

УДК 62-523:622.673

С.Н. Решетняк

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ТРЕХМАССОВОЙ ЭМС ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ
ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ КООРДИНАТ**

Семинар № 20

Подъемная установка представляет собой сложную электромеханическую систему, масса которой распределена определенным образом в ее элементах, а звенья связей между элементами обладают упругими и диссипативными свойствами. Подъемную установку со шкивами трения можно представить как трехмассовую систему, где первая масса представлена электроприводом, вторая масса представлена груженным подъемным сосудом, а третья масса представлена порожним подъемным сосудом.

При изменениях нагрузки, массы имеют возможность взаимного перемещения, которое при данном приращении нагрузки определяются жесткостью упругой связи. К механическим упругим связям многомассовых систем электропривода подъемных установок следует отнести канаты. Упругая деформация канатов и сопутствующие колебания являются крайне негативными особенностями работы подъемной установки. Увеличение надежности и долговечности упругих элементов может быть достигнуто снижением динамических нагрузок путем демпфирования колебательных процессов.

Математическое описание трехмассовой ЭМС подъемной установки, с учетом изменения длинны канатов в процессе перемещения подъемных сосудов представлено системой уравнений:

$$\begin{aligned}M - (M_{21} - M_{13}) &= J_1 p \omega_1; \\M_{21} - M_{c2} &= J_2 p \omega_2; \\-M_{13} + M_{c3} &= J_3 p \omega_3; \\pM_{21} &= C_{21} (\omega_1 - \omega_2); \\pM_{13} &= C_{13} (\omega_3 - \omega_1),\end{aligned}\tag{1}$$

где M – момент приводного двигателя; M_{c2} – приведенный статический момент груженного подъемного сосуда; M_{c3} – приведенный статический момент порожнего подъемного сосуда; M_{21} – приведенный упругий момент между двигателем и груженным подъемным сосудом; M_{13} – приведенный упругий момент между двигателем и порожним подъемным сосудом; J_1 – приведенный момент инерции первой массы, включая момент инерции двигателя, редуктора, органа навивки, направляющих шкивов; J_2 – приведенный момент инерции второй массы - груженого подъемного сосуда; J_3 – приведенный момент инерции третьей массы - порожнего подъемного сосуда; ω_1 – угловая скорость вращения двигателя; ω_2 – приведенная к угловой скорости двигателя скорость груженно-

го подъемного сосуда; ω_3 – приведенная к угловой скорости двигателя скорость порожнего подъемного сосуда; C_{21} – приведенный коэффициент жесткости каната между органом навивки и груженым подъемным сосудом; C_{13} – приведенный коэффициент жесткости каната между органом навивки и порожним подъемным сосудом.

Решая данную систему уравнений относительно M, M_{c2}, M_{c3} имеется возможность для математического исследования влияния различных обратных связей на процесс демпфирования колебаний канатов в подъемной установке.

Анализ проведенный в данном направлении, позволяют сделать следующие заключение: все исследования в этой области были проведены на моделях с последовательной коррекцией координат. Исследования систем с параллельной коррекцией координат не проводились. В результате чего была предложена система с параллельной коррекцией координат, функциональная схема которой представлена на рис. 1.

В соответствии с функциональной схемой представленной на рис. 1 и системы уравнений (1) была составлена структурная схема, представленная на рис. 2, в которой имеется определенный набор жестких и гибких отрицательных обратных связей. Параметры этих обратных связей входят в состав уравнений (1) для значения электромагнитного момента

$$M = \frac{C_e k_{\text{я}}}{1 + pT_{\text{э}}} \left\{ k_{\text{п}} k_{\text{у}} [U_3 - k_{\text{от}} (1 + pT_{\text{от}}) i_{\text{я}} - k_{\text{ос}} (1 + pT_{\text{ос}}) \omega_1 - \frac{1}{C_e} k_{\text{он}} (1 + pT_{\text{он}}) \times \right. \\ \left. \times (M_{21} - M_{13}) \right] - C_e \omega_1 \},$$

