при типовых схемах форсировки включения в тормозах ТКПМ-700-2 и ТКПМ-800-2.

Ключевые слова: типоразмерный ряд, колодочный тормоз, электромагнитный толкатель постоянного тока, форсировка включения, магнитный зазор, внутреннее трение, быстродействие, плавность движения якоря, тяговая характеристика, нагрузочная характеристика.

Колодочные тормоза с пружинным замыканием типа ТКП конструкций заводов «Сибтяжаш» и Ленинградского ПТО им. С.М. Кирова по типоразмерному ряду согласно ОСТ 24.290.08-82 [1, 2] снабжены электромагнитным приводом. Они предназначены для тормозных шкивов диаметром 400, 500, 600, 700 и 800 мм, обеспечивая максимальные тормозные моменты в диапазоне от 1500 до 12500 Нм, и применяются, преимущественно, в механизмах главного подъема металлургических кранов. Их растормаживание осуществляется при помощи короткоходовых электромагнитов постоянного тока, катушка (ТКП-400, -500, -600, -700, -800) и якорь которых совмещены с рычагами тормоза, имеющими общую ось поворота [3]. Короткоходовые электромагниты постоянного тока обладают крутой тяговой характеристикой – зависимостью тягового усилия P от хода якоря h , что обуславливает его резкое возрастание по отношению к нагрузочной характеристике по мере уменьшения воздушного рабочего зазора при движении якоря. Поэтому замыкание рабочих поверхностей магнитов

сопровождается сильными ударами [4, 5].

Нерациональное использование возможностей тяговой характеристики привело к значительному уменьшению добротности [6], увеличению массы магнитопровода и обмоточных проводов и, как следствие, большому росту индуктивности L и постоянной времени T этих электромагнитов

$$T = L / R, \quad (1)$$

где R - активное сопротивление цепи катушки.

Индуктивность магнита при включении L_1 и отключении L_2 , а также соответствующие значения T_1 и T_2 оказывают существенное влияние на переходные процессы при включении и отключении.

При включении катушки в цепь питания (U) изменение тока i до начала движения якоря определяется зависимостью

$$i = (U / R)(1 - e^{-t/T_1}) = I_{y1}(1 - e^{-t/T_1}). \quad (2)$$

На якоре в момент включения появляется тяговое усилие, которое снижает воздействие на колодки замыкающей пружины тормоза, что приводит к уменьшению тормозного момента. Через промежуток времени $t_{3,в}$ (время задержки начала движения якоря при включении) ток в катушке достигает значения $i = i_{cp}$, завершается процесс растормаживания ($M_T = 0$) и начинается движение якоря к стопу (ярму), продолжительность которого – t_d .

$$t_{3,в} = T_1 \ln [I_{y1} / (I_{y1} - i_{cp})] \quad (3)$$

Из зависимостей (1) - (3) видно, что $t_{3,в}$ увеличивается при прочих равных условиях пропорционально увеличению индуктивности при включении L_1 . Поэтому собственное время втягивания якоря электромагнита – время срабатывания $t_{cp} = t_{3,в} + t_d \approx t_{3,в}$, – относительно велико и составляет для магнитов с катушками ТКП-400, -500, -600, -700 и -800, соответственно: 1,3; 1,8; 2,0; 2,3 и 2,5 с. Для его уменьшения применяют схемы форсировки (увеличения I_{y1} на время включения). Типовая схема форсировки, применяемая в наиболее распространенных схемах управления для базового исполнения катушки (110 В, ПВ 25 %) приведена на рис.1. Она работает следующим образом.

При пуске привода включаются контакторы КМ1 и КМ2. На катушку подается форсировочное напряжение $U_1 = 220$ В. При достижении заданного тока (времени) реле КА1 отключает контактор форсировки КМ2, тем самым подключая последовательно к катушке R_k добавочное сопротивление R_d . Напряжение на катушке снижается: $U_2 = U_1 \cdot R_k / (R_k + R_d)$, например, для ТКП-600 до 43,5÷55 В, обеспечивая уменьшение ее нагрева. При этом в цепи катушки устанавливается значение тока $I_{y2} = U_1 / (R_k + R_d)$.

