

# ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ ТОРМОЗАМИ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ ТОЛКАТЕЛЯМИ

**Анатолий Иванович СМОЛЬЯКОВ, технический**

**директор**

ООО НПП «Подъемтранссервис», Московская область



В 1971 году окончил МВТУ имени Н.Э. Баумана по кафедре «Подъемно-транспортные машины и оборудование», работал на кафедре и учился в аспирантуре под руководством профессора М.П. Александрова. С 1982 г. работал старшим научным сотрудником, заведующим сектором стендовых испытаний и заведующим отделом землеройно-транспортных машин Центрального научно-испытательного полигона – филиала ВНИИСтройдормаш, с 2004 г. - генеральным директором ООО «Землеройно-транспортные машины «Сервис». С 2016 года – технический директор ООО НПП «Подъемтранссервис». Почетный машиностроитель (2003).

**Результаты исследования и обоснование эффективности системы регулирования скорости механизмов подъема кранов с использованием тормозов с электромеханическими центробежными толкателями.**

**Ключевые слова:** краны, механизмы подъема и передвижения, регулирование скоростей, тормоза с электромеханическими центробежными толкателями.

Скорости подъема груза у современных мостовых и козловых кранов достигают 0,5 - 0,7 м/с, у порталных и башенных – 1,2 - 1,5 м/с. Еще более высокими являются скорости передвижения кранов. При этом в разнообразных условиях эксплуатации нередко возникает необходимость изменения скоростей движения. Глубокое регулирование скоростей, как правило, достигается за счет применения довольно сложных и дорогостоящих систем управления электроприводом, например, цифровых, тиристорных, частот-

ных и др. Однако у большинства грузоподъемных кранов, обслуживающих разнообразные технологические процессы производственных предприятий и складов, для повышения точности позиционирования груза и уменьшения динамических нагрузок при остановке на практике бывает достаточно помимо основной иметь лишь одну пониженную скорость.

В данной статье рассматривается система регулирования скорости крановых механизмов тормозами с электромеханическими центробежными толкателями (ЭМЦТ) при работе на пониженной скорости. Тормоз с ЭМЦТ представлен на рис. 1, а механическая часть такого толкателя – на рис. 2.

Конструкция ЭМЦТ достаточно хорошо исследована В.И. Остапенко [1 - 3], выявившим ряд существенных преимуществ ЭМЦТ по сравнению с электрогидравлическими толкателями (ЭГТ). Характеристики ЭМЦТ практически не зависят от температуры окружающей среды и положения в простран-

стве. Возможность реализации в них больших усилий по сравнению с ЭГТ позволяет создать тормоза с простой рычажной системой и небольшим, менее 2,5, передаточным отношением между штоком толкателя и колодками.

При включении двигателя 1 толкателя (см. рис. 2) начинают вращаться вилки 2 и 4 вместе с грузами 3. Грузы 3 под действием центробежных сил расходятся, перемещая вилку 4 и подвижную часть 5 толкателя в горизонтальном направлении относительно корпуса, при этом преодолевается усилие пружины и тормоз размыкается.

Работа системы регулирования происходит следующим образом. Для получения пониженной скорости спуска груза приводной двигатель механизма подъема включается на спуск, в цепь его ротора включаются резисторы с большим сопротивлением. Электродвигатель толкателя подключается через согласующий трансформатор в цепь ротора приводного двигателя. В момент включения приводного двигателя, в цепи его ротора появляется напряжение частотой 50 Гц. Согласующий трансформатор в этом положении обеспечивает на двигателе ЭМЦТ номинальное напряжение. Тормоз размыкается и начинается опускание груза. При увеличении скорости вращения приводного двигателя, уменьшается частота и напряжение в цепи его ротора, что приводит к уменьшению частоты вращения двигателя ЭМЦТ. При этом центробежные грузы начинают сходить, тормоз начинает замыкаться и притормаживать приводной вал электродвигателя привода. В некотором положении момент тормоза становится равным сумме моментов приводного двигателя и момента от груза, приведенного к валу двигателя. Начинается движение с

