

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Аннотация: Рассматриваются принципы оптимизации на примере системы автоматически регулируемого предохранительного торможения шахтной подъемной установки по критерию обеспечения минимальных динамических перегрузок.

Ключевые слова: шахтная подъемная установка, автоматически регулируемое предохранительное торможение, распределенные параметры, упругая часть подъема.

Введение

Глубина современных шахтных подъемов достигла 2000 м, грузоподъемность сосудов – 75 т, масса канатов достигает 30 т, скорость подъема – 20 м/с, мощность электроприводов – 5-10 тыс. кВт. Вместе со снижением материалоемкости и снижения коэффициента массивности оборудования эти факторы привели к существенному влиянию упругой части подъемной установки (канаты с сосудами) на динамику подъема. В частности, при остановке подъемной машины механическим тормозом на глубине подъема 1000 м амплитуда колебаний концевых грузов достигает 1 м.

НПО "Красный металл" (г. Конотоп) совместно с ПО "Донецкгормаш" проводили исследования, разработку и внедрение в серийное производство систем автоматически регулируемого предохранительного торможения (АРПТ) шахтных подъемных установок (ШПУ) с глубиной подъема до 1000 м. Также проводились исследования в соответствии с межотраслевой программой по созданию и совершенствованию высокопроизводительных технологических комплексов центральных стволов шахт глубиной до 2000 м.

Постановка задачи

Из теории устойчивости и оптимальных систем известно, что качество переходного процесса определяют параметры передаточной функции объекта управления, а переходной процесс может считаться оптимальным, если в любой момент времени хотя бы одна из переменных достигает ограничения. Качество переходного процесса может быть обеспечено введением в структуру системы управления задающего устройства, формирующего оптимальный по динамическим параметрам закон воздействия на объект управления.

© В.И. Васильев, 2013

Исследования модели подъема

Синтез системы оптимального управления осуществляется на основе математического описания динамических свойств объекта. Для систем аварийного торможения в условиях глубоких шахт большое значение имеет влияние упругой части системы подъема (подвесные и уравнивающие канаты) и ее взаимодействие с движущимися массами (ведущий шкив трения с редуктором и двигателем, подъемные сосуды и массы канатов).

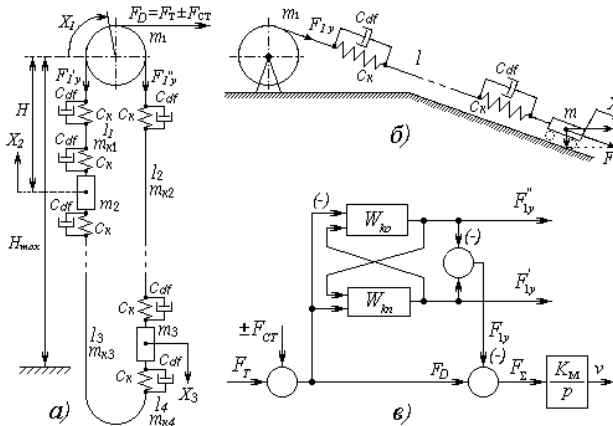


Рис. 1 – Расчетные схемы шахтных подъемов: вертикального уравновешенного (а), наклонного (б) и структурная схема упругой части подъема (в)

Расчетные схемы вертикального уравновешенного со шкивом трения и наклонного барабанного подъема в режиме аварийного торможения приведены на рис. 1а,б. Выходными параметрами в ней являются усилия в точках сопряжения канатов со шкивом трения подъемной машины (лифта), F'_{1y} и F''_{1y} , а входными усилия, $F_D = F_T \pm F_{CT}$ – приведенная к оси вращения масса всех движущихся частей установки; H , H_{max} – текущая и максимальная глубина подъема; F_D , F_T , F_{CT} , F'_{1y} , F''_{1y} – соответственно, усилия: динамическое, тормозное, статическое, упругие в точках сопряжения канатов со шкивом трения (барабаном); c_{ki} , c_{df} – соответственно, коэффициенты жесткости и демпфирования ветвей канатов, X_i – перемещения точек сосредоточенных масс, l_i – длины ветвей канатов.