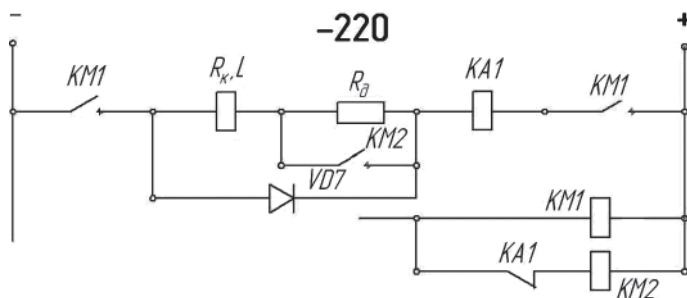


Рис. 1. Схема управления тормозными электромагнитами МП-600 и МПТ-600 с числом витков 1250 и 2500 соответственно: R_k – активное сопротивление катушки электромагнита ($R_{k\text{хол}} = 10,3 \text{ Ом}$); R_d – добавочное сопротивление (41,9 Ом)

Для снижения перенапряжений при отключении в схему введен диод VD7.

С момента отключения при неподвижном якоре ток в цепи катушки убывает по экспоненте

$$i = T_2 e^{-t/T_2} \quad (4)$$

и через промежуток, равный времени задержки

$$t_{3,от} = T_2 \ln(I_{y2} / i_{от}), \quad (5)$$

при токе $i_{от}$ начинается отход якоря (t_d), который завершается срабатыванием тормоза – наложением его колодок на шкив.

$$t_{ср.т} = t_{от} = t_{3,от} + t_d \approx t_{3,от}. \quad (6)$$

Форсировка по данной типовой схеме обеспечивает при включении уменьшение времени втягивания якоря для электромагнитов с катушками ТКП-400, -500, -600, -700, -800, соответственно, до 0,5; 0,6; 0,7; 0,9; 1,0 с.

Известно [7], что индуктивность магнитной цепи у электромагнитов при притяннутом якоре $L_2 \gg L_1$, $T_2 \gg T_1$. При этом избыточное тяговое усилие крутых тяговых характеристик уменьшает значение тока в катушке в момент начала обратного хода якоря $-i_{от}$. Уменьшается и значение коэффициента возврата до $K_B = i_{от} / i_{ср} \leq 0,1$, то есть электромагнитное демпфирование якоря при его обратном ходе практически отсутствует, что вызывает удары колодок о шкив при замыкании тормозов типа ТКП.

Рассмотренные недостатки тормозов типа ТКП устранены в разработанных и освоенных в производстве научно-производственным предприятием «Подъемтранссервис» колодочных тормозах ТКПМ-400-2, ТКПМ-500-2 и ТКПМ-600-2 по ТУ 3178-009-11523712-96 [8]. Их механическая часть – рычажное тормозное устройство с замыкающими пружинами заимствована у тормозов типа ТКГ (ТКТГ) по ТУ 3178-004-11523712-94 и ТУ 3178-005-11523712-94. В качестве привода растормаживания применяют длинноходовые электромагнитные толкатели постоянного тока МПТ-400, -500, -600.

Тормоза нового поколения взаимозаменяемы по установочным и габаритным размерам, а также схемам управления с тормозами ТКП-400, -500, -600. Высокий уровень новых тормозов достигнут благодаря оригинальным техническим реше-

ниям [9], принятым в конструкции электромагнитных толкателей. В первую очередь это относится к оптимальной форме и размерам рабочих магнитных зазоров, обеспечивающих соответствие тяговой характеристики электромагнита нагрузочной характеристике от замыкающей пружины тормоза. Рациональное использование тяговой характеристики позволило снизить более чем в два раза материалоемкость новых длинноходовых электромагнитных толкателей по сравнению с соответствующими конструкциями электромагнитов с катушками ТКП, а достижение равномерности радиальных воздушных зазоров в магнитной цепи обеспечило получение значения коэффициента внутреннего трения, не превышающего 0,05.