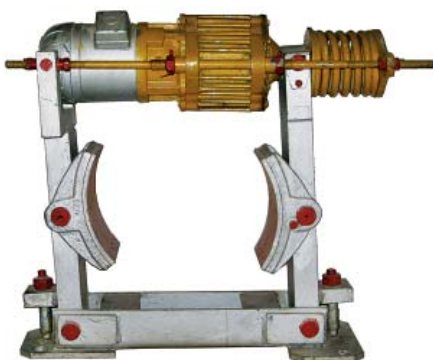


Рис. 1. Общий вид тормоза

пониженной (посадочной) скоростью. Таким образом, обеспечивается простая и эффективная система автоматического регулирования скорости, которая может быть применена не только на вновь изготавливаемых, но и на находящихся в эксплуатации кранах при их минимальной доработке.

В отличие от сложных и дорогостоящих систем регулирования, данная система, благодаря своей простоте не требует дорогостоящего высококвалифицированного обслуживания. Кроме того, при отключении механизма подъема при движении на спуск груза практически отсутствует «проездка» груза, поскольку тормоз уже находится в замкнутом положении. Недостаток системы, связанный с возможностью повышенного износа тормозных накладок, не очень существенный, так как работа на пониженной скорости является кратковременной и торможение осуществляется с пониженной частотой вращения.

Эффективность систем с притормаживанием вращающихся валов подтверждается их широким использованием в автомобилях в антипробуксовочных системах, а также в системах курсовой устойчивости, обеспечивающих в процессе движения автоматическое притормаживание одного или нескольких колес.

Частота тока в цепи ротора приводного двигателя  $f_p$  определяется зависимостью

$$f_p = f_n(1 - \omega_p/\omega_c) \quad (1)$$

где  $f_n$  - частота сети 50Гц,  $\omega_p$  - частота вращения ротора,  $\omega_c$  - синхронная частота вращения приводного двигателя, определяемая числом пар полюсов.

Напряжение частотой  $f_p$  будет и на двигателе ЭМЦТ. При этом автоматически поддерживается в достаточно широких пределах соотношение  $U_p/f_p = const$ , где  $U_p$  - напряжение на роторе приводного двигателя.

Расчетная схема ЭМЦТ представлена на рис. 3. Его механическая часть имеет две степени свободы, поэтому для составления уравнений необходимо выбрать две обобщенные координаты. Наиболее удобными являются:  $\varphi$  - угол поворота вилок 1 и 3 вместе с ротором двигателя ЭМЦТ и  $h$  - величина перемещения штока толкателя. Тогда уравнения Лагранжа могут быть записаны в следующем виде

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} - \frac{\partial T}{\partial \varphi} &= Q_\varphi, \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{h}} - \frac{\partial T}{\partial h} &= Q_h, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $T$  - кинетическая энергия толкателя,  $Q_\varphi$  и  $Q_h$  - обобщенные силы, действующие по координатам  $\varphi$  и  $h$ .