где C_e - коэффициент передачи звена внутренней обратной связи по ЭДС двигателя; $k_{\text{я}}$ - статический коэффициент якорной обмотки двигателя; $T_{\text{э}}$ - электромагнитная постоянная времени силовой цепи; $k_{\text{п}}$ - статический коэффициент передачи преобразовательного устройства; $k_{\text{у}}$ - статический коэффициент передачи суммирующего усилителя; U_3 - напряжение задания; $k_{\text{от}}$ - статический коэффициент передачи обратной связи по току; $T_{\text{от}}$ - постоянная времени гибкой обратной связи по току; $k_{\text{ос}}$ - статический коэффициент передачи обратной связи по скорости; $T_{\text{ос}}$ - постоянная времени гибкой обратной связи по скорости; $k_{\text{он}}$ - статический коэффициент передачи обратной связи по упругому моменту; $T_{\text{он}}$ - постоянная времени гибкой обратной связи по упругому моменту.

Результатами математических преобразований была получена система уравнений трехмассовой ЭМС с параллельной коррекцией координат.

$$C_e k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} p U_3 = \left(\begin{array}{l} J_1 (1 + pT_{\text{я}}) p^2 + C_{21} (1 + pT_{\text{я}}) + C_{13} (1 + pT_{\text{я}}) + \\ + C_e k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{ос}} (1 + pT_{\text{ос}}) p + C_e^2 k_{\text{я}} p + C_{21} k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{он}} + \\ + C_{13} k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{он}} + C_{21} k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{он}} T_{\text{он}} p + C_{13} k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{он}} T_{\text{он}} p + \\ + k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{от}} J_1 p^2 + C_{21} k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{от}} + C_{13} k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{от}} + \\ + k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{от}} T_{\text{от}} J_1 p^3 + C_{21} k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{от}} T_{\text{от}} p + C_{13} k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{от}} T_{\text{от}} p \end{array} \right) \omega_1 -$$

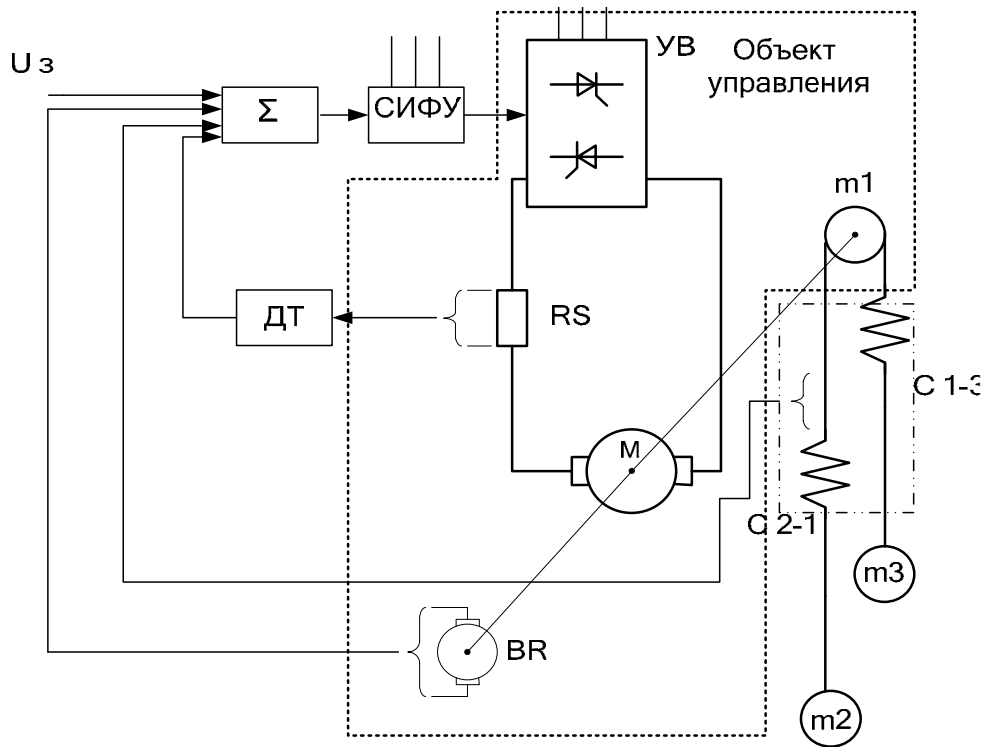


Рис. 1. Функциональная схема трехмассовой ЭМС подъемной установки с параллельной коррекцией координат

