

УДК 62-83

СТАБИЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ

Попов Н.Е., Резников В.А.

*Государственный университет информатики
и искусственного интеллекта, г. Донецк*

Рассматривается нелинейная стохастическая система с упругими связями, движение которой, в силу внешних воздействий и динамических свойств, носит пульсирующий характер даже в режим холостого хода. Проанализированы предложенные ранее подходы и методы стабилизации системы, как системы со случайными параметрами. Предложен подход к стабилизации системы, как системы со случайной структурой.

В качестве объекта рассматривается механическая система (например, исполнительная система робота), осуществляющая перемещение рабочего органа в случайной среде с помощью гибкого тягового органа (каната или цепи) путем скольжения по направляющим (рис. 1).

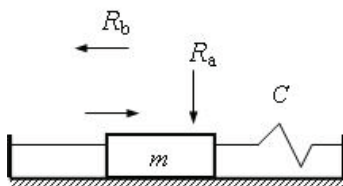


Рисунок 1 – Механическая схема объекта

Приводом объекта является электрический или гидравлический двигатель заданной мощности с жесткой механической характеристикой. Нагрузка, образующаяся на рабочем органе в результате его взаимодействия со случайной средой, представляет собой стационарный случайный процесс и по отношению к процессу перемещения может быть разложена на вертикальную $R_a(t)$ и горизонтальную $R_b(t)$ составляющие:

$$\begin{cases} R_a(t) = \tilde{k}_a(t)V(t); \\ R_b(t) = \tilde{k}_b(t)V(t), \end{cases} \quad (1)$$

где $\tilde{k}(t)$ – коэффициент преобразования, учитывающий случайные свойства внешней среды; $V(t)$ – мгновенная скорость перемещения объекта.

Причем, $\tilde{k}_a(t)$ и $\tilde{k}_b(t)$ являются стационарными случайными процессами и статистически не зависят от $V(t)$.

При угле наклона направляющих, равном нулю, уравнение движения имеет вид:

$$m\dot{V}(t) + C \int_0^t V(t)dt + [\tilde{k}_a(t)\mu(V) + \tilde{k}_b(t)]V(t) = C \int_0^t V_0(t)dt - mg\mu(V). \quad (2)$$

В работах [1, 2] проведен анализ данной системы при аппроксимации экспериментально полученной кривой трения выражением вида:

$$\mu(V) = b_0 + b_1V + b_2V^2 + b_3V^3 \quad (3)$$

В указанных работах механическая система рассматривалась, как объект стабилизации движения стохастической нелинейностью и случайными параметрами. При этом было показано следующее. Во-первых, исследование объекта без нарушения качественных характеристик изменения управляемой переменной можно проводить в режиме холостого хода. Во-вторых, аппроксимация исходной кривой трения выражением

$$\mu(V) = \begin{cases} \mu_{\Pi} - aV, & 0 \leq V < V_{KP}; \\ \mu_{ДВ} + a(V - V_{KP}), & V \geq V_{KP}, \end{cases} \quad (4)$$

где:

$$\begin{cases} a_1 = \frac{\mu_{\Pi} - \mu_{ДВ}}{V_{KP}}; \\ a_2 = \frac{\mu(V) - \mu_{ДВ}}{V - V_{KP}}. \end{cases} \quad (5)$$

также не сказывается на качественных и количественных характеристиках выходной переменной. В третьих, применение моделей (4) и (5) позволяет в общем случае отнести исследуемую

систему к классу объектов со случайной структурой.

Учитывая возможность исследования объекта в режиме холостого хода, положим $R_a(t)=0$ и $R_b(t)=0$. Тогда уравнение (2) примет вид:

$$m\dot{V} = C \int_0^t (V_0 - V) dt - mg\mu(V) \quad (6)$$

Совместный анализ формул (4), (5) и уравнения (6) позволяет рассматривать данный объект как динамическую систему с переменной структурой. Действительно, при $V < V_{кр}$ работает подсистема ПС1, описываемая уравнением

$$m\dot{V} = C \int_0^t (V_0 - V) dt - mg(\mu_{II} - a_1 V) \quad (7)$$

а при $V \geq V_{кр}$ – подсистема ПС2, описываемая уравнением

$$m\dot{V} = C \int_0^t (V_0 - V) dt - mg[\mu_{ДВ} + a_2(V - V_{КР})] \quad (8)$$

В работе [2] показано, что подсистемы ПС1 и ПС2 описываются передаточными функциями вида:

$$W_1(s) = \frac{V(s)}{V_0(s)} = \frac{1}{T^2 s^2 - 2\xi_1 Ts + 1}, \quad (9)$$

$$W_2(s) = \frac{V(s)}{V_0(s)} = \frac{1}{T^2 s^2 + 2\xi_2 Ts + 1}, \quad (10)$$

Известно, что основным элементом систем с переменной структурой является блок изменения структуры (БИС) [3]. Этот элемент системы задает такую логическую последовательность переключения структур, при которой используются полезные свойства каждой из них и тем самым формируются новые свойства, не присущие ни одной из используемых структур. Особенность рассматриваемого объекта заключается в том, что здесь смена структуры происходит не под действием некоторого управляющего сигнала, а является «естественным» свойством самого объекта.

