

УДК 62.83.52

**ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ И ПОЛОЖЕНИЕМ МНОГОСВЯЗНОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С НЕЧЕТКОЙ КОРРЕКЦИЕЙ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

**А. В. Босак, А. В. Чермалых, Е. И. Алтухов, И. Я. Майданский**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»  
просп. Победы, 37, г. Киев, 03057, Украина. E-mail: alla\_koz@ukr.net

Рассмотрено построение многосвязной электромеханической системы и выполнено моделирование переходных процессов с использованием в качестве объекта управления клетевой подъемной установки глубоких шахт. Данная установка отличается наличием упругих звеньев с распределенными и сосредоточенными параметрами, математическая модель которых представляет соединение подсистем с перекрестными связями. Управляемыми переменными являются перемещение рабочего органа (клетки), ее скорость, а также ток электродвигателя и динамические нагрузки, которые вызывают упругие колебания в системе, препятствующие точному останову клетки на заданном уровне. В связи с тем, что в процессе эксплуатации электромеханической системы меняются ее параметры, предложено использовать коррекцию на основе нечеткой логики управляющих воздействий по всем трем каналам регулирования, включая двухступенчатое формирование моментобразующего тока для исключения колебательных процессов. Исследования показали высокую точность реализации заданных режимов работы электромеханической системы, что обеспечивает максимальную производительность и минимальные потери энергии.

**Ключевые слова:** оптимизация управления, электромеханические системы, нечеткая коррекция, задающая модель.

**ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ ТА ПОЛОЖЕННЯМ БАГАТОЗВ'ЯЗНОЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ З НЕЧІТКОЮ КОРЕКЦІЄЮ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ**

**А. В. Босак, О. В. Чермалых, Є. І. Алтухов, І. Я. Майданський**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»  
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03057, Україна. E-mail: alla\_koz@ukr.net

Розглянуто побудову багатозв'язної електромеханічної системи й виконано моделювання перехідних процесів із використанням як об'єкта управління клітьової підйомної установки глибоких шахт. Дана установка відрізняється наявністю пружних ланок із розподіленими й зосередженими параметрами, математична модель якої є з'єднанням підсистем із перехресними зв'язками. Керованими змінними є переміщення робочого органу (клеті), її швидкість, а також струм електродвигуна й динамічні навантаження, які викликають пружні коливання в системі, що перешкоджають точному зупини кліті на заданому рівні. У зв'язку з тим, що в процесі експлуатації електромеханічної системи змінюються її параметри, запропоновано використовувати корекцію на основі нечіткої логіки керуючих впливів за всіма трьома каналами регулювання, включаючи двоступеневе формування моментотворюючого струму для виключення коливальних процесів. Дослідження показали високу точність реалізації заданих режимів роботи електромеханічної системи, що забезпечує максимальну продуктивність і мінімальні втрати енергії.

**Ключові слова:** оптимізація управління, електромеханічні системи, нечітка корекція, задаюча модель.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Особенностью многосвязных электромеханических систем (ЭМС) является наличие нескольких управляющих воздействий и, соответственно, нескольких управляемых переменных. Такая система является многоканальной, причем изменение каждой выходной переменной, как правило, приводит к изменению и других. К многосвязным ЭМС относятся клетевые подъемные установки с противовесом глубоких шахт, в которых положение клетки считается основной управляемой переменной. Однако в связи с тем, что клеть приводится в движение с помощью длинного стального каната, являющегося упругим звеном с распределенными параметрами, необходимо контролировать и скорость канатоведущего шкива, а также динамические нагрузки, вызывающие колебательные процессы в упругих звеньях как со стороны клетки, так и со стороны противовеса. Учитывая, что исключение упругих колебаний возможно только управлением током двигателя, этот параметр также

следует относить к управляемой переменной.

Таким образом, систему управления подъемной установкой как многосвязной ЭМС следует рассматривать как состоящую из контуров положения, скорости, тока и динамических усилий.

Целью данной работы является построение структурной схемы и моделирование многосвязной системы управления клетевой подъемной установкой с нечеткой коррекцией оптимальных управляющих воздействий, формируемых в задающей модели (ЗМ).

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** В качестве управляющего устройства наиболее целесообразно использовать ЗМ второго или третьего порядка с тремя управляющими сигналами [1], пропорциональными заданным значениям тока  $U_{ZT}$ , скорости  $U_{ZC}$  и положения  $U_{ZP}$ .

Структурная схема ЗМ второго порядка представлена на рис. 1.

На рис. 2 показана диаграмма сигналов.