Использование в конструкции электромагнитного толкателя МПТ-600 регулировочных диамагнитных прокладок между якорем и стопом позволяет изменять величину индуктивности при отключении толкателя L_2 , а также удерживающего усилия, то есть регулировать продолжительность $t_{3,от}$, силу тока $i_{от}$ и обеспечивать высокие значения электромагнитного демпфирования при обратном ходе якоря. Указанное демпфирование дополняется воздействием на якорь пневматического демпфера, компактно размещенного в его конструкции. Благодаря упомянутым решениям электромагнитные толкатели МПТ-400, МПТ-500 и МПТ-600 обеспечивают при работе в составе тормозов ТКПМ-400-2, ТКПМ-500-2, ТКПМ-600-2 необходимое стабильное быстроедействие, сочетающееся с плавностью торможения, соответствующей тормозам типа ТКГ (ТКТГ).

Как показали расчеты, выполненные по известным методикам [7] для толкателей МПТ-600 и магнитов с катушками ТКП-600, снижение материалоемкости обеспечило уменьшение более чем в 2 раза индуктивности МПТ-600 по сравнению с ТКП-600 при разомкнутом магните (L_1). При замкнутым – более чем в 2 ÷ 4 раза за счет использования регулирующей диамагнитной прокладки (L_2).

Из зависимостей (1) – (3) ясно, что существенное уменьшение значений индуктивности L_1 и постоянной времени T_1 при включении катушки в электромагнитных толкателях МПТ-600 обеспечивает соответствующее уменьшение $t_{3,в}$. При форсировке (увеличении I_{y1}) в МПТ-600 происходит увеличение тягового усилия и соответствующее дополнительное уменьшение $t_{3,в}$ [7]. Естественно предположить, что при этом за счет увеличения $i_{ср}$ можно повысить для МПТ-600 нагрузочную характеристику, сохранив его достаточное быстроедействие при растормаживании.

В этом случае, учитывая совпадение установочных и габаритных размеров МПТ-600 с размерами электрогидравлического толкателя ТЭ-200М, являющегося приводом растормаживания тормозов ТКТГ-700, -800, его можно применить в электромагнитных тормозах ТКПМ-700-2, ТКПМ-800-2 с типовой схемой форсировки включения.

В процессе серийного производства в электромагнитном

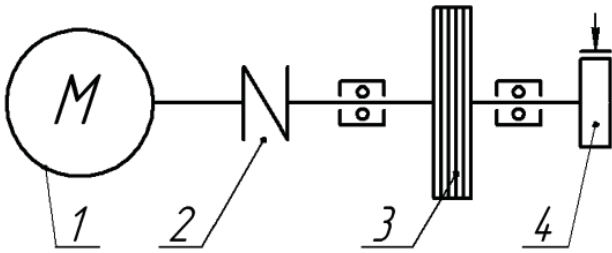


Рис. 2. Схема испытательного стенда:
1 – электродвигатель, 2 – муфта (МУВП),
3 – маховик, 4 – тормоз со шкивом

толкателе МПТ-600 был осуществлен ряд конструктивно-технологических мероприятий, повышающих точность изготовления, качество и надежность отдельных узлов и деталей. Экспериментальные исследования с целью оценки возможности расширения применения МПТ-600 осуществляли на промышленном образце, доработанном с учетом упомянутых усовершенствований.

Исследование образца толкателя МПТ-600 проводили в составе тормоза на специальном стенде (рис. 2).

