УДК 519.71

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА В ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ЛИНИИ

Овцов С. А.[1], Карпович Д. С.[1], Сарока В. В.[1]

1) Белорусский государственный технологический университет Минск, Республика Беларусь

Поставим комплексную задачу оптимального управления движением автооператора с подвеской. Эта задача заключается в том, что необходимо найти оптимальное управление движением автооператора при устранении колебаний подвески до момента остановки. Такая постановка задачи позволяет разгонять портальный автооператор по любому закону, при этом колебания подвески сохраняются в течение установившегося движения.

Для исследований примем двухмассовую модель механизма передвижения автооператора (рисунок 1), которая достаточно широко используется в задачах исследования динамики движения автооператора и оптимизации его движения.

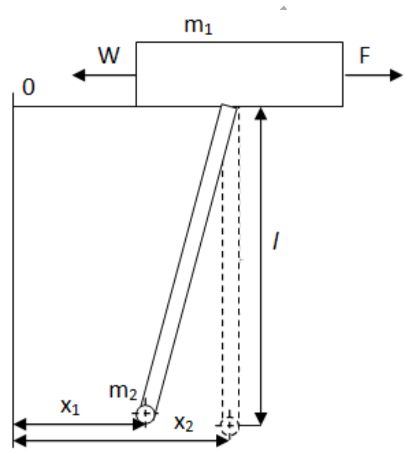

Рисунок 1 – Модель системы «рама-подвеска»

Приведена расчетная схема (рис. 1) описывается системой дифференциальных уравнений [3]

$$\begin{cases} m_1 x_1 + m_2 x_2 = F - W sign \dot{x}_1, \\ \ddot{x}_2 + \dfrac{g}{l}\left(x_2 - \bar{o}_1\right) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где m_1, m_2 - приведенная масса рамы автооператора и подвески с грузом;
x_1, x_2 - координаты центров масс соответственно рамы и подвески;
g - ускорение свободного падения;
l - длина подвески,
F - суммарное тяговое или тормозное усилие;
W - приведенная сила сопротивления перемещению рамы.

Считать, что при перемещении рамы в течение торможения рама не меняет свою скорость, то есть $sign \dot{x}_1 = 1$. Приведенную систему дифференциальных уравнений можно свести к одному уравнению второго порядке относительно разницы перемещений $x=x_1$ - x_2:

$$\ddot{x}+\omega^2 x=\frac{F-W}{m_1}, \tag{2}$$

где $\omega=\sqrt{\dfrac{(m_1+m_2)g}{m_1 l}}$ – частота собственных маятниковых колебаний груза относительно подвижной точки подвеса.

Дифференциальное уравнение (3) можно представить в виде системы канонических уравнений, если принять следующие обозначения $u=\dfrac{F-W}{m_1}$, $y_1=x$:

$$\begin{cases}\dot{y}_1=y_2\\ \dot{y}_2=u-\omega^2 y_1.\end{cases} \tag{3}$$

На управление накладываются ограничения в виде неравенства: $|u|\le u_{\max}$.

В качестве критерия оптимизации выберем комплексный (кинематико-динамический) интегральный критерий, который отражает в соответствующих пропорциях величину квадрата отклонения подвески с грузом от вертикали и величину квадрата динамической составляющей приводного усилия

$$I=\int_0^T\left[k_1x^2+k_2\left(\frac{F-W}{m_1}\right)^2\right]dt, \tag{4}$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты, стоящие при единичных условиях и которые можно записать в виде

$$\begin{cases}k_1=\delta_1\bar{I}_1^{-1},\\ k_2=(1-\delta_1)m_1^2\bar{I}_2^{-1},\end{cases} \tag{5}$$

где δ_1 – весовой коэффициент, учитывающий важность первого слагаемого в подынтегральном выражении критерия (4);

$\bar{I}_1$, $\bar{I}_2$ - минимально возможные значения единичных критериев.

Такая структура критерия позволяет получить оптимальное, по Парето, управление движением автооператора.

Поясним выбор именно такого критерия. По некоторым видам операций р транспортировки рамы требуется, чтобы величина отклонения подвески с грузом от вертикали была минимальной.

Что касается минимизации динамической составляющей приводного усилия, то это позволит уменьшить электрические потери в обмотках двигателя, поскольку эквивалентный момент асинхронного двигателя и двигателя постоянного тока независимого возбуждения примерно пропорциональны эквивалентного тока, которым и определяются электрические потери [1].

С учетом введенных выше обозначений критерий по выражению (5) можно переписать в виде

$$I=\int_0^T\left[k_1y_1^2+k_2u^2\right]dt \tag{6}$$

Для минимизации критерия (6) используем метод динамического программирования Р. Беллмана. Основное функциональное уравнение запишем так [2]:

$$\min\left[k_1 y_1^2 + k_2 u^2 + \frac{\partial S}{\partial y_1} y_2 + \frac{\partial S}{\partial y_2}\left(u - \omega^2 y_1\right)\right] = 0 \tag{7}$$

где S - функция Беллмана.

