

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ВЫБОРА КОМПОНЕНТОВ ПРИВОДА КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

**Александр Дмитриевич КОСТРОМИН**, генеральный директор, канд. техн. наук

**Галина Александровна ГОРОБЕЦ**, главный конструктор

ООО НПП «Электрические аппараты», г. Бендеры (Молдова)

**Николай Ильич ИВАШКОВ**, генеральный директор, канд. техн. наук

ООО НПП «Подъемтранссервис», Московская обл.

*Рассмотрены новые методики проектирования, особенности выбора, испытаний и эксплуатации блоков резисторов, электромагнитов и электрогидравлических толкателей привода колодочных тормозов.*

Пуско-тормозные блоки резисторов, входящие в схемы управления крановых электродвигателей, а также электрогидравлические толкатели и электромагниты привода тормозов относятся к компонентам, играющим важную роль в формировании переходных процессов и динамики пуска и торможения, и заметно влияют на качество, надежность и безопасность работы крановых механизмов. Параметры указанных компонентов должны обеспечивать оптимальное выполнение приводом заданных функций при проведении подъемно-транспортных операций, что является главной целью и отличительной особенностью проектирования и выбора элементов кранового привода.

Для обеспечения этих требований при разработке новых современных типов и расширенных рядов тормозов и крановой аппаратуры НПП «Подъемтранссервис» и НПП «Электрические аппараты» в течение ряда последних лет провели целый комплекс работ, включающий:

сбор и анализ данных по эксплуатации комплектующих в составе грузоподъемных машин, учет требований и замечаний организаций, проектирующих краны;

теоретические и экспериментальные исследования физических явлений и переходных процессов в кранах, их механизмах и элементах с разработкой критериев оценки и номенклатуры нормируемых параметров.

В результате этого была получена

основа для поиска и отработки конструктивных решений, повышающих технический уровень комплектующих элементов, созданы конструкции тормозов и аппаратов, отличающиеся существенной новизной [1 - 3, 5 - 7].

Из опыта сотрудничества с организациями, проектирующими краны, установлено, что введение в проекты привода новых типов комплектующих затруднено из-за отсутствия достоверных исходных данных и согласованных методик расчета, а также инженерных методов оценки их соответствия конкретным условиям работы в составе кранов. Решение указанной проблемы будет способствовать повышению технического уровня грузоподъемной техники.

### Крановые блоки резисторов.

Как показывает практика, для введения в документацию кранового электропривода современных блоков резисторов

Б6М, Б3 [1] такие достоверные исходные данные необходимы даже при использовании разработанной в НПП «Электрические аппараты» уточненной методики тепловых расчетов по двух-массовой системе с тепловым разрывом для повторно-кратковременных и кратковременных режимов. По этой методике при расчетах, определяющих комплектацию электропривода блоками резисторов, предложено постоянную времени нагрева блока находить по формуле

$$T_{pn} = (1 + B_p / K_n) \cdot T_a,$$

где  $T_a$  – постоянная времени нагрева резистивного элемента, в котором происходит выделение тепла;  $K_n$  – коэффициент перегрузки по току – отношение тока повторно-кратковременного и кратковременного режимов к току продолжительного (установившегося) режима ( $K_{пкр} = I_{пкр} / I_y$ ,  $K_{кр} = I_{кр} / I_y$ );

$$B_p = b_k \cdot B = b_k \cdot (C_n + C_d) / C_a,$$

где  $C_n$ ,  $C_d$ ,  $C_a$  – теплоемкости изоляторов, держателя и резистивного элемента,  $b_k$  – отношение температур перегрева каркаса и активного элемента в установившемся режиме.

При  $K_n = 1$   $T_{pn}$  равна постоянной времени нагрева  $T_p$  при установившемся режиме ( $I_y$ ).

Приведенные в таблице исходные данные для расчета схем электропривода впервые в практике тепловых расче-

Сечение фехрала и количество витков	R, Ом	I, А	P, Вт	T <sub>a</sub> , с	T <sub>p</sub> , с (K <sub>неп</sub> = 1)	B <sub>p</sub>
1,5×12×9×2*	0,082	117	1122	89	176	0,987
1,5×12×11×2*	0,100	105	1103	110	199	0,808
1,5×10×14×2*	0,150	83	1033	127	227	0,781
1,1×10×14×2*	0,206	74	1128	84	174	1,065
1,6×15×18	0,257	66	1119	126	216	0,714
1,5×12×18	0,331	59	1152	89	176	0,987
1,5×12×22	0,404	53	1135	110	199	0,808
1,5×10×28	0,603	41	1014	127	227	0,781
1,1×10×28	0,822	37	1125	84	174	1,065
0,8×8×22	1,081	30	973	43	147	2,389
0,8×8×28	1,377	25	861	62	180	1,877

\* цифра 2 соответствует двойной ленте



тов позволяют доступным инженерным методом обеспечить оптимальный выбор комплекта современных блоков резисторов.

