

УДК 622:621.3

В.М. Завьялов

ПОДАВЛЕНИЕ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ В ГОРНЫХ МАШИНАХ С УПРУГОЙ РАМОЙ

В ряде горных машин, как, например, у некоторых типов буровых станков, рама обладает относительно небольшой жесткостью. При работе таких машин с нагрузкой резкопеременного характера возникает вибрация способствующая выходу из строя как самой рамы, так и элементов трансмиссии и электрооборудования. Вибрация также ухудшает комфорт обслуживающего персонала находящегося в кабине горной машины. Для снижения уровня вибрации в таких установках необходимо стабилизировать упругий момент (упругую силу) между землей и статором двигателя.

Упрощенную математическую модель такой системы можно получить решением уравнений

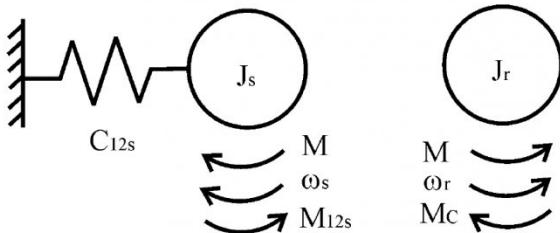


Рис. 1. Расчетная схема механической части горной машины с упругой рамой

Лагранжа для механической системы, расчетная схема которой представлена на рис. 1.

$$\left. \begin{aligned} \dot{\omega}_s &= \frac{1}{J_s} (M - M_{12s}) \\ \dot{M}_{12s} &= C_{12s} \omega_s \\ \dot{\omega}_r &= \frac{1}{J_r} (M - M_c) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где ω_s , ω_r – частоты вращения статора и ротора двигателя; C_{12s} – жесткость упругой связи между статором и землей; J_s , J_r – моменты инерций масс, связанных со статором и ротором; M_{12s} – момент упругих сил между статором и землей; M – момент взаимодействия статора с ротором; M_c – момент сопротивления со стороны нагрузки.

Один из путей снижения вибраций в горных машинах – это исключение упругих колебаний в раме, вызванных переменными вращающими моментами, действующими на статоры приводных двигателей.

Предположим, что вращающий момент, развиваемый двигателем, величина безинерционная относительно управляющего воздействия, и мы

можем воздействовать на нее доступными техническими средствами. В этом случае вращающий момент двигателя M можно рассматривать как управляющее воздействие на механическую систему (1). Для синтеза закона управления такой системой, подавляющего упругие колебания в раме, воспользуемся методами синергетической теории управления [1].

В качестве желаемого инвариантного многообразия, к которому должна стремиться рассматриваемая механическая система, выберем следующую макропеременную:

$$\Psi_1 = M_{12s} - M_{12s}^* = 0, \quad (2)$$

где M_{12s}^* – желаемое значение упругого момента между статором двигателя и землей.

Очевидно, что если задать $M_{12s}^* = \text{const}$, то при движении системы вдоль инвариантного многообразия (2) упругие колебания будут отсутствовать. С другой стороны, варьируя значением M_{12s}^* можно воздействовать на скорость вращения ротора, обеспечивая тем самым требуемую производительность горной машины.

Чтобы получить управляющее воздействие, переводящее вектор состояния системы (1) из произвольного начального состояния на инвариантное многообразие (2) и дальнейшее движение вдоль него, решаем функциональное уравнение:

$$T_1 \dot{\Psi}_1 + \Psi_1 = 0, \quad (3)$$

где T_1 – постоянная времени, определяющая скорость достижения инвариантного многообразия (2).