Минимум правой части уравнения (7) искать по параметру управления u, для чего продифференцируем ее по u и приравняем к нулю:

$$2k_2 u + \frac{\partial S}{\partial y_2} = 0 \tag{8}$$

Найдем из уравнения (8) управления u:

$$u = -\frac{1}{2k_2}\frac{\partial S}{\partial y_2}. \tag{9}$$

Подставим полученное в уравнение (7), в результате чего получим

$$k_1 y_1^2 + \frac{\partial S}{\partial y_1} y_2 - \frac{\partial S}{\partial y_2} y_1 \omega^2 - \frac{1}{4k_2}\left(\frac{\partial S}{\partial y_2}\right)^2 = 0. \tag{10}$$

Уравнение (10) является нелинейным дифференциальным уравнением в частных производных. Искать его решение в виде квадратичной формы, как это принято при решении подобных задач:

$$S = A_1 y_1^2 + A_2 y_1 y_2 + A_3 y_2^2, \tag{11}$$

где A_1, A_2, A_3 – постоянные коэффициенты, которые необходимо определить.

Возьмем частные производные выражения (10) по параметрам

$$\frac{\partial S}{\partial y_1} = 2A_1 y_1 + A_3 y_2, \tag{12}$$

$$\frac{\partial S}{\partial y_2} = A_3 y_1 + 2A_2 y_2, \tag{13}$$

Подставим выражения (12) и (13) в уравнение (10) и получим:

$$\left(k_1 - \frac{A_3^2}{4k_2} - A_3\omega^2\right) y_1^2 + \left(A_3 - \frac{A_2^2}{k_2}\right) y_1^2 + \left(2A_1 - \frac{A_2 A_3}{k_2} - 2A_2\omega^2\right) y_1 y_2 = 0. \tag{14}$$

Уравнение (14) будет справедливым в том случае, когда выражения в скобках будут равны нулю, поскольку $y_1 \neq 0, y_2 \neq 0$. Поэтому уравнение (14) можно заменить на систему нелинейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} k_1 - \dfrac{A_3^2}{4k_2} - A_3\omega^2 = 0, \\ A_3 - \dfrac{A_2^2}{k_2} = 0, \\ 2A_1 - \dfrac{A_2 A_3}{k_2} - 2A_2\omega^2 = 0. \end{cases} \tag{15}$$

Решение системы уравнений (15) будет иметь два действительных и два комплексных корня. Выберем один действительный корень, не приводит к потере устойчивости системы, поскольку движение системы при этом является плавным, а максимальная величина управления - незначительной.

Подставив найденные корни в выражение (9), получим функцию оптимального управления:

$$u = \frac{y_1\left[k_2\omega^2 - \sqrt{\left[k_2\left(k_1 + k_2\omega^4\right)\right]} - \sqrt{2}y_2\sqrt{k_2\left[\sqrt{\left[k_2\left(k_1 + k_2\omega^4\right)\right]} - k_2\omega^4\right]}\right]}{k_2}. \qquad (16)$$

Итак, нам удалось синтезировать функцию управления $u = u\left(y_1, y_2, k_1, k_2, \omega\right)$.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ловейкин, В.С. Комплексный синтез оптимального управления движением грузоподъемного крана. / В.С. Ловейкин, Ю.О. Ромасевич // Автоматизация производственных процессов в машиностроении и приборостроении – Киев, 2011.
2. Понтрягин, Л.С. Математическая теория оптимальных процессов / Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтнянский, Р.В. Гамкрелидзе, Е.Ф. Мищенко – М.: Физматгиз, 1961. – 392 с.
3. Комаров М.С. Динамика грузоподъемных машин / М.С. Комаров. – М.: Машиностроение, 1969. – 206 с.

УДК 004.89

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ С ДИНАМИЧЕСКОЙ МАСШТАБИРУЕМОЙ АРХИТЕКТУРОЙ НА ОСНОВЕ СХЕМ С ПРОГРАММИРУЕМОЙ ЛОГИКОЙ

Шуленков Р.А.

Белорусский государственный технологический университет

Классическая теория автоматического управления технологическими процессами базируются на применении PID регулятора, Fuzzy регулятора, гибридного регулятора и адаптивного регулятора. Зачастую сложно прогнозировать поведение технологической системы управления в стрессовых ситуациях, в процессах старта системы, эмпирическое поведение в практических действительностях функционирования системы. Прогнозирование так же, отличается от теоретического моделирования системы и управления системы, на основе объекта управления, результат не прогнозируемого поведения увеличивает материальные затраты [1].

Реализация алгоритма на базе раздела искусственного интеллекта – машинного обучения, с применением, численных методов оптимизации, дискретного анализа, базы знаний управления технологическим процессом, математической статистики и прогнозирования, теории автоматического управления и теории нечетких множеств, позволяет формировать алгоритм управления технологическим процессом максимально адаптированный для практического применения.