**Колодочные тормоза с электромагнитным приводом.** При проектировании и выборе колодочных тормозов и электромагнитов оценку их соответствия специфическим требованиям работы в составе привода крановых механизмов с учетом рекомендаций НПП «Подъемтранссервис» и НПП «Электрические аппараты» [2, 3] следует производить с использованием показателя (критерия) комплексной добротности тормоза

$$D_{Т.к} = K \cdot D_T = K \cdot M_T \cdot \epsilon_{\max} / m_T,$$

где  $D_T$  – добротность тормоза,  $M_T$  – тормозной момент,  $\epsilon_{\max}$  – максимальный отход колодок,  $m_T$  – масса тормоза,  $K$  – коэффициент весомости, учитывающий влияние тормоза и электромагнита на динамику торможения, ресурсные показатели и надежность, при проектировании рекомендуется считать его равным коэффициенту возврата электромагнита  $K_B = I_B / I_{cp}$ , характеризующему отношение токов катушки, при которых начинается обратное при ее отключении и прямое при включении движение якоря.

Коэффициент возврата электромагнита оценивает уровень электромагнитного демпфирования силы удара тормозных колодок о шкив тормоза при его замыкании. Значение этого коэффициента в зависимости от конструкции и схемы управления электромагнита находится в диапазоне от 0,01 до 0,7. Он также косвенно оценивает соответствие тяговой и нагрузочной характеристик, уменьшение тягового усилия якоря от воздействия силы внутреннего трения  $F_T$ , действующей на шток и якорь в электромагнитах с втяжным якорем и проходным фланцем. Последнее имеет особое значение при проектировании и выборе электромагнитов для управляемых тормозов. При наложении колодок на шкив тормоза обеспечение

управляемого или программируемого торможения регулированием тока  $I_B$  в катушке электромагнита (в сторону уменьшения или увеличения) затруднено, поскольку изменение тягового усилия  $F$  на якоре меньше  $F_T$ , оно не гарантирует соответствующего изменения усилия нажатия колодок. Поэтому для таких тормозов коэффициент весомости  $K = K_B \cdot (1 - F_T / F)$ .

В результате проведенного НПП «Электрические аппараты» теоретического анализа и экспериментальных исследований установлено, что, в первом приближении,  $F_T$  определяется зависимостью

$$F_T = K_k \cdot f \cdot B_{cp}^2 \cdot S_B \cdot e / 2\mu_0 \Delta,$$

где  $K_k$  – коэффициент, определяемый местом приложения неуравновешенных электромагнитных сил и конструктивными размерами;  $f$  – коэффициент трения пары втулка (шток) или втулка (якорь);  $B_{cp}$  – среднее значение индукции в зазоре между якорем и проходным фланцем;  $S_B$  – площадь поверхности якоря в области зазора;  $e$  – эксцентриситет оси якоря и отверстия проходного фланца;  $\Delta$  – номинальное значение радиального зазора;  $\mu_0$  – магнитная проницаемость воздуха.

Выполненные испытания показали, что при  $e/\Delta = 0,35$  отношение силы внутреннего трения к тяговому усилию  $F_T / F = 0,25$ , а при  $e/\Delta = 0,1$   $F_T / F \leq 0,05$ .

Таким образом, учет влияния внутреннего трения в тормозных электромагнитах позволяет на стадии проектирования за счет конструктивных параметров ( $K_k, e/\Delta$ ) обеспечивать минимальные значения  $F_T$ , т. е. увеличивать  $D_{Т.к.}$ , а при выборе комплектующих осуществлять их объективную оценку.

Специфическим требованием, определяющим надежность и ресурсные показатели электромагнитного тормоза и электросхемы привода в целом, является необходимость проверки влияния форсировки на скорость нагрева обмоточных проводов катушек электромагнита и на другие элементы схем управле-

ния. При скоростях нагрева обмоточного провода, превышающих 2 - 4 °С/с, по данным [4], на порядок снижаются ресурсные показатели и надежность аппарата.