$$\begin{aligned}
 & -C_{21} \left((1 + pT_{\text{я}}) + k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{он}} + k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{он}} T_{\text{он}} p + k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{от}} + k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{от}} T_{\text{от}} p \right) \omega_2 - \\
 & -C_{13} \left((1 + pT_{\text{я}}) + k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{он}} + k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{он}} T_{\text{он}} p + k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{от}} + k_{\text{я}} k_{\text{п}} k_{\text{у}} k_{\text{от}} T_{\text{от}} p \right) \omega_3; \\
 & pM_{c2} = C_{21} \omega_1 + (-J_2 p^2 - C_{21}) \omega_2; \\
 & pM_{c3} = -C_{13} \omega_1 + (J_3 p^2 + C_{13}) \omega_3.
 \end{aligned}$$

Далее происходит исследование системы методом нормированных передаточных функций.

$$\begin{aligned}
 & \frac{K_2 K_3}{\gamma n} \tau_m \tau_1^4 + \frac{K_2 K_3}{\gamma n} \tau_c \tau_m \tau_1^4 = \tau^6; \\
 & \frac{K_2 K_3}{\gamma n} (1 + \lambda_2) \tau_m \tau_1^4 + \frac{K_2 K_3}{n} \tau_c \tau_1^4 = 6\xi \tau^5; \\
 & \frac{K_2 K_3}{n} (1 + \lambda_1) \tau_1^4 + \left(\frac{K_2 K_3 (1 + n) + K_2 n + K_3}{\gamma n} \right) (1 + \tau_T) \tau_m \tau_1^2 + \left(\frac{K_2 K_3 (1 + n)}{\gamma n} \right) \tau_H \tau_m \tau_1^2 = ; \\
 & = 3\tau^4 + 12\xi^2 \tau^4
 \end{aligned}$$

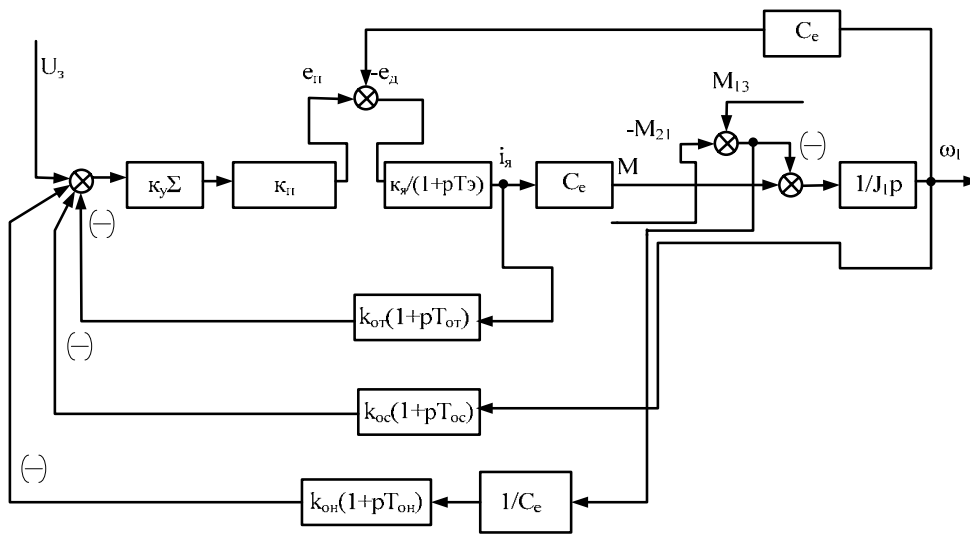


Рис. 2. Структурная схема трехмассовой ЭМС подъемной установки с параллельной коррекцией координат