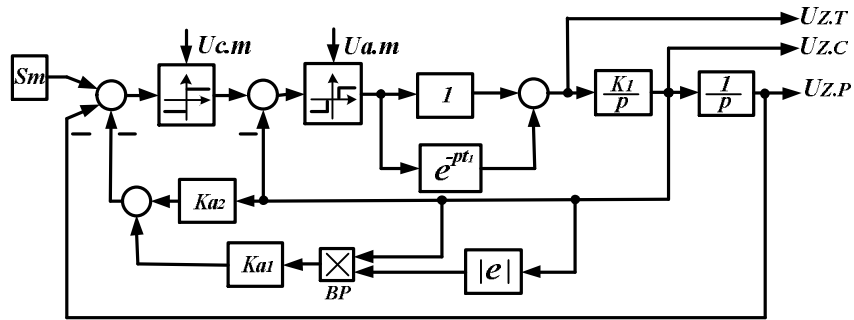


Рисунок 1 – Структурная схема ЗМ:  $U_{c.m}$ ,  $U_{a.m}$  – ограничиваемые сигналы скорости и ускорения

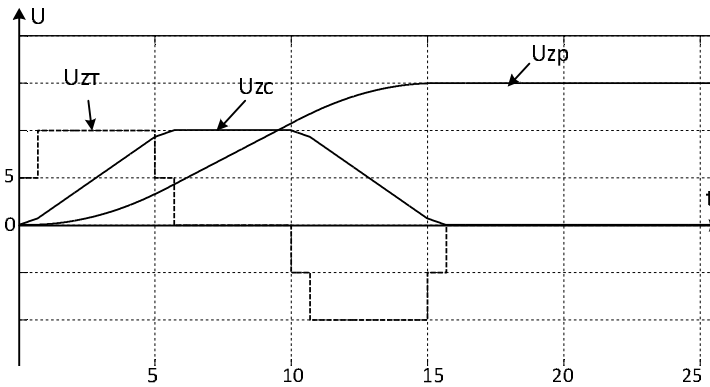


Рисунок 2 – Диаграмма управляющих сигналов  $U_{zT}$ ,  $U_{zC}$ ,  $U_{zP}$

Наличие звена с запаздыванием определяет изменение сигнала  $U_{zT}(U_a)$  в две ступени с длительностью первой ступени, равной половине периода собственных колебаний упругой системы

$$U_a = \begin{cases} 0,5 U_{a.m} & \text{при } U_c \leq U_{c.a} \\ U_{a.m} & \text{при } U_{c.a} < U_c \leq U_{c.m} - U_{c.a} \\ 0,5 U_{a.m} & \text{при } U_{c.m} - U_{c.a} \leq U_c < U_{c.m} \\ U_a = 0 & \text{при } U_c > U_{c.m} \end{cases}$$

Коэффициенты  $K_{a1}$ ,  $K_{a2}$  определяют положение, при котором должно начаться замедление. Их определение производится по заключительной части диаграммы скорости (рис. 3).

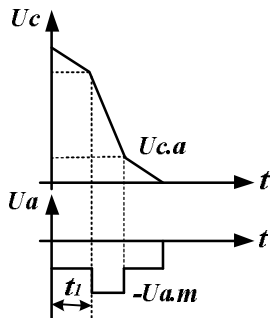


Рисунок 3 – Диаграмма сигналов скорости и ускорения в период замедления системы

Сигнал  $U_{n.a}$ , пропорциональный расстоянию с момента начала замедления системы до полной остановки, равен площади диаграммы скорости (рис. 3):

$$U_{n.a} = \frac{U_{c.m} 2U_{c.a}}{U_{a.m}} + \frac{U_{c.m}^2}{2U_{a.m}} - \frac{U_{c.m} U_{c.a}}{U_{a.m}} = \frac{U_{c.m}^2}{2U_{a.m}} + \frac{U_{c.m} U_{c.a}}{U_{a.m}} = K_{a1} U_c^2 + K_{a2} U_c,$$

где  $K_{a1} = \frac{1}{2U_{a.m}}$ ;  $K_{a2} = \frac{U_{c.a}}{U_{a.m}}$ .

Для построения общей структурной схемы рассматриваемой ЭМС использована структура упругой механической системы (УМС) с передаточными функциями [2]:

$$\left. \begin{aligned} W_{K1}(p) &= \frac{F'_{ly}(p)}{F_{dyn}(p)} = \frac{K_{m.P}(T_{P2}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1)}{T_{P1}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1} \\ W_{K2}(p) &= \frac{F''_{ly}(p)}{F_{dyn}(p)} = \frac{K_{m.O}(T_{O2}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1)}{T_{O1}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1} \end{aligned} \right\} (1)$$

где  $F'_{ly}$ ,  $F''_{ly}$  – динамические составляющие усилий в верхних точках ветвей подъемных канатов соответственно со стороны клетки и противовеса;

$$K_{m.P} = \frac{\alpha_{11}(1 + \alpha_{12})}{\alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_{11}\alpha_{12}}; \quad K_{m.O} = \frac{\alpha_{21}(1 + \alpha_{23})}{\alpha_{21} + \alpha_{23} + \alpha_{21}\alpha_{23}}$$

коэффициенты масс упругих звеньев;  $\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{21}, \alpha_{23}$  – отношения распределенных масс к сосредоточенным.