При определении скорости нагрева форсируемых катушек необходимо применять вышеуказанную методику тепловых расчетов (многомассовую модель с тепловым разрывом). При форсировании с коэффициентом форсировки (перегрузки по току) значительно больше двух тепловая энергия, выделяемая в обмоточных проводах в течение импульса форсировки  $t_{\phi}$ , из-за наличия тепловых разрывов практически не успевает перейти в корпус и фланцы электромагнита. Таким образом, за время форсировки скорость нагрева определяется зависимостью

$$v_n = I_{\phi}^2 \cdot R_k / m \cdot c = P_{\phi} / m \cdot c,$$

где  $I_{\phi}$  – ток форсировки;  $R_k$  – сопротивление холодной катушки;  $m$  – масса обмоточного провода;  $P_{\phi}$  – мощность форсировки;  $c = 390$  Дж/кг – удельная теплоемкость медного обмоточного провода.

В настоящее время в эксплуатации находятся тормоза ТКТ-100, 200, 300/200 с электромагнитами серии МО переменного тока, а также короткоходные электромагниты тормозов, встроенных в конструкцию электродвигателей [5]. В общем случае, ток катушки переменного тока

$$I = U / \sqrt{R^2 + (\omega L)^2},$$

где  $R$  – активное сопротивление катушки,  $\omega L$  – индуктивное сопротивление катушки,  $\omega$  – круговая частота переменного тока,  $L = G W^2$  – индуктивность катушки,  $G$  – проводимость магнитной системы,  $W$  – число витков.

Известно, что проводимость системы в момент пуска (срабатывания)  $G_{cp}$  во много раз меньше проводимости замкнутой магнитной системы  $G_y$ . Следовательно,  $I_{cp} \gg I_y > I_B$ .

При этом вся энергия тормозной пружины превращается в кинетическую энергию удара колодок, что приводит к максимальным динамическим нагруз-

кам и рывкам в крановых механизмах, ухудшает условия проведения подъемно-транспортных операций, уменьшает ресурсные показатели тормоза и крана.

Следовательно, без применения специальных демпфирующих элементов указанные типы электромагнитов функционально непригодны к применению в крановых механизмах, т. к. они не учитывают специфические требования подъемно-транспортной техники.

Форсируемые электромагниты серии КЭП постоянного тока, катушки которых включаются напряжением 220 - 380 В, а напряжение удерживания якоря составляет 18 - 24 В, характеризуются тем, что  $K_B$  примерно равно 0,03 - 0,06, а скорости нагрева обмоточного провода катушек при форсировке отдельных исполнений близки к предельно допустимым значениям. Поэтому магниты КЭП также функционально непригодны к работе в составе крановых тормозов.

Этот вывод косвенно подтверждается данными ЗАО «Спецтехноприбор» (г. С-Петербург), обобщающими опыт эксплуатации магнитов КЭП в приводах тормозов эскалаторов метрополитена.

Короткоходовые электромагниты постоянного тока МП101, 201, 301, 400, 500, 600, 700, 800 с клапанным (плоским) якорем имеют крутую тяговую характеристику с большим превышением тягового усилия по сравнению с нагрузкой тормозной пружины в конце хода якоря. Это приводит к нерациональному увеличению массы электромагнита, а у тормозов ТКП с магнитами серии МП - к низким значениям  $K_B = 0,1 - 0,15$  и, как следствие, к большим динамическим нагрузкам в приводе механизмов. Указанный конструктивный недостаток магнитов МП оценивается соответствующим уменьшением добротности электромагнита  $D_a$  и комплексной добротности тормоза  $D_{т.к.}$ .

С учетом специфических требований обеспечения заданных функций при проведении подъемно-транспортных операций НПП «Подъемтранссервис» взамен тормозных электромагнитов МП

разработало серию магнитов МПТ108, 212, 317 (для тормозов ТКП) и МПТ400, 500, 600 (для тормозов ТКПМ). Тормоза с этими электромагнитами взаимозаменяемы с тормозами ТКП, укомплектованными магнитами МП. В новых магнитах оригинальные технические решения, запатентованные в России, позволили снизить коэффициент внутреннего трения по сравнению с предшествующими аппаратами с 0,25 до 0,05, добиться практического совпадения тяговой и нагрузочной характеристик, повысить ресурсные показатели до 10 млн. циклов включения-отключения. В тормозах с магнитами МПТ  $K_B = 0,25 - 0,6$ , и они обеспечивают главное торможение.

В новых тормозах ТКПМ-400, 500, 600 для металлургических кранов коэффициент возврата  $K_B = 0,4 - 0,5$  обеспечивает снижение динамических нагрузок при торможении до уровня, имеющего место в тормозе с электрогидравлическим приводом. Масса тормозов ТКПМ в 2 - 2,5 раза меньше, чем у тормозов ТКП [6].