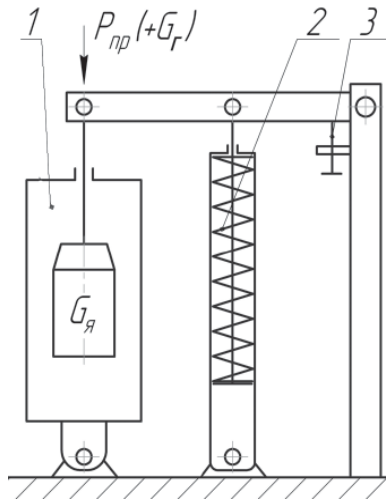


Рис. 3. Схема испытаний:
1 – электромагнитный толкатель;
2 – пружины тормоза;
3 – упор

Величины напряжения и тока контролировали с помощью вольтметра и амперметра.

Усилия до 1840 Н на штоке электромагнитного толкателя

На раме стенда установлен крановый электродвигатель и опоры для вала, на котором закреплены тормозной шкив и маховик, имитирующий воздействие кранового механизма. На раме имеется площадка для размещения тормоза. В состав стенда также входит шкаф управления, схема которого обеспечивает режимы включения-отключения кранового электродвигателя. В схему включен ЛАТР, позволяющий регулировать ток и напряжение цепи катушки электромагнитного толкателя. Величины напряжения и