Постоянные времени упругих колебаний

$$\left. \begin{aligned} T_{P1}^2 &= \frac{1}{b_{K1}^2} \left( 1 + \frac{4 + \alpha_{11} + \alpha_{12}}{\alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_{11}\alpha_{12}} \frac{\pi^2}{4} \right); \\ T_{P2}^2 &= \frac{1}{b_{K1}^2} \left( 1 + \frac{1}{1 + \alpha_{12}} \frac{\pi^2}{4} \right); \\ T_{O1}^2 &= \frac{1}{b_{K2}^2} \left( 1 + \frac{4 + \alpha_{21} + \alpha_{23}}{\alpha_{21} + \alpha_{23} + \alpha_{21}\alpha_{23}} \frac{\pi^2}{4} \right); \\ T_{O2}^2 &= \frac{1}{b_{K2}^2} \left( 1 + \frac{1}{1 + \alpha_{23}} \frac{\pi^2}{4} \right), \end{aligned} \right\} (2)$$

где  $b_{K1}, b_{K2}$  – парциальные частоты ветвей канатов как звеньев с распределенными параметрами.

На рис. 4 приведена функциональная схема многосвязной системы управления.

На рис. 4 приняты обозначения: BR – блок регуляторов, включенных параллельно или последовательно;  $K_{TP}, T_P$  – коэффициент усиления и постоянная времени тиристорного преобразователя;  $r_y, T_e$  – активное сопротивление и электромагнитная постоянная времени двигателя;  $R_h$  – радиус канатопроводящего шкива;  $C_d$  – коэффициент пропорциональности момента (ЭДС);  $i_{red}$  – передаточное число редуктора;  $J_1$  – момент инерции вращающихся звеньев, приведенный к валу канатопроводящего шкива;  $K_T, K_C, K_P$  – коэффициенты обратных связей;  $W_{12}(p)$  – передаточная функция отношения скорости клетки  $V_2$  к окружной скорости канатопроводящего шкива  $V_1$  [3].

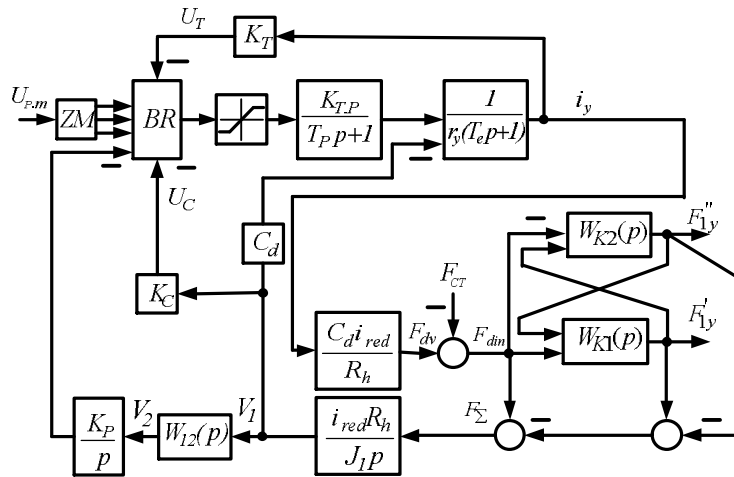


Рисунок 4 – Схема многосвязной ЭМС с двигателем постоянного тока

При приближенном анализе динамики рассматриваемой ЭМС силовая часть схемы (рис. 4) с учетом параметров двигателя может быть представлена

расчетной и структурной схемами, приведенными на рис. 5.

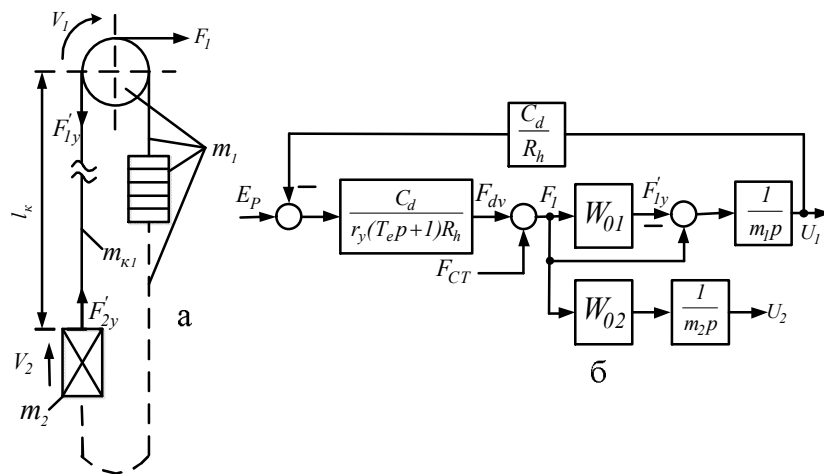


Рисунок 5 – Расчетная (а) и структурная (б) схемы клетевой подъемной установки с противовесом с учетом упругости ветви каната только со стороны клетки