Обобщенные силы определяются из выражений для эле-

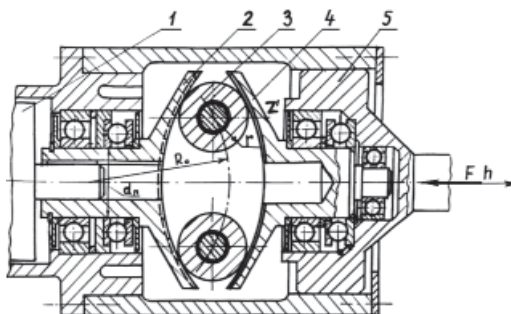


Рис. 2. Механическая часть толкателя

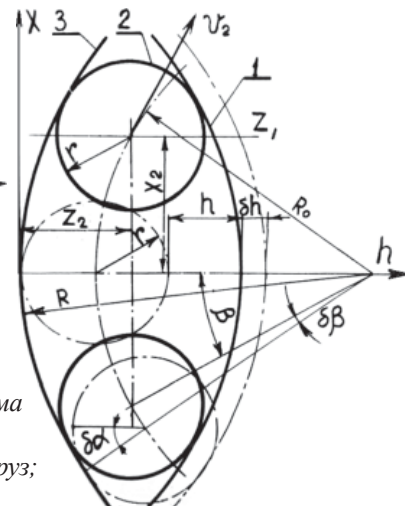


Рис. 3. Расчетная схема ЭМЦТ:

1 - ведомая вилка; 2 - груз;  
3 - приводная вилка

ментарных работ  $\delta A_\varphi$  и  $\delta A_h$  соответственно на бесконечно малых перемещениях  $\delta\varphi$  и  $\delta h$

$$\begin{aligned} \delta A_\varphi &= [M_{ДТ}(\dot{\varphi}, f, U) - M_{ТС}(\dot{\varphi}, F)]\delta\varphi, \\ \delta A_h &= -[F - (F_{Ш} + 2F_T)\text{sign}h]\delta h. \end{aligned} \quad (3)$$

Выражения для обобщенных сил будут иметь следующий вид

$$\begin{aligned} Q_\varphi &= M_{ДТ}(\dot{\varphi}, f, U) - M_{ТС}(\dot{\varphi}, F), \\ Q_h &= -F + (F_{Ш} - 2F_T)\text{sign}h, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $M_{ДТ}(\dot{\varphi}, f, U)$  - крутящий момент на валу двигателя ЭМЦТ, являющийся в общем виде функцией частоты вращения  $\dot{\varphi}$  и напряжения тока статора двигателя  $U$ ;

$M_{ТС}(\dot{\varphi}, F)$  - момент сопротивления вращению и усилия  $F$ , приложенного к штоку ЭМЦТ;

$F_{Ш}$  - сила трения штока о корпус ЭМТ при поступательном движении штока,

$F_T$  - сила трения груза, приведенная к направлению перемещения штока толкателя.

Приведение момента сопротивления движению центробежного груза к силе трения  $F_T$  осуществляется из условия равенства работ, совершаемых моментом от сил трения  $M_{ТР}$  при повороте груза на угол  $\delta\varphi$  и силой  $F_T$  толкателя при перемещении штока на величину  $\delta h$

$$F_T \delta h = M_{ТР} \delta\alpha, \quad (5)$$

где  $F_T$  - усилие на штоке толкателя. Проведя соответствующие преобразования, получаем

$$F_T = M_{ТР} \cdot \frac{R_0 \cdot r}{R_0 \cdot \sin \beta}. \quad (6)$$

Кинетическая энергия толкателя  $T$  может быть представлена в виде  $T = T_1 + 2T_2 + T_3 + T_4$ , где составляющие кинетические энергии:  $T_1$  - вилок 1,  $T_2$  - центробежного груза,  $T_3$  - вилок 3 вместе с ротором двигателя,  $T_4$  - элементов толкателя при поступательном движении. Проведя необходимые преобразования, получим выражение для кинетической энергии

$$\begin{aligned} T &= [J_1 + 2 \cdot J_2 + J_3 + 2 \cdot m_2 \cdot (R_0 \cdot h - \frac{h^2}{4})] \cdot \frac{\dot{\varphi}^2}{2} + \\ &+ [\frac{m_1 \cdot m_3}{m_1 + m_3} + \frac{m_2 \cdot R_0^2}{2 \cdot (R_0 \cdot h - \frac{h^2}{4})} + \frac{J_2 \cdot R_0}{2 \cdot r \cdot (R_0 \cdot h - \frac{h^2}{4})}] \cdot \frac{\dot{h}^2}{2}. \end{aligned} \quad (7)$$