Соответствующая расчетной структурная схема подъема, выполненная по методике [1], приведена на рис. 1в. Передаточные функции упругой части системы подъема для общего случая на рис. 1а:

$$W_{kn}(p) = \frac{\alpha_{11}(b'_0 p^4 + b'_1 p^3 + b'_2 p^2 + b'_3 p + b'_4)}{a'_0 p^4 + a'_1 p^3 + a'_2 p^2 + a'_3 p + a'_4};$$

$$W_{ko}(p) = \frac{\alpha_{21}(b''_0 p^4 + b''_1 p^3 + b''_2 p^2 + b''_3 p + b''_4)}{a''_0 p^4 + a''_1 p^3 + a''_2 p^2 + a''_3 p + a''_4},$$

где: $\alpha_{i1} = \frac{m_{ki}}{m_1}$ – коэффициенты соотношений движущихся масс, a'_i, a''_i, b'_i, b''_i – коэффициенты дифференциальных уравнений; K_M – коэффициент, учитывающий инерционные свойства подъемной машины; v – линейная скорость.

С учетом типа установки и упругих свойств подвесных и уравнивающих канатов, представленных структурной схемой на рис. 1в дифференциальные уравнения относительно усилий $F'_{1y}(p)$, $F''_{1y}(p)$ имеют восьмой порядок для уравниваемого и четвертый – для одноконцевого подъема. Для качественного управления объектом анализируются его динамические параметры и учитываются при синтезе системы управления. В частности, для систем подъема со шкивом трения в аварийных режимах наибольший практический интерес представляет случай расположения подъемных сосудов в крайних положениях, когда при перераспределении механической энергии между движущимися массами и упругой частью амплитуды усилий на основной частоте могут достигать значений, способных приводить к проскальзыванию канатов по шкиву трения. В этом случае можно пренебречь упругостью коротких ветвей, поскольку их коэффициенты жесткости и демпфирования, соответственно: $c_{k1} \rightarrow \infty$, $c_{k4} \rightarrow \infty$, $c_{df} \rightarrow \infty$, а массы ветвей уравнивающих канатов m_{ki} включить в соответствующие массы грузов m_2, m_3 . Это позволяет без существенных изменений параметров системы аппроксимировать динамические характеристики объекта управления уменьшением порядка дифференциальных уравнений системы.

Моделирование динамики такой системы показало отсутствие существенных изменений параметров на основной частоте, а возникающие в начальный момент амплитуды высокочастотных колебаний в коротких ветвях, быстро затухают и не вносят существенного влияния на динамику процесса.

Синтез задающего устройства

Как указано выше динамические свойства уравниваемого подъема могут быть описаны системой дифференциальных уравнений не ниже восьмого порядка. Также, любой затухающий колебательный процесс высокого порядка может быть аппроксимирован и описан уравнением:

$$y(t) = Ae^{-at} \sin(\omega t + \psi) + y_{ycm},$$

ускорения и рывка, тогда приняв $U_3 = K_c \cdot v$, получим расчетные соотношения:

$$a_m = K_2 U_{2m} / K_c; \rho_m = K_1 K_2 U_{1m} / K_c \text{ или}$$

$$K_1 = \rho_m U_{2m} / (a_m U_{1m}); K_2 = a_m K_c / U_{2m};$$

$$K_c = U_{bx} / v_m; K_1 = \rho_m / a_m; K_2 = a_m / v_m.$$

В соответствии с принятыми значениями K_1 и K_2 воздействие U_{bx} может иметь любую форму, а выходные сигналы U_1, U_2, U_3 будут изменяться по заданному закону. Для значений сигналов U_1 и U_2 , пропорциональных соответственно второй и первой производной основного управляющего сигнала U_3 , в качестве компенсирующих воздействий коэффициенты α_i выбираются из соотношений, учитывающих параметры объекта управления. Для аппроксимированной системы, представленной на рис. 1а и 2 коэффициенты задающего устройства:

$$\alpha_1 = K_1 K_2 a_2 / a_0, \alpha_2 = K_2 a_1 / a_0, \alpha_3 = 1.$$

На основании приведенных соотношений разработана цифровая модель системы подъема для режима предохранительного торможения, которая реализована в компьютерной программе. Результаты моделирования динамических процессов в упругой части подъема с применением в системе управления задающей модели устройства представлены на рис. 3.

В результате анализа осциллограмм, полученных при исследованиях и промышленных испытаниях систем АРПТ ШПУ, уточнены математические описания и цифровые модели динамических свойств систем. Установлено, что частота основных колебаний в упругой части уравновешенного подъема определяется в основном глубиной нахождения подъемных сосудов, тогда как изменения масс движущихся сосудов влияют менее значительно. Следовательно, определить параметры настройки задающего устройства, возможно путем сканирования усилий в канатах при номинальной нагрузке на соответствующих участках подъема или непрерывно с помощью функционального преобразователя, контролирующего перемещения сосудов в стволе.