Здесь, кроме прежних обозначений,

$$W_{01}(p) = \frac{\alpha_{11} \left[ \left( 1 + \alpha_{12} + \frac{\pi^2}{4} \right) p^2 + (\mu_K p + 1) b_{K1}^2 \right]}{\Delta_K (p^2 + \mu_K \omega_{K1}^2 p + \omega_{K1}^2)},$$

$$W_{02}(p) = \frac{\alpha_{11} \left[ \left( 1 - \frac{\pi^2}{4} \right) p^2 + (\mu_K p + 1) b_{K1}^2 \right]}{\Delta_K (p^2 + \mu_K \omega_{K1}^2 p + \omega_{K1}^2)};$$

$$\Delta_K = \alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_{11} \alpha_{12} + \frac{\pi^2}{4} (4 + \alpha_{11} + \alpha_{12});$$

$$\alpha_{11} = m_{K1} / m_1; \alpha_{12} = m_{K1} / m_2,$$

где  $m_1$  – приведенная к окружности канатоведущего шкива масса всех движущихся звеньев, кроме масс клетки  $m_2$  и ветви каната  $l_K$ ;  $V_1$  и  $V_2$  – скорости движения верхней и нижней точек ветви  $l_K$ .

Путем преобразования структурной схемы получена передаточная функция

$$W_{12}(p) = \frac{V_2(p)}{V_1(p)} = \frac{(1 - \frac{\pi^2}{4}) p^2 + \mu_K b_{K1}^2 + b_{K1}^2}{(1 + \frac{\pi^2}{4} + \frac{\pi^2}{\alpha_{12}}) p^2 + \mu_K \omega_K^2 + \omega_K^2}. \quad (3)$$

Выражение (3) связывает в операторной форме скорость движения подъемного сосуда со скоростью ведущего шкива.

Частота относительных колебаний при пренебрежении рассеиванием энергии

$$\omega_K = \frac{b_{K1}}{\sqrt{1 + \frac{\pi^2}{4} + \frac{\pi^2}{\alpha_{12}}}}.$$

Так как в практических расчетах обычно представляет интерес частота колебаний и максимальная амплитуда, то

$$V_2(p) = V_1(p) \frac{\omega_{K0}^2}{p^2 + \mu_K \omega_{K0}^2 p + \omega_{K0}^2}, \quad (4)$$

где

$$\omega_{K0} = \frac{\pi a_K}{2l_K} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\pi^2}{4\alpha_{12}}}}.$$

Следовательно, период относительных колебаний при  $a_K = 4000 \text{ м/сек}$  и  $\mu_K = 0$

$$\tau_K = \frac{2\pi}{\omega_{K0}} = 10^{-3} l_K \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{4\alpha_{12}}}. \quad (5)$$

Если в начале подъема  $V_1$  увеличивается во времени по линейному закону с постоянным ускорением  $a_m$ , то, полагая  $\mu_K = 0$ ,

$$V_2 = a_m t - \frac{a_m}{\omega_{K0}} \sin \omega_{K0} t = a_m t - \frac{a_m \tau_K}{2\pi} \sin \omega_{K0} t. \quad (6)$$

При заданном значении  $l_K$  минимальный период

колебаний будет соответствовать  $\alpha_{12} = \infty$ . При определении параметров относительных колебаний концевых грузов, находящихся на любой промежуточной высоте, в массу  $m_2$  следует включить также соответствующую ветвь уравнивающего каната.

Следовательно, в статически уравновешенных системах подъема изменение положения клетки скажется на частоте и периоде относительных колебаний в меньшей степени, чем в статически неуравновешенных системах.

Например, если максимальная длина отвеса каната  $l_K = 1000 \text{ м}$  и  $m_K = m_2$ , то при высоте подъема  $H = 900 \text{ м}$  в течение одного цикла период колебания  $\tau_K$  в соответствии с выражением (5) будет изменяться в пределах  $0,69 \leq \tau_K \leq 1,86 \text{ с}$  при уравновешенном подъеме и  $0,5 \leq \tau_K \leq 1,86 \text{ с}$  – при неуравновешенном. С увеличением глубины шахты влияние уравнивающего каната на нижний предел амплитуды колебания возрастает.

Как следует из (6), амплитуда колебания пропорциональна также ускорению  $a_m$ .

Если нарастание ускорения осуществлять плавно, например, по экспоненциальному закону

$$a_1 = a_m (1 - e^{-A_1 t}), \quad (7)$$

где  $A_1$  – величина, определяющая темп нарастания ускорения, то изменение скорости ведущего шкива во времени выразится операторным уравнением

$$V_1(p) = a_m \left( \frac{1}{p} - \frac{1}{p + A_1} \right).$$

Тогда, согласно (4), при  $\mu_K = 0$

$$V_2 = a_m t - \frac{a_m}{\omega_{K0}^2 + A_1^2} \left[ \frac{A_1^2}{\omega_{K0}} \sin \omega_{K0} t + A_1 (1 - \cos \omega_{K0} t) \right], \quad (8)$$

откуда при  $A_1 \rightarrow \infty$  получается выражение (6).