После определения выражений для левых частей уравнений Лагранжа и их подстановки получим систему дифференциальных уравнений, описывающих движение штока ЭМЦТ

$$J \cdot \ddot{\varphi} + 2 \cdot m_2 \cdot \ddot{b} \cdot \dot{\varphi} \dot{h} = M_{ДТ}(\dot{\varphi}, f, U) - M_{ТС}(F, \dot{\varphi});$$

$$m \cdot \ddot{h} + \left(m_2 + \frac{J_2}{r^2}\right) \cdot \frac{R_0^2 \cdot b}{4 \cdot a^2} \cdot \dot{h}^2 - m_2 \cdot b \cdot \dot{\varphi}^2 = -F + (F_{III} + 2 \cdot F_T) \operatorname{sign} \dot{h},$$

где

$$J = J_1 + J_3 + 2 \cdot J_2 + 2 \cdot m_2 \cdot a;$$

$$m = \frac{m_1 \cdot m_3}{m_1 + m_3} + m_2 \cdot \frac{R_0^2}{a} + J_2 \cdot \frac{R_0^2}{2 \cdot r^2 \cdot a};$$

$$a = R_0 \cdot h - \frac{h^2}{4}; \quad b = R_0 - \frac{h}{2}.$$

Система уравнений является нелинейной и неоднородной. Проведя линеаризацию уравнений и исключая члены, порядок малости которых выше второго, получаем систему линейных уравнений в отклонениях переменных

$$J \cdot \Delta \ddot{\varphi} + 2 \cdot m_2 \cdot b_0 \cdot \dot{\varphi}_0 \cdot \Delta \dot{h} = \Delta M_{ДТ} - \Delta M_{ТС}$$

$$m \cdot \Delta \ddot{h} - 2 \cdot m_2 \cdot b_0 \cdot \dot{\varphi}_0 \cdot \Delta \dot{\varphi} - m_2 \cdot \frac{\dot{\varphi}_0^2}{2} \cdot \Delta h = -c \cdot \Delta h,$$

где  $b_0$  подсчитано при значении хода штока  $h_0$ .

Используя известные зависимости и проведя дальнейшие преобразования, сведем систему уравнений к одному уравнению

$$\tau_3^3 \cdot \Delta \dot{h}^{(3)} + \tau_2^2 \cdot \ddot{h} + \tau_1 \cdot \dot{h} + \Delta h = K_1 \cdot \Delta f. \quad (10)$$

Коэффициенты  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  представляют собой постоянные времени, характеризующие инерционность ЭМЦТ. Коэффициент передачи  $K_1$  характеризует крутизну его статической характеристики. В установившемся режиме, когда все производные становятся равными нулю,  $K_1 = \Delta h / \Delta f$ . Решение уравнения может быть получено и проанализировано для входного воздействия типа единичной функции

$$\Delta h = k_1 \cdot \Delta f - [A \cdot e^{-\gamma_1 t} + B \cdot (\cos \lambda t + c \cdot \sin \lambda t) \cdot e^{-\gamma_2 t}], \quad (11)$$

где  $\gamma$  - вещественный корень характеристического уравнения;  $\gamma_2$  и  $\lambda$  - абсолютные значения вещественной и мнимой частей комплексного корня;  $A, B, C$  - произвольные постоянные, которые находятся из начальных условий;  $\Delta f$  - величина ступенчатого изменения частоты тока.

Расчет постоянных времени для толкателя тормоза с диаметром шкива 320 мм показывает, что на характер переходного процесса наибольшее влияние оказывает постоянная времени  $\tau_1$ , а постоянная времени  $\tau_3$  практически не влияет. Для данного толкателя  $\tau_1 = 0,136$  с,  $\tau_2^2 = 1,347 \cdot 10^{-3}$  с<sup>2</sup>,  $\tau_3^3 = 7,76 \cdot 10^{-6}$  с<sup>3</sup>. Поэтому для практических расчетов член уравнения, содержащий  $\tau_3$ , можно не учитывать.

