

**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ КРАНА С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ДЛИНЫ КАНАТА**

Производительность и качество многих технологических процессов зависит от перемещения грузов подъемно-транспортными машинами. Однако подвешенные на канате грузы при перемещении могут раскачиваться, что существенно замедляет сам технологический процесс при позиционировании. При эксплуатации ПТМ часто используют операции перемещения, совмещенные с подъемом или спуском. В этом случае возникает проблема гашения колебаний.

Известно много различных способов демпфирования колебаний грузов в ПТМ. Однако в процессе работы на механизмы могут оказывать влияние изменения различных факторов, поэтому построение адаптивной системы управления, позволяющей демпфировать колебания и компенсировать влияние возмущающих факторов, может существенно улучшить эффективность и производительность транспортных операций.

Известен способ управления, оптимальный по быстродействию, который поясняется на рис.1 [2], при котором время разгона состоит из трех интервалов времени силовых воздействий, при этом ускорение меняет свой знак, что может вызывать в механических передачах дополнительные динамические усилия [1].

Известно много способов ограничения раскачивания груза, которые обеспечивают управление перемещением груза при постоянной длине каната.

В данной работе рассматривается оптимизация управления ПТМ при совмещенной работе механизмов перемещения и подъема.

Рассмотрим случай, когда груз необходимо переместить из т. А в т. F, как показано на рис. 2. На отрезке А-В груз перемещается вертикально, и колебания отсутствуют. На отрезке В-С тележка разгоняется до максимальной скорости, и груз поднимается до высоты Lc. На участке С-Д тележка перемещается с максимальной скоростью при постоянной длине каната. На участке Д-Е происходит торможение тележки и спуск груза. На отрезке Е-F груз опускается до т. F. Необходимо обеспечить отсутствие колебаний при перемещении груза в т.С и в т.Е.

Рассмотрим случай, когда длина каната постоянна. Уравнения, описывающие движение груза, имеют вид [3]

$$\frac{d^2 X}{dt^2} = -\frac{m}{M} \cdot \phi + F(t),$$

$$\frac{d^2 \phi}{dt^2} = -\frac{g}{L} \cdot \frac{m+M}{M} \cdot \phi + \frac{F(t)}{L}.$$

Решением данных уравнений являются выражения

$$\phi(t) = \phi_0 \cdot \cos(\Omega t) + \frac{\phi_0}{\Omega} \cdot \sin(\Omega t) + \frac{F(t)}{\Omega^2} \cdot (1 - \cos(\Omega t)),$$

$$\dot{\phi}(t) = -\Omega \cdot a_0 \cdot \sin(\Omega t) + \dot{a}_0 \cdot \cos(\Omega t) + \frac{F(t)}{\Omega} \cdot \sin(\Omega t),$$

где  $\Omega$  - частота собственных колебаний груза;  $a_0$  и  $\dot{a}_0$  - начальные условия.

Определим интервалы времени силовых воздействий для диаграммы изменения усилий, состоящего из двух положительных интервалов (1 метод на рис.3). В отличие от 2-ого метода оптимального по быстродействию, полученный на основе принципа максимума Понтрягина, 1-ый метод имеет немного большее время переходного процесса, но гораздо

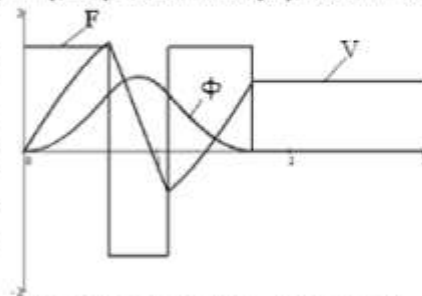


Рис.1 - Графики изменения усилия F, угла отклонения груза  $\phi$  и скорости V

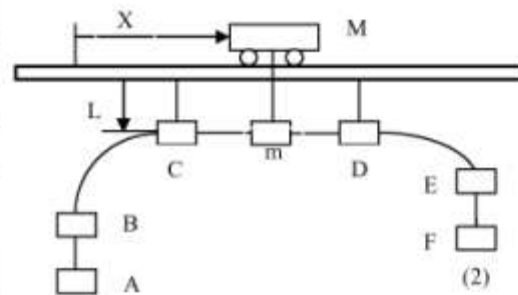


Рис.2 - Траектория перемещения груза

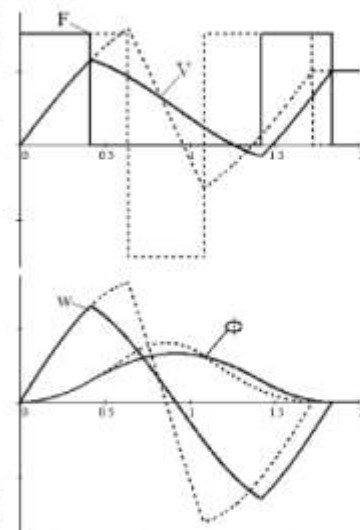


Рис.3 - Сравнение графиков изменения усилия, скорости, угла колебаний и его производной

меньшее усилие и меньше амплитуду колебаний.

Для определения интервалов времени необходимо составить уравнения (2) для каждого отрезка времени.