Совершенно очевидно, что с уменьшением  $A_1$  амплитуда колебания скорости  $V_2$  снижается, однако добиться полного исключения колебаний таким путем практически невозможно.

Оптимальная диаграмма движения концевой груза, при которой полностью отсутствуют колебания, получается при трапецидальном законе изменения ускорения (тока) с периодами нарастания и уменьшения ускорения  $\tau_p$ , равными периоду собственных упругих колебаний системы  $\tau_K$  ( $\tau_p = \tau_K$ ).

Для скиповых подъемных установок величина  $\tau_p$  должна приниматься постоянной и равной периоду собственных колебаний ветви каната с грузным сосудом, расположенным в нижнем крайнем положении. В клетевых системах подъема, обслуживающих несколько горизонтов, эта величина может приниматься переменной, устанавливаемой автоматически в зависимости от длины ветви каната. При этом полезный груз можно считать постоянным и равным половине его номинального значения.

Реализация трапецеидальной диаграммы ускорения возможна применением задающей модели третьего порядка, блок-схема которой формирует оптимальные по быстродействию сигналы  $S$ ,  $V$ ,  $a$ ,  $\rho$  (рис. 6). Система включает блоки: ограничения (БО), формирования задающих воздействий (БЗ), адаптации (БА) и переключения (БП).

Блок ограничения, схема которого представлена на рис. 6,б, формирует сигналы согласно следующим зависимостям:

$$\Delta S = S_m - S; \Delta S_l = \Delta S - S_a;$$

$$\Delta a = \begin{cases} a_m - a & \text{при } \Delta V \geq 0; \\ -a & \text{при } \Delta V < 0; \end{cases}$$

$$\Delta V = \begin{cases} V_m - V - V_a & \text{при } \Delta S_l \geq 0; \\ -V - V_a & \text{при } \Delta S_l < 0; \end{cases}$$

$$\Delta \rho = \begin{cases} \rho_m & \text{при } \Delta a \geq 0; \\ -\rho_m & \text{при } \Delta a < 0. \end{cases}$$

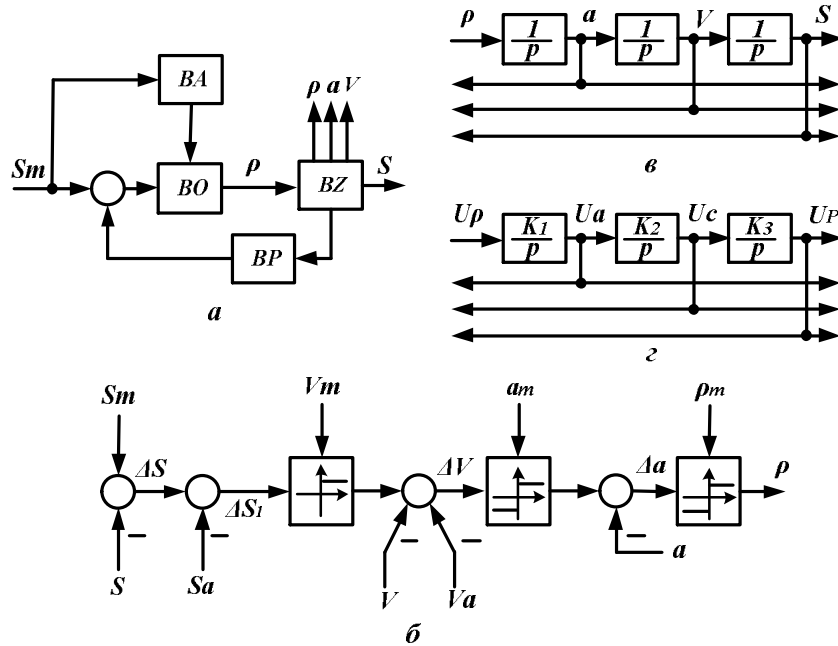


Рисунок 6 – Структурная схема задающей модели третьего порядка

Блок формирования задающих воздействий включает три последовательно соединенных интегратора (рис. 6,в), на входе которых формируются сигналы, соответствующие заданным оптимальным значениям перемещения  $S$ , скорости  $V$ , ускорения  $a$ , которые используются как входные воздействия при комбинированном управлении электроприводом. Если интеграторы реализуются на аналоговых элементах, то схема (рис. 6,в) будет иметь иной вид (рис. 6,г).