Новое поколение рассматриваемых тормозов может быть рекомендовано для приводов систем непрерывного транспорта и создания систем управляемого торможения.

**Колодочные тормоза с электрогидравлическим приводом для механизмов подъема.** В совместных работах НПП «Подъемтранссервис» и НПП «Электрические аппараты» в области совершенствования конструкций и расширения типоразмерных рядов колодочных тормозов ТКГ-160, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 и электрогидравлических толкателей серии ТЭ впервые в практике проектирования разработаны критерии оценки параметров тормозов механизмов подъема и методика определения (нормирования) просадки груза [7]. Установлено, что просадка груза определяется кинематической схемой привода, массой груза и временем срабатывания тормоза ( $t_{ср.}$ ). Последнее принимается равным времени обратного

хода штока толкателя

$$t_o = t_{сп} + t_{выб} + t_{оп},$$

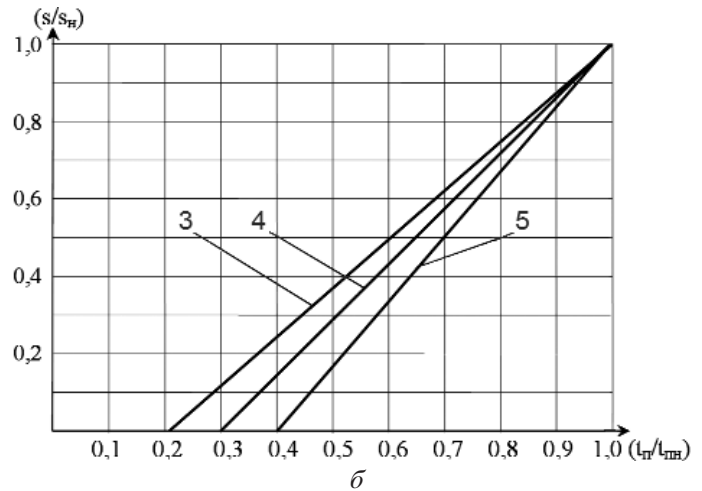
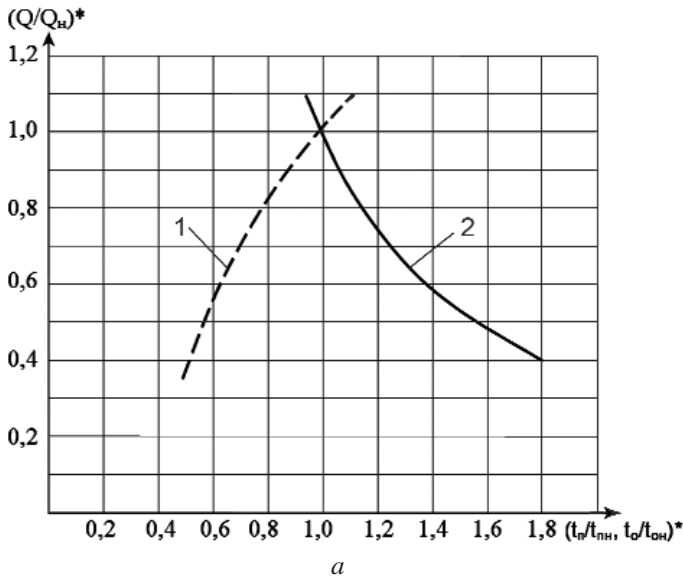
где  $t_{сп}$  - время спада напряжения при отключении электродвигателя толкателя,  $t_{выб}$  - время выбега рабочего колеса толкателя (время уменьшения частоты вращения рабочего колеса до начала опускания поршня),  $t_{оп}$  - собственное время обратного хода.

Ранее время обратного хода толкателя определялось на грузовом стенде, в котором вес груза принимался равным номинальному усилию толкателя. Однако, при работе в составе тормоза на шток толкателя через рычаг тормоза передается нагрузка от тормозной пружины, которая, с учетом шарнирного трения ( $f$ ) тормоза, при ходе вверх изменяется от  $Q = Q_1 (1 + f)$  до  $Q = Q_2 (1 + f)$ , где  $Q_1$  - нагрузка от пружины в нижнем положении,  $Q_2$  - нагрузка от пружины в верхнем положении. При обратном ходе эта нагрузка изменяется от  $Q = Q_2 (1 - f)$  до  $Q = Q_1 (1 - f)$ . Таким образом,  $t_{он}$ , найденное по старой методике при неизменном номинальном усилии, не соответствовало реальным значениям времени срабатывания тормоза.