Интервал времени  $t_1$  соответствует времени нарастания скорости до значения половины максимальной:

$$t_1 = \frac{V_{max}}{2 \cdot a},$$

где  $a$  – ускорение.

Для определения интервала времени  $t_2$  необходимо решить уравнение (2) с учетом ненулевых начальных условий:

$$t_1 = \frac{2}{\Omega} \cdot \arctan\left(\frac{\sin(\Omega t_1)}{1 - \cos(\Omega t_1)}\right) + t_1.$$

Интервал  $t_3$  равен сумме:

$$t_3 = t_1 + t_2.$$

Рассмотрим участок траектории В-С на рис. 2. При одновременной работе двух механизмов, закон управления, полученный с помощью принципа максимума, не обеспечит отсутствие колебаний в конце переходного процесса, так как угол отклонения и скорость его изменения не равны нулю в момент времени  $t_3$  (Рис.4).

Поэтому предлагается использовать фаззи-регулятор, который в зависимости от значений  $\varphi$  и  $\varphi'$  в момент времени  $t_3$  определяет корректирующие интервалы времени силовых воздействий  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$  рис.5.

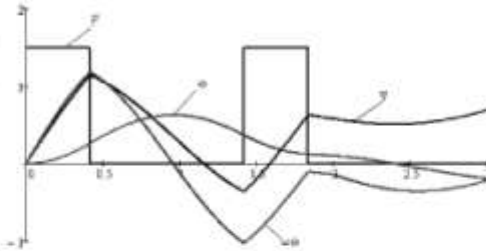


Рис.4 - Графики изменения усилия F, скорости V, угла отклонения груза  $\varphi$  и его скорости  $\varphi'$  при изменяющейся длине каната

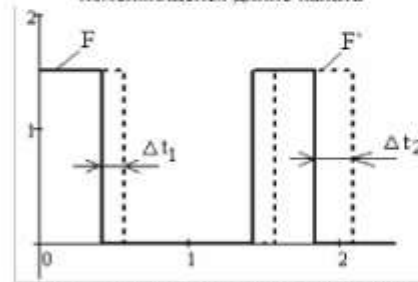


Рис.5 - Графики зависимости силовых воздействий с учетом корректирующих интервалов времени  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$

На рис.6 приведена функциональная схема системы управления, которая содержит оптимальное опережающее управление (ОПУ). ОПУ содержит блок формирования задания на момент (БФМ), выход которого подается на математическую модель системы.

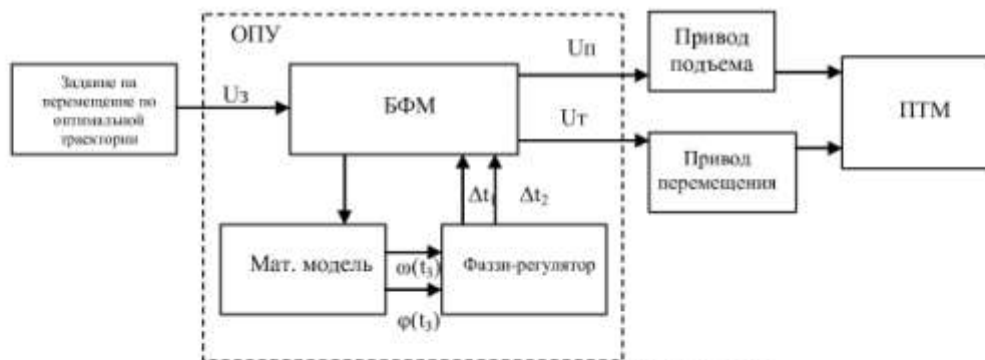


Рис.6 – функциональная схема системы управления

Выход математической модели  $\varphi(t_3)$  и  $\varphi'(t_3)$  подается на вход фаззи-регулятора, с выхода которого подается на БФ дополнительные интервалы времени силовых воздействий  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$ . С выхода БФМ подается сигнал управления на привод механизма перемещения.

Для составления фаззи-правил необходимо построить фазовую траекторию двух координат  $\varphi$  и  $\varphi'$ . При оптимальных показателях качества фазовая траектория в момент времени  $t_3$  возвращается в ноль. При переменной длине каната в зависимости от того в какой четверти находится траектория в момент времени  $t_3$  определяются фаззи-правила.

Вывод. Разработанный способ управления электроприводами механизмов перемещения и подъема обеспечивает достаточное быстродействие ПТМ без раскачивания груза.

Литература

1. J.J. Hamalainen, A.Marttien, L. Baharova, and J. Virkkunen, "Optimal Path Planning for a Trolley Crane : Fast and Smooth Transfer of Load," IEE Proc.-Control Theory and Appl., vol. 142, no. 1, pp.51-57, 1995.
2. Герасимьяк Р.П., Мельникова Л.В. Оптимальное управление крановым механизмом передвижения. // Автоматика. Автоматизация. Электротехн. Комплексы и системы. – 1999 - №1. – С. 87 – 94.
3. Панкратов А.И., Залытов А.Ф. Линеаризация электромеханической системы грузоподъемного механизма. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. Днепропетровск. 2007 г.