Так как согласно приведенным схемам

$$S = \int V dt; V = \int a dt; a = \int \rho dt;$$

$$U_p = \int K_3 U_C dt; U_C = \int K_2 U_a dt; U_a = \int K_1 U_\rho dt,$$

то, приняв основное задающее напряжение  $U_{II}$  равным  $U_p = K_p S$ , можно записать следующие соотношения:

$$S/U_p = S/(K_p S) = \int V dt / \int K_3 U_C dt = V/(K_3 U_C);$$

$$V/U_C = a/(K_2 U_a); \quad a/U_a = \rho/(K_1 U_\rho),$$

откуда находим

$$V = K_3 U_C / K_{II};$$

$$a = K_2 K_3 U_a / K_{II}; \tag{9}$$

$$\rho = K_1 K_2 K_3 U_\rho / K_{II}.$$

Подставив в выражения (9) вместо переменных  $V$ ,  $a$ ,  $\rho$  их предельные величины ( $V_m$ ,  $a_m$ ,  $\rho_m$ ) и задавшись ограничиваемыми значениями напряжений  $U_C = U_{C,m}$ ,  $U_a = U_{a,m}$ ,  $\rho = \rho_m$ , можно определить коэффициенты  $K_1, K_2, K_3$ :

$$K_3 = V_m K_p / U_{C,m};$$

$$K_2 = a_m K_p / (K_3 U_{a,m}); \tag{10}$$

$$K_1 = \rho_m K_p / (K_2 K_3 U_{\rho,m}).$$

На рис. 6,б  $V_a$  представляет собой изменение скорости при линейном увеличении (уменьшении) ускорения на величину  $a$ :

$$V_a = 0,5 a^2 \rho_m^{-1} \text{sign} a. \tag{11}$$

В БА в зависимости от требуемого перемещения  $S_m$  максимальная скорость определяется по одному из выражений:

$$V_m = \begin{cases} (0,25\rho_m S_m^2)^{1/3} & \text{при } 0 < S_m \leq S_{m2}; \\ (B^2 + a_m S_m)^{1/2} - B & \text{при } S_{m2} < S \leq S_{m1}; \\ V_{m.0} & \text{при } S_m > S_{m1}, \end{cases} \quad (12)$$

где  $B = 0,5a_m^2 / \rho_m$ ;  $S_{m1} = V_{m.0}(V_{m.0} / a_m + a_m / \rho_m)$ ;  
 $S_{m2} = 2a_m^3 / \rho_m^2$ .

В БА по вычисленной максимальной скорости  $V_m$  определяется оптимальное расстояние  $S_{a.m}$  с момента начала замедления до конечной точки:

$$S_{a.m} = \begin{cases} V_m(V_m / \rho_m)^{1/2} & \text{при } 0 < S_m \leq S_{m2}; \\ 0,5V_m(V_m / a_m + a_m / \rho_m) & \text{при } S_m > S_{m2}. \end{cases}$$

В БП, включенном в обратную связь, формируется текущее значение расстояния до конечной точки  $S_a < S_{a.m}$  в период замедления системы ( $\Delta S \leq S_{a.m}$ ):

$$S_a = \begin{cases} S_{a.m} - V_m|a| / \rho_m + |a|^3 / (6\rho_m^2) & \text{при } |a| < a_m, V > V_m / 2; \\ V^2 / (2a_m) + |a_m|^3 / (24\rho_m^2) & \text{при } |a| \geq a_m; \\ |a|^3 / (6\rho_m^2) & \text{при } |a| < a_m, V \leq V_m / 2. \end{cases} \quad (13)$$

Устройство, блок-схема которого представлена на рис. 6,а, называют задающей моделью третьего порядка (ЗМ–3). Порядок задающей модели определяется порядком высшей ограничиваемой производной основной выходной координаты системы по времени. Если отсутствуют обратные связи между управляемыми переменными и ЗМ, то ЗМ может быть названа автономной, если же имеется хотя бы одна такая связь, то модель будет называться неавтономной.

Исследование динамических процессов по схемам (рис. 1–4) выполнено методом компьютерного моделирования (рис. 7). Числовые значения коэффициентов определены по параметрам КПУ с подъемной машиной МК 5x4 и электроприводом постоянного тока.