Для уточнения оптимальных законов и алгоритмов работы замкнутых систем АРПТ ШПУ проведено моделирование их динамических режимов с учетом влияния упругой части подъема. Установлено, что в результате действий упругих сил в точках сопряжения канатов со шкивом трения торможение подъемной машины с постоянным замедлением при остановке приводит к значительным динамическим перегрузкам. Возникновение перегрузок

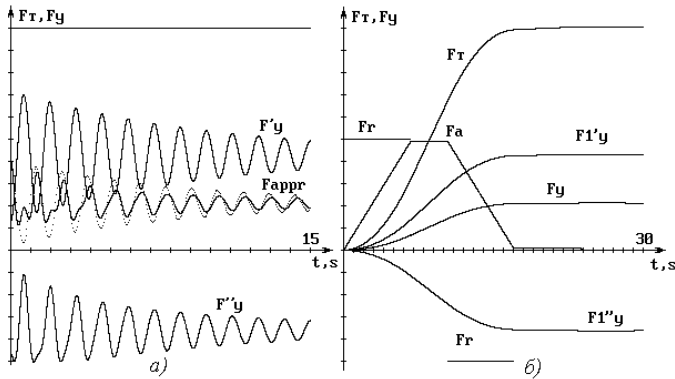


Рис. 3 – Моделирование динамических характеристик упругой части подъемной установки: а) переходные характеристики усилий $F_{1y}(t)$, и ее аппроксимация $F_{appr}(t)$; б) динамические характеристики упругой части по закону торможения с ограничением замедления и рывка

объясняется скачкообразным изменением замедления и без ограничения рывка. В уравновешенных системах подъема это может приводить к неуправляемому проскальзыванию канатов по зафиксированному тормозом шкиву. Предотвратить возникновение таких ситуаций можно рациональным управлением тормозом перед остановкой по достижении безопасной скорости путем снижения тормозного усилия.

На рис. 4 представлены результаты компьютерного моделирования предохранительного торможения наклонного подъема в режиме спуска груза с постоянным замедлением и с линейно сниженным перед стопорением. Обозначены: 1 – при постоянном замедлении $0,8 \text{ м/с}^2$, 2 – при линейном уменьшении того же замедления перед остановкой, 3 – при линейном уменьшении замедления $0,6 \text{ м/с}^2$ перед остановкой; скорости подъема: $V1(2,3)$ – действительная, $Vz1(2,3)$ – заданная; усилия: Fm , $Fm1(2,3)$ – тормозное; Fy , $Fy1(2,3)$ – упругое, в точках сопряжения каната со шкивом трения (барабаном), $U1-U3$ – сигналы управления приводом тормоза, T – период собственных колебаний упругой части подъема на основной частоте.

Выводы

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований, уточнены математические описания динамических режимов ШПУ для синтеза технических средств и оптимизации управления подъемом.

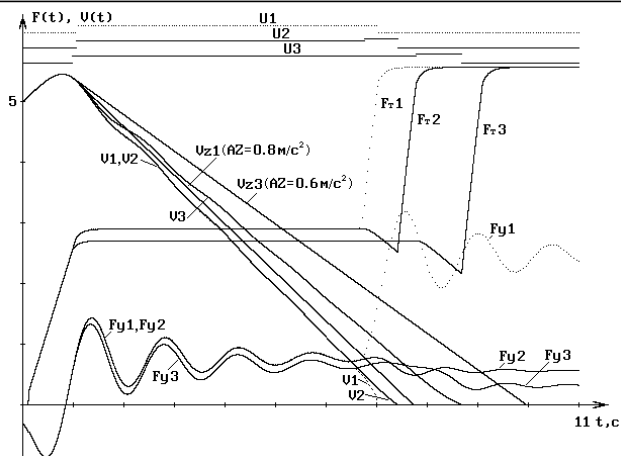


Рис. 4 – Моделирование динамики торможения наклонного подъема замкнутой системой АРПТ с различными режимами управления тормозом на минимальной скорости

Приведены результаты компьютерного моделирования оптимизированных систем. Методика синтеза может быть использована при создании систем управления объектами со сложной динамической структурой и параметрами.

Библиографический список

1. Чермалых В. М. Исследование сложных электромеханических систем. – Киев, КПИ, 1979. – 63 с.
2. А. с. № 1447743 (СССР). Устройство для управления приводом шахтной подъемной машины / Васильев В. И., Дубовик В. Г., Чермалых В. М. Опубл. 30.12.88. Бюл. № 48.
3. Васильев В. И. Компьютерное исследование динамики остановки ШПУ при предохранительном торможении / В. И. Васильев // Вісник Сум ДУ. Серія Технічні науки, 2011, №1 – С. 84-88.

Отримано 18.02.2013