Для проверки расчетов был изготовлен стенд (рис. 4), позволяющий исследовать переходные процессы толкателя. Для получения напряжения регулируемой частоты использовали асинхронный двигатель с фазным ротором типа АК52-4 (4,5 кВт, 1500 1/мин), работающий в режиме асинхронного преобразователя частоты. Привод его осуществляли двига-

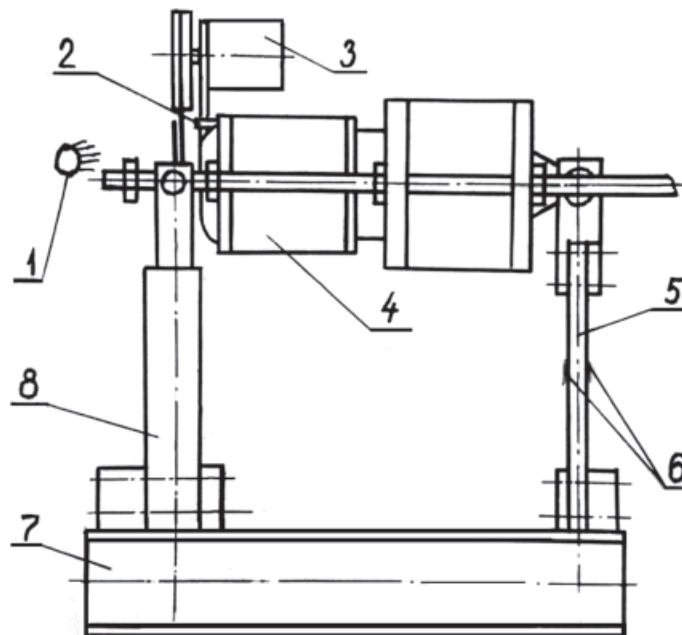


Рис. 4. Исследовательский стенд:

- 1 – источник света; 2 – фотозэлемент; 3 – тахогенератор; 4 – ЭМЦТ; 5 – тензометрическая стойка; 6 – измерительная стойка с тензорезисторами; 7 – основание; 8 – жесткая стойка

телем постоянного тока типа П-42 (1,5 кВт, 750 1/мин) через клиноременную передачу. Регистрацию всех параметров выполняли светолучевым осциллографом типа К12-22. При испытаниях регистрировали следующие параметры: усилие и ход штока ЭМЦТ, частоту вращения ротора двигателя и напряжение на двигателе ЭМЦТ. Кроме того, на стенде были проверены статические характеристики ЭМЦТ – зависимость  $F_T = F_T(f)$  при различных отношениях  $U/f$ . Расхождения между данными экспериментами и расчетами постоянных времени  $\tau_1$  и  $\tau_2$  не превышали 5 - 9%.

При исследовании работы асинхронного электропривода механизма подъема с тормозом ЭМЦТ на пониженной скорости рассматривали двухмассовую расчетную схему, представленную на рис. 5, с приведением всех его параметров к первому валу. Для данной расчетной схемы можно написать следующие уравнения

$$J_{Г} \cdot \ddot{\varphi}_2 = M_{Г} - C \cdot (\varphi_2 - \varphi_1);$$

$$J_{П} \cdot \ddot{\varphi}_1 = M_{Д} - M_{Т} + C \cdot (\varphi_2 - \varphi_1), \quad (12)$$

где  $J_{Г}$  - момент инерции груза, приведенный к первому валу механизма,  $J_{П}$  - момент инерции первого вала,  $\omega$  - частота вращения первого вала,  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  - углы поворота масс  $J_{Г}$  и  $J_{П}$ ,  $C$  - жесткость элементов механизма, расположенная между первым валом и грузом, приведенная к первому валу. Выразив  $\varphi_2$  из второго уравнения и подставив его в первое, а также учитывая, что  $\omega = \dot{\varphi}$ , получим

$$M_{Д} = M_{П} \cdot (1 - \omega / \omega_c), \text{ тогда } \ddot{M}_{Д} = \frac{M_{П}}{\omega_c} \cdot \ddot{\omega}.$$