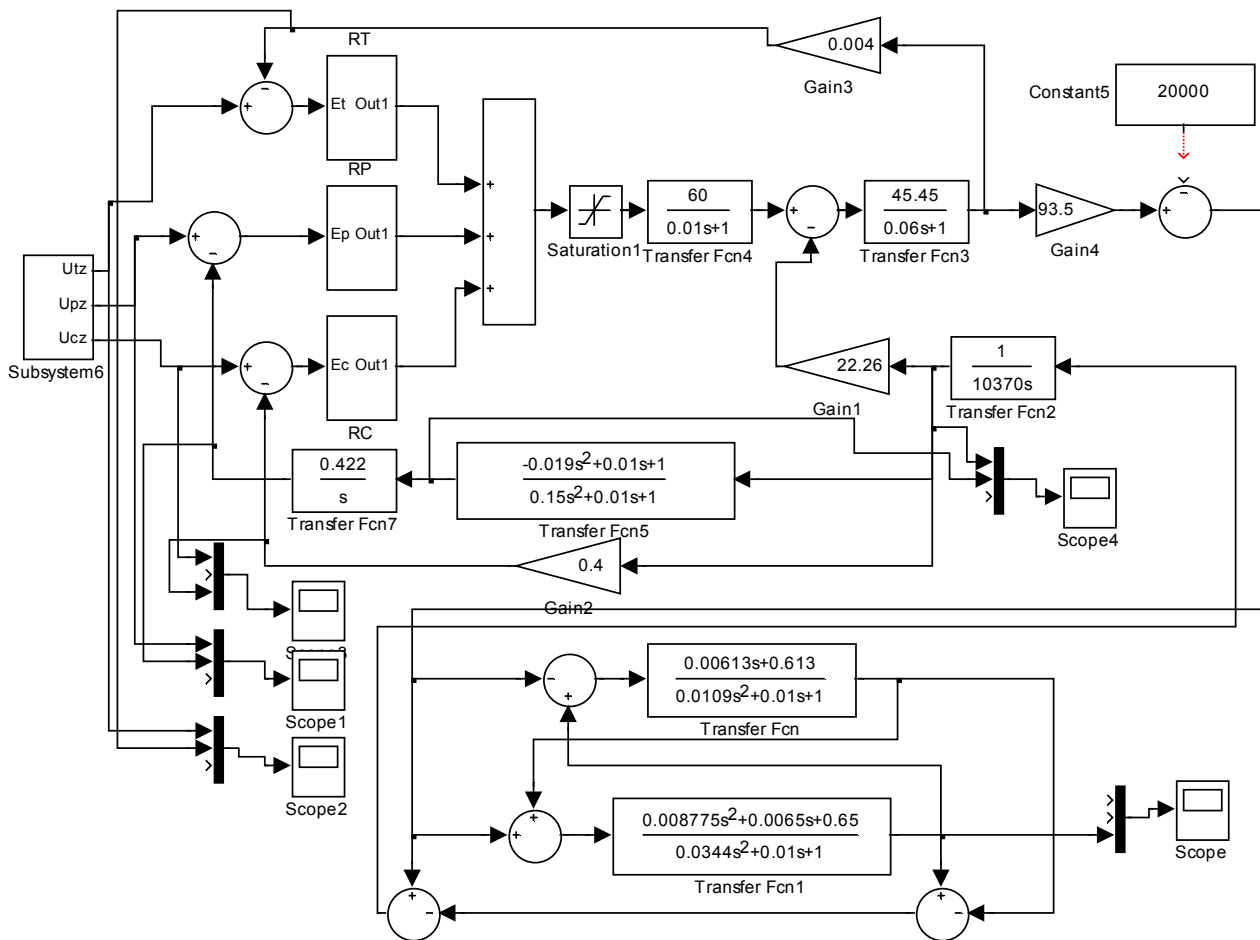


Рисунок 7 – Simulink – модель многосвязной ЭМС

Поскольку в данной ЭМС динамические режимы в основном определяются упругими механическими колебаниями в структуре ЗМ, формирующей задающие воздействия, пропорциональные заданным диаграммам положения, скорости и тока, то основ-

ное внимание уделено формированию тока, который определяет динамические усилия  $F'_{ly}$  и  $F''_{ly}$ . Эти усилия, воздействуя на упругие звенья, вызывают колебательные процессы, что в условиях большой

высоты подъема усложняет точную остановку клетки и требует в конце рабочего цикла вводить определенный период движения с малой скоростью.

В используемой ЗМ задающий сигнал тока подается в две ступени. Максимальное значение первой ступени равно 0,5 максимальной величины, а длительность первой ступени равна 0,5 периода собственных упругих колебаний, что выполняется блоком запаздывания.

При подаче на вход только сигнала заданного тока без учета запаздывания и нечеткой коррекции динамическое усилие  $F'_{ly}$  будет изменяться, совершая колебания, как показано на рис. 8,а. С учетом запаздывания и коррекции колебания практически исключаются (рис. 8,б). Другие переменные не будут изменяться по оптимальному закону.

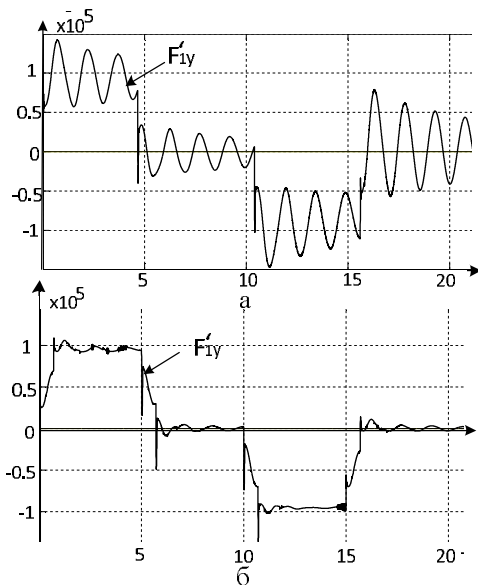


Рисунок 8 – Изменение усилия  $F'_{ly}$  при подаче на вход системы заданного сигнала тока  $U_{zT}$

Поэтому при управлении по току, скорости и положению все регуляторы должны содержать цепь нечеткой коррекции [4]. Тогда диаграммы будут иметь вид, показанный на рис. 9.