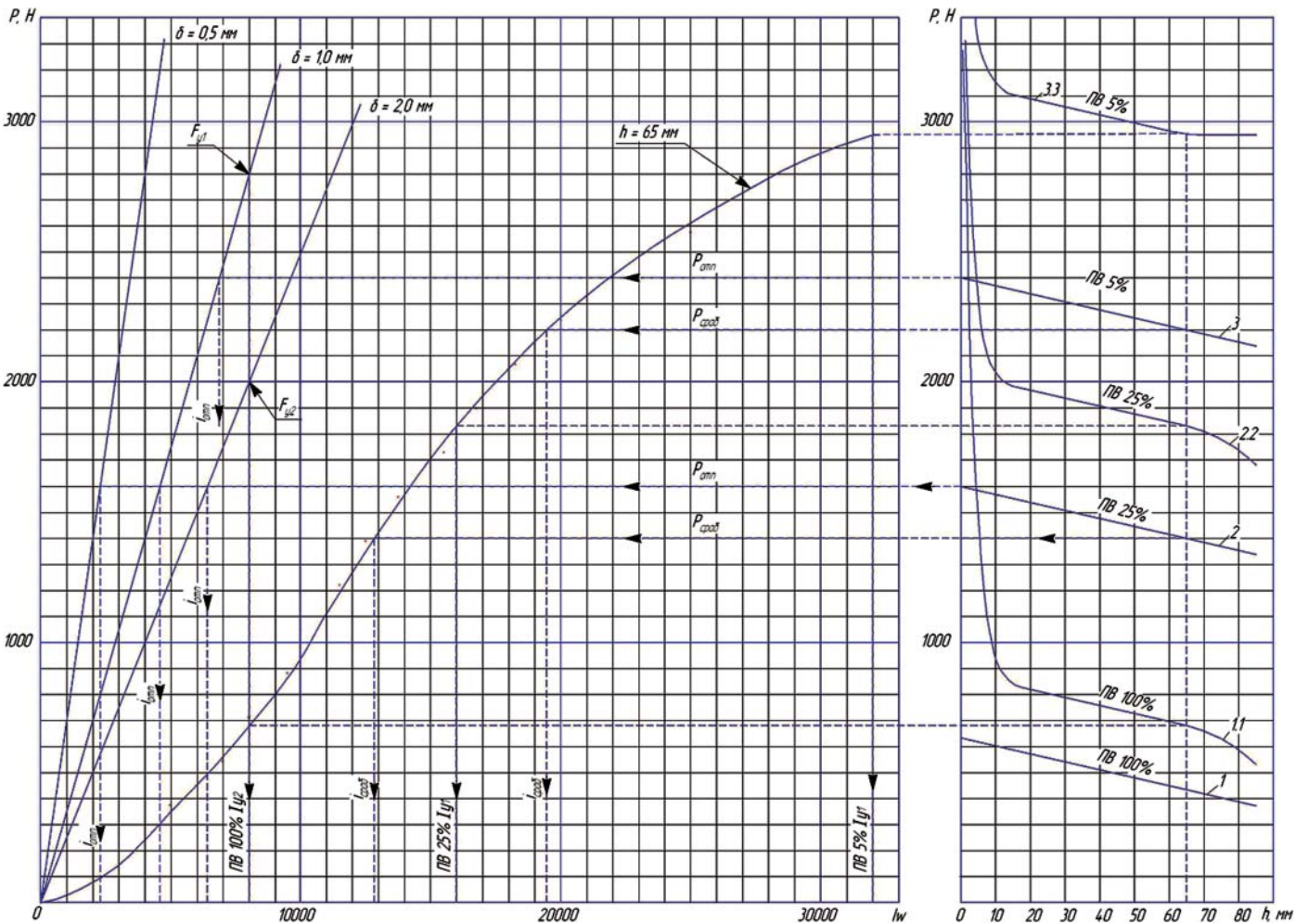


Рис. 4. Силовые характеристики электромагнитного толкателя МПТ-600: а – зависимость тягового усилия P , Н от ампервитков для хода $h = 65$ мм и удерживающего усилия F при толщине диамантных прокладок $\delta = 0,5; 1,0; 2,0$ мм; б – статические тяговые и соответствующие нагрузочные характеристики: 1 - ПВ 100 % ($U_H = 55$ В) - (ТКПМ -600-2); 2 - ПВ 25 % ($U_H = 110$ В) - (ТКПМ -600-2); 3 - форсировка ПВ 5 % ($U_H = 220$ В) - (ТКПМ-800-2)



Таблица 1

Параметры	Значения для вариантов по рис. 4 тяговой характеристики / нагрузки		
	2 / 2.2	3 / 2.2	3 / 3.3
I_{y1}, A	6,4	12,8 форсировка	
i_{cp}, A	5,12	5,12	7,66
$t_{3.B}, c$	0,4*	0,15**	0,25***
t_d, c	1,2	0,45	0,75
t_{cp}, c	1,6	0,6	1,0

* $t_{3.B} = 2,0 c$ – у тормоза ТКП-600 (ПВ 25 %, 110 В);

** $t_{3.B} = 0,7 c$ – у тормоза ТКП-600 (ПВ 25 %, 110 В с форсировкой на 220 В);

*** $t_{3.B} = 1,0 c$ – у тормоза ТКП-800 (ПВ 25 %, 110 В с форсировкой на 220 В).

Примечание. Значения $t_{3.B}$ для тормозов ТКП по каталожным данным приведены для сравнения.

обеспечивали нагрузкой от веса якоря $G_{я}$ и регулируемым усилием от действия тормозных пружин $P_{пр}$. Усилия свыше 1840 Н создавали дополнительными грузами $G_{Г}$ в соответствии со схемой на рис. 3.

Статические тяговые характеристики и зависимость тягового усилия (при $h = 65$ мм) от магнитодвижущей силы катушки (AW) определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 19264 «Электромагниты управления. Общие технические условия». Результаты проведенных испытаний представлены на рис. 4.

На рис. 4 показаны нагрузочные характеристики, полученные для толкателя МПТ-600 в составе тормоза ТКПМ-600-2. Кривые 1.1 при ПВ 100 % и 2.2 при ПВ 25% соответствуют требованиям паспорта и инструкции по эксплуатации испытуемого образца. Кривая 3.3 при форсировке ПВ 5 % для тормоза ТКПМ-800-2 (при $h = 85$ мм, $P = G_{я} + G_{Г} + P_{пр} = 2150 \div 2400$ Н) назначена по результатам моделирования полезной работы, полученной в процессе разработки эскизного проекта тормоза ТКПМ-800-2 с приводом от МПТ-600.

