© М.И. Безбородова, 2006

УДК 621.867.2

М.И. Безбородова

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ

Семинар № 13

Для разрабатываемых в настоящее время систем управления скоростью конвейера необходимо создание модели движения конвейерной ленты. Наиболее адекват-ной является пятимассовая модель движения конвейерной ленты, но в этом случае возникает необходимость использования сложных управляющих устройств и алгоритмов управления. Поэтому рассматривается задача создания пятимассовой модели движения конвейерной ленты и упрощенной модели для возможности использования типовых регуляторов, которые могут быть реализованы стандартным микроконтроллером.

Расчетная схема системы движения конвейерной ленты представлена на рис. 1.

Математическая модель описана десятью координатами состояния $X = (x_1, x_2, x_3, x_4, \delta, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_3, \dot{x}_4, \dot{\delta})$, где x_1, x_2, x_3, x_4 - перемещения сосредоточенных масс m_1, m_2, m_3, m_4; $\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_3, \dot{x}_4$ - скорости их перемещения; $\delta, \dot{\delta}$ - положение и скорость натяжного груза.

Математическая модель движения конвейерной ленты, составленная по расчетной схеме, представляет собой систему из пяти нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка:

1. $m_г(2\ddot{x}_1 + \ddot{x}_2) + m_п(2\ddot{x}_1 + \ddot{x}_4) + m_{пр}\ddot{x}_1 + (2x_1 - x_2 - x_4)C + 0.5(G_Г + G_П)lw\,\mathrm{sgn}\,\dot{x}_1 + \left(2\dot{x}_1 - \dot{x}_2 - \dot{x}_4\right)\eta = \dfrac{M_{пр}}{R_б}\mathrm{sgn}(\dot{x}_c - \dot{x}_1)$,

2. $m_г(2\ddot{x}_2 + \ddot{x}_3) + m_г(2\ddot{x}_2 + \ddot{x}_1) + (2x_2 - x_1 - x_3)C + G_г lw\,\mathrm{sgn}\,\dot{x}_2 + (2\dot{x}_2 - \dot{x}_1 - \dot{x}_3)\eta = 0$,

3. $m_г(2\ddot{x}_3 + \ddot{x}_2) + m_п(2\ddot{x}_3 + \ddot{x}_4) + (2x_3 - x_2 - x_4)C + 0.25(x_3 - x_4 - 2\delta)C_к + \left(2\dot{x}_3 - \dot{x}_2 - \dot{x}_4\right)\eta + 0.5(G_г + G_п)\times lw\,\mathrm{sgn}\,\dot{x}_3 = 0$,

4. $m_п(2\ddot{x}_4 + \ddot{x}_3) + m_П(2\ddot{x}_4 + \ddot{x}_1) + (2x_4 - x_1 - x_3)C + 0.25(x_4 - x_3 + 2\delta)C_к + G_п lw\,\mathrm{sgn}\,\dot{x}_4 + (2\dot{x}_4 - \dot{x}_1 - \dot{x}_3)\eta = 0$,

5. $\dfrac{G_{ну}}{g}\ddot{\delta} - 0.5(x_4 - x_3 + \delta)C_к + G_{ну} + G_{ну} f\,\mathrm{sgn}\,\dot{\delta} = 0$.

При составлении модели использованы следующие параметры:

l - длина ленты, м; $q_г$ - погонный вес грузовой ветви, Н/м; $q_п$ - погонный вес порожней ветви, Н/м; $m_г$ - масса грузовой ветви, кг; $m_п$ - масса порожней ветви, кг; $m_{пр}$ - масса привода, кг; $R_б$ - радиус барабана привода, мм; w - коэффициент сопротивления движению; f - коэффициент сопротивления движению натяжных грузов; η - вязкость ленты, Н/м; C - жесткость ленты, Н/м; $C_к$ - жесткость канатов натяжного устройства, Н/м; $M_{пр}$ - момент, создаваемый приводом конвейера, Н/м; $G_{ну}$ - вес натяжного устройства, кг.