Подставив (2) в (3), получим:

$$T_1 (\dot{M}_{12s} - \dot{M}_{12s}^*) + M_{12s} - M_{12s}^* = 0 \quad (4)$$

Приняв $M_{12s}^* = \text{const}$ и подставив вместо \dot{M}_{12s} правую часть второго уравнения системы (1), получим:

$$T_1 C_{12s} \omega_s + M_{12s} - M_{12s}^* = 0. \quad (5)$$

В полученном уравнении отсутствует ранее выделенное нами управляющее воздействие M , поэтому в соответствии с принципом динамического сжатия фазового пространства [1] путем введения внутреннего управления $v = \omega_s$, изменение во времени которого должно быть согласовано с внутренним состоянием системы в соответствии с зависимостью, полученной из (5):

$$v = \frac{1}{T_1 C_{12s}} (M_{12s}^* - M_{12s}). \quad (6)$$

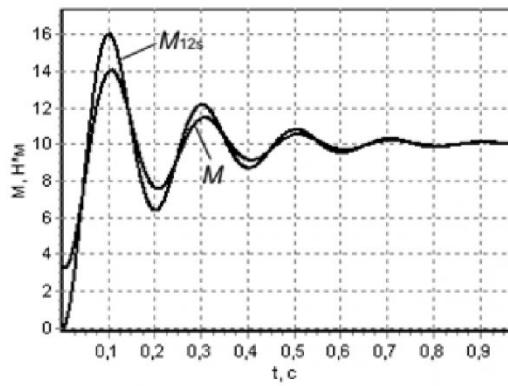


Рис. 2. Управляющее воздействие и упругий момент при управлении (8)

Для выполнения условия (6) необходимо, чтобы система двигалась вдоль инвариантного многообразия:

$$\begin{aligned} \Psi_2 &= \omega_s - v = \\ &= \omega_s - \frac{1}{T_1 C_{12s}} (M_{12s}^* - M_{12s}) = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Последовательно подставив (7) и (1) в функциональное уравнение:

$$T_2 \dot{\Psi}_2 + \Psi_2 = 0,$$

получим закон управления:

$$\begin{aligned} M &= M_{12s} - J_s \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) \omega_s + \\ &+ \frac{J_s}{T_1 T_2 C_{12s}} (M_{12s}^* - M_{12s}), \end{aligned} \quad (8)$$

переводящий систему (1) из произвольного начального состояния на инвариантное многообразие (7), а значит и на многообразие (2), и обеспечивающий последующее движение вдоль них.

Результаты компьютерного моделирования системы (1) с законом управления (8) и резкопеременным характером изменения нагрузки пред-

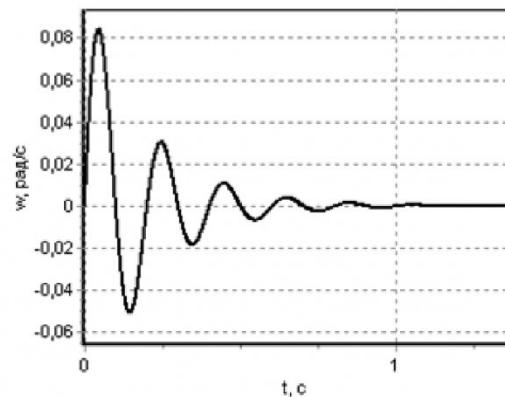


Рис.3. Частота вращения статора

ставлены на рис. 2. При моделировании использовались следующие параметры системы: $T_1=0,1$; $T_2=0,01$; $C_{12s}=3000$ Н·м/рад; $J_s=1$ кг·м²; $J_r=0,5$ кг·м²; $M_{12s}^*=10$ Н·м.

Из рис. 2 и 3 видно, что упругие колебания затухают в течение 1 с, после чего, несмотря на резкопеременный характер изменения момента сопротивления, колебания отсутствуют. Учитывая, что при достижении цели управления стабилизируется врачающий момент, развиваемый двигателем, то это будет также способствовать повышению надежности двигателя.

Анализируя полученный закон управления (8) видим, что в нем отсутствуют переменные и параметры роторной части системы, а также момент сопротивления, поэтому, очевидно, он также будет работоспособным и при наличии упругих связей в механических элементах со стороны ротора.

Полученный закон управления может быть рекомендован для использования в системах управления электроприводом горных машин, работа которых сопровождается значительными вибрациями, с целью увеличения их надежности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Современная прикладная теория управления: Синергетический подход в теории управления / Под ред. А.А. Колесникова. Таганрог: Изд-во ТРТГУ, 2000. Ч. II – 559 с.

□ Автор статьи:

Завьялов

Валерий Михайлович

- канд.техн.наук, доц. каф. электропривода и автоматизации