Используя систему уравнений, описывающих работу тормоза с ЭМЦТ (здесь не приводится) можно записать уравне-



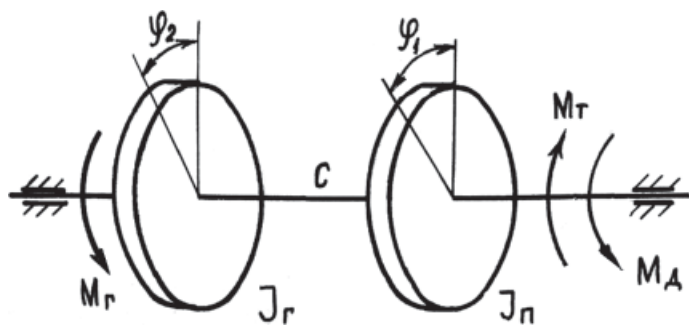


Рис. 5. Двухмассовая расчетная схема

ния, которые описывают работу асинхронного электропривода с ЭМЦТ на пониженной скорости

$$\begin{aligned} \frac{J_r \cdot J_n}{C} \cdot \ddot{\omega} + \frac{J_r}{C} \cdot \frac{M_{\Pi}}{\omega_c} \cdot \ddot{\omega} + (J_e + J_n) \cdot \dot{\omega} + \frac{M_{\Pi}}{\omega_c} \cdot \omega = \\ = -\frac{J_r}{C} \cdot \ddot{M}_m + M_n - M_m + M_c; \\ J \cdot \ddot{\varphi} + 2 \cdot m_2 \cdot b \cdot \dot{\varphi} \cdot \dot{h} = M_{ДТ}(\varphi, \dot{\varphi}, U) - M_{ТС}(F, \varphi); \\ m \cdot \ddot{h} + \left(m_2 + \frac{J_2'}{r^2}\right) \cdot \frac{R_0^2 \cdot b}{4 \cdot a^2} \cdot h^2 - m_2 \cdot b \cdot \dot{\varphi}^2 = \\ = -F + F_{ТП} \operatorname{sign} \dot{h}; \\ M_m = C_{np} \cdot (h_2 - h) \cdot \frac{l}{l_1} \cdot \mu \cdot D_{уик} \cdot \eta, \text{ при } h_1 \leq h \leq h_2; \\ M_T = 0, \text{ при } h \geq h_2; \\ f = f_H(1 - \omega/\omega_c). \end{aligned} \quad (13)$$

Система содержит дифференциальные уравнения, являющиеся нелинейными и неоднородными, и их анализ возможен лишь при использовании средств вычислительной техники. При небольших отклонениях переменных при работе на пониженной скорости данная система уравнений может быть линеаризована и представлена в виде

$$\begin{aligned} a_0 \cdot \Delta \omega^{(5)} + a_1 \cdot \Delta \omega^{(4)} + a_2 \cdot \Delta \omega^{(3)} + \\ + a_3 \cdot \Delta \dot{\omega} + a_4 \cdot \Delta \omega + a_5 \cdot \Delta \omega = 0. \end{aligned} \quad (14)$$

Для обеспечения устойчивой работы механизма подъема на пониженной скорости в соответствии с критериями устойчивости (4) необходимо, чтобы все коэффициенты уравнения были положительными. Это условие будет выполняться при положительном значении коэффициента  $a_5$ , т.е.

$$1 - K_C \cdot \frac{\omega_c}{\omega_{\Pi}} > 0 \text{ или } K_C < \frac{M_{\Pi}}{\omega_c},$$

где  $K_C = K_T(p_1/2\pi)$  - общий коэффициент передачи.