**ВЫВОДЫ.** 1. В многосвязной ЭМС с несколькими задающими воздействиями происходит взаимное влияние контуров регулирования на переходные процессы. 2. Для точности обработки каждого воздействия с минимальной ошибкой вводится нечеткая коррекция в канале каждого регулятора, что обеспечивает с учетом двухступенчатого изменения движущего момента высокую точность регулирования и исключение колебаний динамических нагрузок в линиях передач.

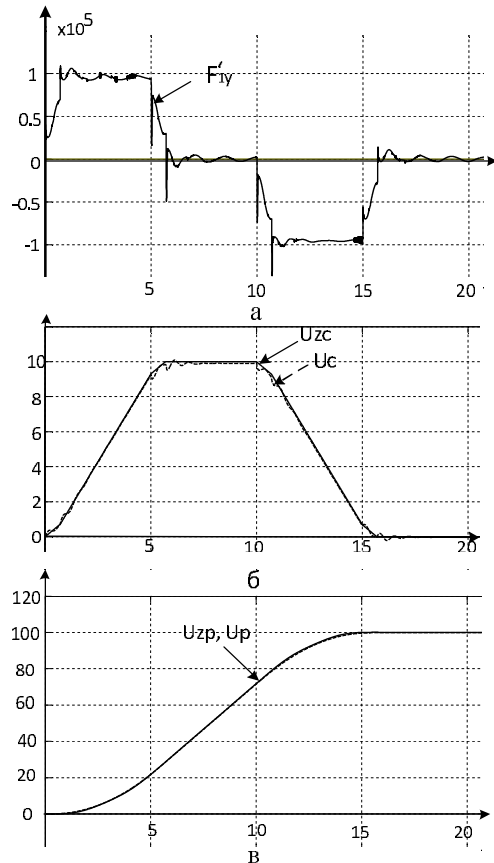


Рисунок 9 – Диаграммы сигналов динамического усилия  $F'_{ly}$  (а), скорости  $U_{zC}$  ( $U_C$ ) (б) и положения  $U_{zP}$  ( $U_P$ ) (в) с коррекцией

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Липковский К.А., Чермалых Т.В. Комбинированная система управления позиционным электроприводом с многоканальной задающей моделью // Техническая электродинамика. – 1995. – № 5. – С. 49–55.
2. Чермалых В.М., Родькин Д.Н., Каневский В.В. Системы электропривода и автоматики рудничных стационарных машин и установок. – М.: Недра, 1976. – 398 с.
3. Киричок Ю.Г., Чермалых В.М. Привод шахтных подъемных установок большой мощности. – М.: Недра, 1976. – 336 с.
4. Чермалых В.М., Алтухов Е.И., Данилин А.В., Босак А.В. Оптимизация управления сложными электромеханическими системами, включающими ПИД-регулятор с нечеткой коррекцией // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 2/2013 (22), част. 2. – С. 200–204.

**OPTIMIZATION POSITION AND SPEED OF A MULTIPLY ELECTROMECHANICAL SYSTEMS  
CORRECTION OF FUZZY CONTROL INFLUENCES**

**A. Bosak, A. Chermalykh, Ye. Altukhov, I. Maidansky**

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

prosp. Pobedy, 37, Kyiv, 03057, Ukraine. E-mail: alla\_koz@ukr.net

We consider the construction of a multiply electromechanical system and modeled transients, using as a control object of cage hoisting plant in deep mines. This setting is characterized by the presence of elastic links with distributed and lumped parameters that mathematical model, which is a compound control subsystems with interconnections. Controlled variables are the movement of the body (the cage), its speed and motor current and dynamic loads that cause the elastic vibrations in the system prior to the exact shutdown stand at a predetermined level. Due to the fact that during operation of electromechanical system changing parameters, it is suggested to use a correction based on fuzzy logic control actions on all three channels of regulation, including the formation of a two-stage torque current To exclude the oscillatory processes. Studies have shown high accuracy of implementing the specified modes of electromechanical system that provides maximum performance and minimal power loss.

**Key words:** drive of optimization, electromechanical systems, fuzzy correction, specified model.

REFERENCES

1. Lipkoveky, K. and Chermalykh, T. (1995), "Combined electric positional control system with multi-channel model defining", *Tekhnicheskaya elektrodinamika*, no. 6, pp. 49–55. (in Russian)
2. Chermalykh, V., Rodkin, D. and Kanevsky, V. (1976), "The electric drive systems and automation mine stationary machines and installations", Nedra, Moscow. (in Russian)
3. Kirichok, Y. and Chermalykh, V. (1976), "Drive shaft hoisting large power plants", Nedra, Moscow. (in Russian)
4. Chermalykh, V., Altukhov, Ye., Danilin, A. and Bosak, A. (2013), "Fuzzy Optimizing control of complex electromechanical systems, including PID-controller with fuzzy correction", *Elektromekhanichni i energozberigayuchi systemy*, Vol. 2, no. 22, pp. 200–204. (in Russian)

Стаття надійшла 16.05.2014.