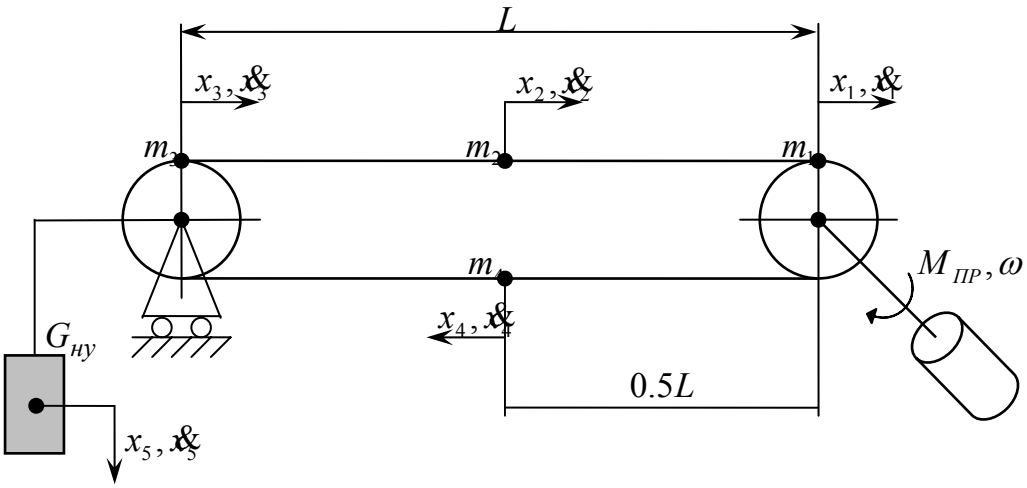

Рис. 1. Расчётная схема системы движения конвейерной ленты

В создаваемой системе управления скоростью ленточного конвейера необходимо изменять скорость движения ленты в точке загрузки (точка x_3). Разработаем более простую математическую модель, с достаточно большой адекватностью описывающую переходные процессы по скорости третьей сосредоточенной массы.

В классе моделей второго порядка достаточно хорошее приближение к S-образным переходным кривым дает передаточная функция вида:

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1},$$

где k – передаточный коэффициент, T – постоянная времени звена, ξ – относительный коэффициент затухания.

Идентификация модели, т.е. нахождение приближенной передаточной функции, описывающей состояние модели, проводилось с использованием схемы для определения приближенной модели объекта управления, представленной на рис. 2.

Сигнал, формирующийся на выходе привода, подается в 2 блока: полную модель движения ленты и приближенную модель. Из сигнала, полученного на выходе модели движения ленты $\dot{x}_3$, вычитается сигнал с выхода приближенной модели $\dot{\tilde{x}}_3$. Это и есть ошибка ε, с которой подобрана приближенная модель. Величина ошибки вычисляется по формуле:

$$\varepsilon = \dot{x}_3 - \dot{\tilde{x}}_3.$$

Для того, чтобы оценить накопленную за время переходного процесса ошибку, разность сигналов подается на интегратор, а затем ее величина снимается с экрана осциллографа. В данном случае ошибка, с которой подобрана приближенная модель, не превышает 5 % от установившегося значения скорости. Таким образом, подобрана близкая к исходной приближенная модель движения конвейерной ленты. Ошибка приближения не превышает допустимого значения для конвейера длиной 1000 м, производительностью 500 т/час, с резино-тканевой лентой жесткостью 1000 Н/м.

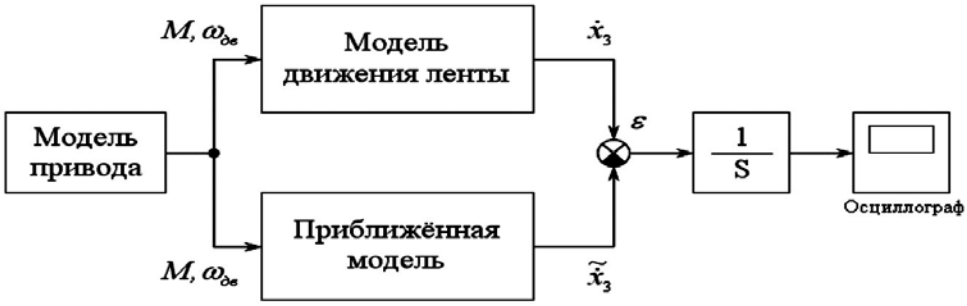

Рис. 2. Схема для определения приближенной модели объекта управления

Приближенная модель объекта управления имеет следующие параметры: передаточный коэффициент k= 0.89, постоянная времени T = =1.22, коэффициент затухания ξ = =0.33.

Таким образом, передаточная функция приближенной модели принимает вид:

$$W(p) = \frac{0.89}{1.5p^2 + 0.8p + 1}.$$

Для разработки системы управления скоростью ленточного конвейера используем типовой регулятор, а именно пропорционально–интегральный регулятор, настроенный по МО–кри-терию, так как модель является статической.

Передаточная функция ПИ–регулятора для упрощенной модели:

$$W_{рег}(p) = \frac{T_{из}p + 1}{T_u p} = k_п + \frac{k_u}{p},$$

где $T_{из} = 0.75$ с, $T_u = 3.4$ с, $k_п = \frac{T_{из}}{T_u}$,

$k_u = \frac{1}{T_u}$.