Параметры, определяющие протекание переходных процессов: при включении катушки (процесс растормаживания) – $I_{y1}, i_{cp}, t_{3.B}, t_d, t_{cp} = t_{3.B} + t_d$; при ее выключении (процесс затормаживания) – $I_{y2}, i_{от}, K_B = i_{от} / i_{cp}$.

Результаты испытаний сведены в табл. 1 и 2.

В процессе испытаний электромагнитного толкателя удавалось остановить якорь при включении катушки (растормаживании) и колодок о шкив при ее выключении (затормаживании) не зафиксировано. Движение штока якоря было плавным, без промежуточных замедлений и остановок, быстродействие привода при включении и отключении катушки – стабильным.

Из табл. 1 видно, что $t_{3.B}$ при режимах форсировки с нагрузкой на шток якоря, соответствующей нагрузке при работе в составе тормоза ТКПМ-800-2 (вариант 3.3 на рис. 4) равно 0,25 с., а значение $t_{3.B}$ для тормоза ТКП-800 (с форсировкой на 220 В) составляет 1 с.

Таблица 2

Параметры	Значения для вариантов нагрузочной характеристики по рис. 4		
	2.2	2.3	
I_{y2}, A	3,2 А		
$I_{отп}, A (K_B)$	$\delta = 1$	1,8(0,16)	2,8 (0,366)
	$\delta = 2$	2,5 (0,49)	-

Испытания подтвердили результаты выполненного в статье анализа переходных процессов и возможность использования электромагнитного толкателя МПТ-600 при типовых схемах форсировки в составе тормозов ТКПМ-700-2 и ТКПМ-800-2.

Полученные результаты, наряду с положительным опытом эксплуатации тормозов с электромагнитными толкателями, могут служить основанием для их широкого использования в проектах современных подъемно-транспортных машин.

Литература

1. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 2 / М.П. Александров, М.М. Гохберг, А.А. Ковин и др.; общ. ред.: М.М. Гохберг. – М.: Машиностроение, 1988. – 559 с.
2. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 2 / А.А. Ананьев, А.Л. Алейнер, Н.А. Баранов и др.; ред.: А.И. Дукельский. – М.: Машиностроение, 1973. – 472 с.
3. Александров М.П. Тормоза подъемно-транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1976. – 383 с.
4. Певзнер Е.М., Попов Е.В., Аксенов М.И., Онищенко Г.Б. Электрооборудование грузоподъемных кранов. – М.: Россельхозакадемия, 2009. – 360 с.
5. Костромин А.Д., Сай Е.Б., Карасев Д.А., Ивашков Н.И. Крановые электромагнитные тормоза повышенной надежности для опасных производственных объектов // Подъемно-транспортное дело. – 2009. – № 5-6. – С. 15-16.
6. Костромин А.Д., Горобец Г.А., Ивашков Н.И. Особенности проектирования и выбора компонентов привода крановых механизмов // Подъемно-транспортное дело. – 2009. – № 4. – С. 4-9.
7. Соколов С.Н. Расчет и конструирование низковольтной электрической аппаратуры. – М.: Высшая школа, 1981. – С. 165-181.
8. Ивашков Н.И., Костромин А.Д., Карасев Д.А. и др. Тормоза с электромагнитными толкателями для приводов подъемно-транспортных машин // Подъемно-транспортное дело. – 2011. – № 2. – С. 2-4.
9. Костромин А.Д. Электромагнит // Патент РФ на изобретение № 2111573 от 20.05.96 г.

Контактные данные авторов. Тел. (phone): 495-993-10-25, - 26; e-mail: pts@npp-pts.ru.