В процессе исследований был проведен анализ устойчивости системы в соответствии с критерием устойчивости Михайлова и построены границы устойчивости.

Анализ механизма подъема мостового крана грузоподъемностью 15 т показал, что при использовании ЭМЦТ появление автоколебаний невозможно, а при тормозе с ЭГТ появление колебательного процесса возможно. Учитывая, что большое влияние на устойчивость электропривода имеет передаточное отношение тормоза между приводом и колодками, для тормоза с ЭГТ в отечественной и зарубежной литературе [4, 9] даются рекомендации по передаточному отно-

шению – не более 7 и коэффициенту трения – не более 0,4.

Расчет переходного процесса  $\omega = \omega(t)$  в режиме пуска механизма подъема может быть осуществлен путем решения исходной системы уравнений. Моделирование и расчеты переходного процесса проводились на цифровых (ЦВМ) и аналоговых вычислительных машинах (АВМ) на примере механизма подъема мостового крана грузоподъемностью 10 т. До настоящего времени АВМ используется в различных промышленных системах. Кроме того, в настоящее время многие фирмы делают элементную базу для создания нового поколения АВМ, так как многие задачи не могут быть решены с помощью ЦВМ.

Для моделирования переходного процесса были использованы одновременно две АВМ типа МН-7М и 23 операционных усилителя. Кривые переходных процессов механизма подъема при пуске механизма на пониженной скорости представлены на рис. 6, где пунктирной линией обозначен тормозной момент тормоза, а сплошной - частота вращения первого вала механизма подъема, соответственно, для моментов инерции  $J_{\Pi}$ , равных 10, 20 и 50 кг·м<sup>2</sup> (кривые 1, 2, 3). Кроме этого более точные расчеты переходных процессов проводили на ЦВМ типа ЕС 1020.

Работоспособность тормоза с ЭМЦТ проверяли при использовании в механизме изменения вылета портального крана грузоподъемностью 10 т производства Ленинградского завода ПТО им. С.М. Кирова, эксплуатировавшегося в Северном речном порту г. Москвы. Кран имел высокие значения приведенных моментов инерции из-за большого веса стрелы и массы уравновешивающего груза. Работу ЭМЦТ проверяли также в механизме подъема мостового крана грузоподъемностью 15 т в цехе № 1 Московского электромеханического завода имени Ильича. Проведенные испытания подтвердили правильность теоретических расчетов асинхронного регулируемого электропривода с ЭМЦТ.

Как показали результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований, система автоматического регулирования скорости тормозами с ЭМЦТ является относи-

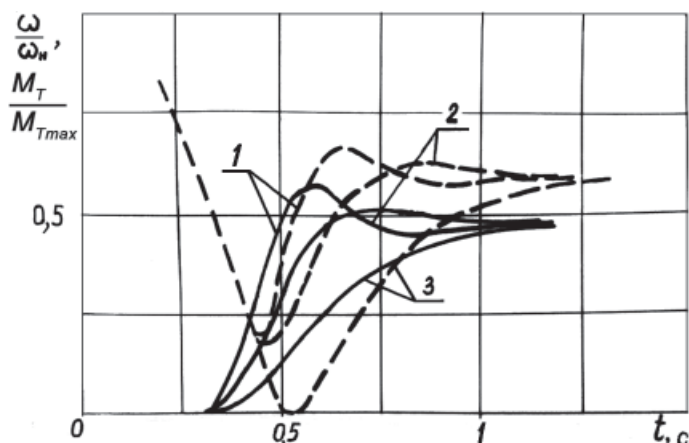


Рис. 6. Переходные процессы механизма подъема при пуске

тельно простой и эффективной для получения пониженной (посадочной) скорости в асинхронном электроприводе. Она может быть предложена для использования во вновь разрабатываемых и реконструируемых крановых механизмах подъема. Уступая в простоте и стоимости решению, реализованному в конструкции тормозов с регулируемым демпфированием тормозного момента [10], выпускаемых уже более двадцати лет НПП «Подъемтранссервис», данная система регулирования, тем не менее, может рассматриваться в качестве альтернативного варианта для механизмов передвижения и поворота кранов в качестве надежного средства уменьшения динамических нагрузок при торможении.