Коэффициенты настройки регулятора $\kappa_п = 0.22$, $\kappa_u = 0.29$.

Включим в замкнутую систему управления, в которой объект представлен пятимассовой моделью, ПИ–

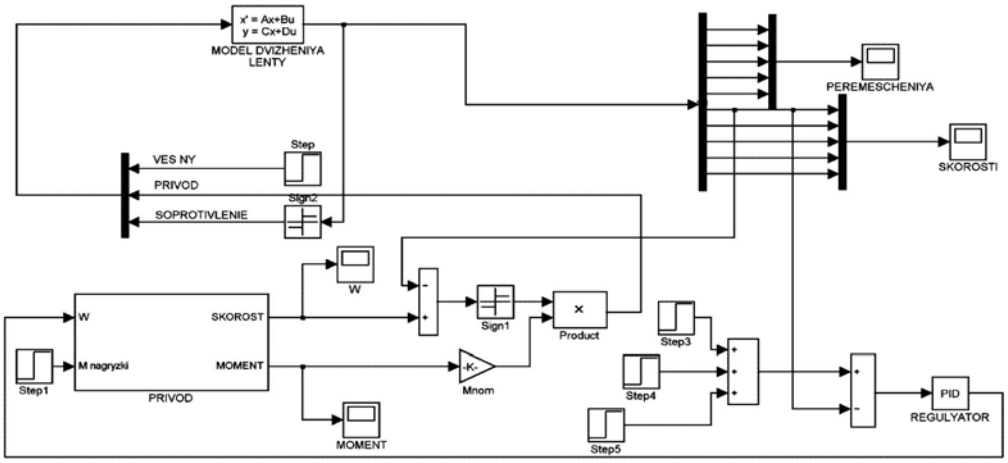

Рис. 3. Схема пятимассовой модели с регулятором

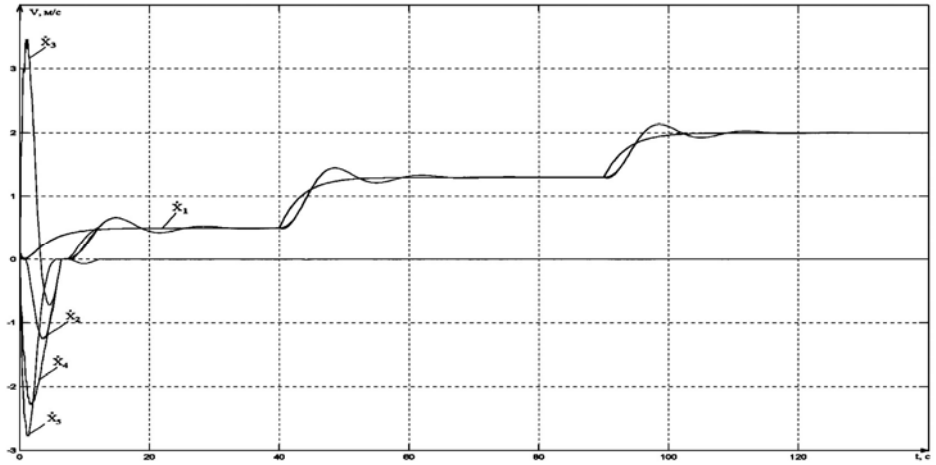

Рис. 4. Переходные процессы по скоростям сосредоточенных масс в пятимассовой системе с регулятором

регулятор, настроенный для упрощенной модели движения, и исследуем полученные переходные процессы.

Схема моделирования системы представлена на рис. 3.

Результаты моделирования представлены на рис. 4.

Проведенное моделирование показывает, что переход движущейся ленты с одной скорости на другую не вызывает больших нагрузок, время регулирования составляет 25 секунд, перерегулирование уменьшается до 10 %, движение сосредоточенных масс после переключения скорости плавное и совместное.

Из полученных результатов моделирования можно сделать вывод, что система управления скоростью ленты конвейера, разработанная для упрощенной модели движения, дает хорошие результаты и при использовании ее в пятимассовой модели движения конвейерной ленты. Следовательно, при найденных приближениях регулятор, настроенный для использования в упрощенной модели, успешно может применяться и в сложной пятимассовой модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Запенин И.В., Бельфор В.Е., Селищев Ю.А.* Моделирование переходных процессов ленточных конвейеров.

2. *Дмитриева В.В., Певзнер Л.Д.* Автоматическая стабилизация погонной нагрузки ленточного конвейера. – М.: Изд-во МГГУ. 2005. – 25 с.

3. *Лукас В.А.* Теория автоматического управления.

Коротко об авторах

Безбородова Марина Игоревна – магистр кафедры “Автоматика и управление в технических системах”, Московский государственный горный университет.