В предложенной методике временные параметры определяют на стендах, имитирующих работу толкателя в составе тормоза. Имитация характера нагрузки на шток толкателя производится подбором жесткости пружины стенда, при этом в стенде предусмотрены регулировки хода штока толкателя и величины нагрузки. Время обратного хода толкателя  $t_{он}$ , полученное по новой методике, дает достоверные данные при номинальных значениях хода ( $S_H$ ) и нагрузки ( $Q_H$ ).

В условиях эксплуатации ход штока толкателя  $S$  в зависимости от конструкции тормоза, износа колодок, нагрева шкива изменяется в пределах  $(0,2 - 0,95) S_{ном}$ , а нагрузка на шток толкателя, в зависимости от регулировки тормозной пружины, находится в пределах  $(0,3 - 1,0) Q/Q_H$ .

Для определения времени срабатывания тормоза во всем диапазоне тор-



\* Параметры указаны в относительных величинах к номинальным значениям нагрузки на шток  $Q_H$ , хода штока  $S_H$  и времени подъема  $t_{HH}$  и обратного хода  $t_{OH}$

Зависимости времени подъема  $t_{HH}$  и обратного хода штока толкателя  $t_{OH}$  от нагрузки  $Q$  на штоке толкателя (а) и величины хода штока  $s$  от верхнего положения (б): 1- подъем, 2 – обратный ход, 3 – ход штока 90 мм; 4 - ход штока 50, 60 мм; 5 – ход штока 32 мм

моментов (нагрузок  $Q$ ) и ходов штока толкателя  $S$  совместно с рычагом тормоза используются полученные в результате обработки эмпирических данных графические зависимости  $t_{cp} = t_o = f(Q/Q_H, S/S_H)$ , приведенные на рисунке. Последние вместе с вышеуказанной методикой определения  $t_{OH}$  введены в нормативную документацию толкателей серии ТЭ и позволяют определять  $t_{cp} = t_o$  с учетом специфических условий работы толкателя в составе тормоза.

Предложенные дополнения и уточнения существующих методов проектирования и выбора комплектующих электропривода способствуют развитию и совершенствованию крановой электроаппаратуры, блоков резисторов, колодочных тормозов с электромагнитами и

электрогидравлическим приводом, их эффективному применению в современной подъемно-транспортной технике.

### Литература


1. Костромин А.Д., Горобец Г.А. Развитие модельного ряда и методов расчета блоков резисторов. Подъемно-транспортное дело, 2009, № 2, с. 5 – 8.
2. Костромин А.Д., Ивашков Н.И., Юнгер В.С. Совершенствование и критерии оценки колодочных тормозов с электромагнитным приводом. Тяжелое машиностроение, 1998, № 3, с. 8 - 11.
3. Костромин А.Д., Ивашков Н.И., Горобец Г.А. Привод тормозов, обеспечивающий безопасность и снижение ди-

намических нагрузок. Подъемно-транспортное дело, 2007, № 6, с. 5 – 8.

4. Яуре А.Г., Певзнер Е.М. Крановый электропривод. Справочник. Москва, Энергоатомиздат, 1988.

5. Абрамович И.И., Березкина Ю.В., Ивашков Н.И., Костромин А.Д. Безопасность кранов на рельсовых путях. Подъемно-транспортное дело, 2009, № 1, с. 6 – 8.

6. Израйлевич М.Л., Костромин А.Д. Уральский подъемно-транспортный конгресс. Подъемно-транспортное дело, 2007, № 6, с. 22 - 28.

7. Ивашков Н.И., Костромин А.Д., Горобец Г.А. Нормирование просадки груза в крановых механизмах. Подъемно-транспортное дело, 2007, № 1, с. 2 – 6. 

## ТОРМОЗА ДЛЯ КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ И ПОВОРОТА ТКГ-160-1, ТКГ-200-1 и ТКГ-300-1

[www.npp-pts.ru](http://www.npp-pts.ru)



 Научно-производственное предприятие  
**ПОДЪЕМТРАНССЕРВИС**

По установочным размерам унифицированы с тормозами ТКГ-160, ТКГ-200 и ТКГ-300.

Обеспечивают плавное ступенчатое торможение механизмов благодаря регулируемому демпфирующему устройству электрогидравлического толкателя ТЭ-30РД.

Согласно РД 24.010.102-01 рекомендованы Ростехнадзором в качестве средства защиты кранов от ветровых воздействий.

Тел./факс: (495) 993-06-13, -14; 993-10-25, -26; 967-69-82, -84

E-mail: [pts@npp-pts.ru](mailto:pts@npp-pts.ru)