$$\left(\frac{K_2 K_3 (1+n) + K_2 n + K_3}{\gamma n} \right) (1 + \lambda_2) \tau_m \tau_1^2 + \lambda_3 \left(\frac{K_2 K_3 (1+n)}{\gamma n} \right) \tau_m \tau_1^2 + \left(\frac{K_2 n + K_3}{n} \right) \tau_c \tau_1^2 = ;$$

$$= 8\xi^3 \tau^3 + 12\xi \tau^3$$

$$\left(\frac{nK_2 + K_3}{n} \right) (1 + \lambda_1) \tau_1^2 + \frac{1}{\gamma} (K_2 + K_3) \tau_H \tau_m + \tau_T \tau_m + \tau_m = 3\tau^2 + 12\xi^2 \tau^2 ;$$

$$\tau_m (1 + \lambda_2) + \frac{1}{\gamma} \lambda_3 (K_2 + K_3) \tau_m + \tau_c = 6\xi \tau ;$$

где $\lambda_1 = \frac{K_я K_ос K_п K_у}{K_m}$, $\lambda_2 = k_я k_п k_у k_от$, $\lambda_3 = k_я k_п k_у k_он$ - соответственно параметры жестких отрицательных обратных связей по скорости, току, упругому моменту;

$\tau_c = \frac{\lambda_1 T_{ос}}{T_я}$, $\tau_T = \frac{\lambda_2 T_{от}}{T_я}$, $\tau_H = \frac{\lambda_3 T_{он}}{T_я}$ - соответственно параметры гибких отрицательных обратных связей по скорости, току, упругому моменту;

$\tau = \frac{T}{T_я}$ - относительная постоянная времени системы;

$\tau_m = \frac{(J_1 + J_2 + J_3)}{T_я k_m C_e}$ относительная электромеханическая постоянная времени системы;

$\tau_1^2 = \frac{J_1}{T_я C_{21}}$ относительная фиктивная постоянная времени частот собственных колебаний якоря двигателя

ля при неподвижном исполнительном органе; $\gamma = \frac{J_1 + J_2 + J_3}{J_1}$ - относительный момент инерции; ξ - коэффициент затухания; $k_2 = \frac{J_2}{J_1}$, $k_3 = \frac{J_3}{J_1}$ - относительные моменты инерции второй и третьей массы; $n = \frac{C_{13}}{C_{21}}$ - относительный коэффициент жесткости.

Решение системы алгебраических уравнений позволяют выявление отдельно взятых обратных связей на демпфирующие свойства электромеханической системы подъемной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ключев В.И.* Ограничение динамических нагрузок электропривода. - М.: Изд-во Энергия, 1971 - 320 с.: ил.
2. *Ляхомский А.В., Фашиленко В.Н.* Управление электромеханическими системами горных машин. - М.: Издательство МГТУ, 2004 - 296с.
3. *Фашиленко В.Н.* Структурный анализ и синтез рационального управления электромеханическими системами горных машин (Докторская диссертация) М.: 2004 - 512 с.
4. *Мартынов М.В., Переслегин Н.Г.* Автоматизированный электропривод в горной промышленности. Изд. 2, перераб. и доп. - М.: Недра, 1977. - 375 с. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Решетняк С.Н. - старший преподаватель кафедры «Электрификация и энергоэффективность горных предприятий» Московского государственного горного университета.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 20 симпозиума «Неделя горняка-2008». Рецензент д-р техн. наук, проф. *А.В. Ляхомский*.



РУКОПИСИ,

**ДЕПониРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

3. *Сергеенков Н.А.* Съёмка подземных существующих коммуникаций. Подготовительные работы и методика (677/02-09 — 15.12.08) 5 с.
4. *Сергеенков Н.А.* Общие положения о подземных коммуникациях (678/02-09 — 15.12.08) 3 с.