Приведенные в статье зависимости достаточно полно описывают работу электропривода в переходных и установившихся режимах.

## Литература

1. Александров М.Н., Остапенко В.И. Современные центробежные толкатели. / Вестник машиностроения, 1969, № 8, - С. 18-21.
2. Остапенко В.И. Мотор-толкатели центробежного типа. – М.: Машиностроение, 1978. - 215 с.
3. Александров М.П. Тормоза подъемно-транспортных машин. - М.: Машиностроение, 1976. - 383 с.

4. Аракелян А.К., Соколов М.М. Асинхронный регулируемый электропривод с электрогидравлическим толкателем. – М.: Энергия, 1972. - 128 с.

5. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука 1975. – 768 с.

6. Остапенко В.И. Автоматические тормоза с центробежными толкателями для грузоподъемных машин. - Реферативный сборник НИИинформтяжмаш, 1974, вып. 6-74-16, - С. 12 – 19.

7. Смольяков А.И. Статические характеристики асинхронного регулируемого электропривода с электромеханическим толкателем. / Труды Московского высшего техн. училища, 1976, № 230, - С. 69 - 76.

8. Смольяков А.И. Динамика электромеханического толкателя при частотном управлении. / Труды Московского высшего техн. училища, 1977, № 225, - С. 98 - 103.

9. Vesper H. Die Planung der Eldro-Regelbremse für Drehstrom-Kranantriebe. Krausskopf-Verlag. Wiesbaden. 1962, s. 62.

10. А.Д. Костромин, Н.И. Ивашков, Г.А. Горобец. Привод тормозов, обеспечивающий безопасность и снижение динамических нагрузок / Подъемно-транспортное дело, 2007. № 6. - С. 5 – 8.

А.И. Смольяков. Тел.(phone) 495-993-10-25.  
E-mail: kb@npp-pts.ru.

\* \* \*

## ТОРМОЗА С ПЛАВНЫМ РЕГУЛИРУЕМЫМ НАЛОЖЕНИЕМ ТОРМОЗНОГО МОМЕНТА ДЛЯ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ И ПОВОРОТА КРАНОВ

Николай Ильич ИВАШКОВ, канд. техн. наук, генеральный директор  
Александр Дмитриевич КОСТРОМИН, канд. техн. наук, научный консультант  
Научно-производственное предприятие «Подъемтранссервис»,  
Московская область, п. Лесной



Рассмотрена работа тормоза плавного регулируемого торможения механизмов передвижения и поворота, обеспечивающего оптимизацию тормозных характеристик. Разработан и выпускается типоразмерный ряд таких тормозов, многолетняя успешная эксплуатация которых в механизмах мостовых, козловых, башенных и других кранов доказала эффективность их работы с отсутствием при торможении толчков, «рывков», резких замедлений и пробуксовок ходовых колес, с улучшением эргономических показателей и управляемости кранов.

**Ключевые слова:** грузоподъемные краны, тормоза колодочные, регулируемое торможение, тормозные характеристики, оптимизация, эффективность эксплуатации.

Оптимизация процессов торможения крановых механизмов передвижения и поворота продолжает оставаться важной и актуальной задачей, поскольку до настоящего времени не преодолена устаревшая техническая традиция исполь-

зования в них тормозов, предназначенных благодаря высокому быстродействию (минимальному времени срабатывания при торможении) для подъемных механизмов. Однако конструкции этих тормозов не соответствуют условиям рабо-