С учетом сказанного алгоритм работы БИС имеет вид:

$$h_1 = \begin{cases} 1, & V < V_{KP}; \\ 0, & V \geq V_{KP}; \end{cases} \quad (11)$$

$$h_2 = \begin{cases} 1, & V \geq V_{KP}; \\ 0, & V < V_{KP}. \end{cases} \quad (12)$$

где h_1 и h_2 – сигналы «включения» подсистем ПС1 и ПС2 соответственно.

Рассмотрим, в какой мере описание объекта как системы с переменной структурой соответствует реальным физическим процессам. Изменения скорости перемещения объекта носят колебательный характер даже при $V_0 = const$. Поэтому при моделировании объекта как системы с переменной структурой будем полагать, что передний фронт импульса формируется неустойчивым звеном с передаточной функцией (9), а задний фронт – устойчивым звеном с передаточной функцией (10). Логическая последовательность взаимодействия указанных звеньев, позволяющих смоделировать процесс движения объекта, адекватный реальному процессу, может быть реализована с помощью структуры, показанной на рис. 2, из которой следует, что скорость перемещения объекта формируется на выходе звена с передаточной функцией $W_v(s)$, равной

$$W_v(s) = \frac{k_V}{s}. \quad (13)$$

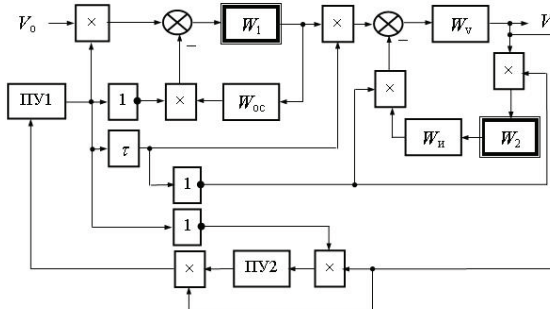


Рисунок 2 – Структурная схема объекта как системы с переменной структурой

Требуемое переключение звеньев с передаточными функциями $W_1(s)$ и $W_2(s)$ осуществляется пороговым устройством ПУ1.

При $V < V_{кр}$ структура объекта имеет вид, показанный на рис. 3. Выбором величины коэффициента k_v обеспечивается формирование переднего фронта импульсов скорости.

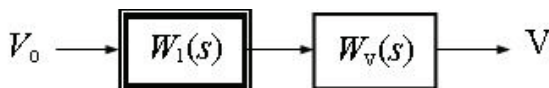


Рисунок 3 – Структурная схема объекта при $V < V_{кр}$

При $V \geq V_{кр}$ объект представляется в виде двух обособленных замкнутых контуров с отрицательной обратной связью и нулевым сигналом на входе (рис. 4).

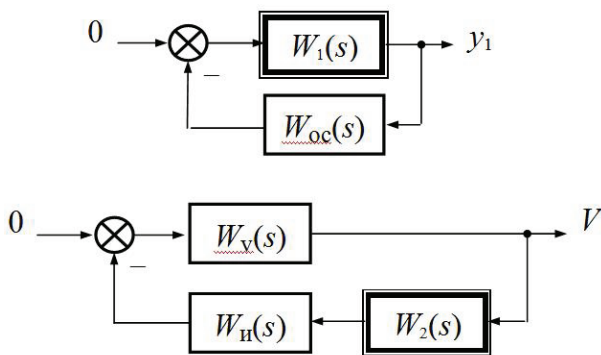


Рисунок 4 – Структурная схема объекта при $V \geq V_{кр}$

Верхний контур, показанный на рис. 4, предназначен для устойчивого обнуления выходного сигнала звена с передаточной функцией $W_1(s)$. Для этого в обратную связь включено звено с передаточной функцией $W_{oc}(s)$, равной

$$W_{OC}(s) = \frac{k_{OC}S}{T_{OC}S + 1}. \quad (14)$$

В таком случае характеристическое уравнение данного замкнутого контура имеет вид:



$$a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3 = 0, \quad (15)$$

где

$$\begin{cases} a_0 = T^2 T_{OC}; \\ a_1 = T^2 - 2\xi_1 T T_{OC}; \\ a_2 = T_{OC} - 2\xi_1 T + k_1 k_{OC}; \\ a_3 = 1. \end{cases} \quad (16)$$

Графики скорости движения объекта, как системы с переменной структурой, приведенные на рис. 5, показывают правомерность такого представления объекта.

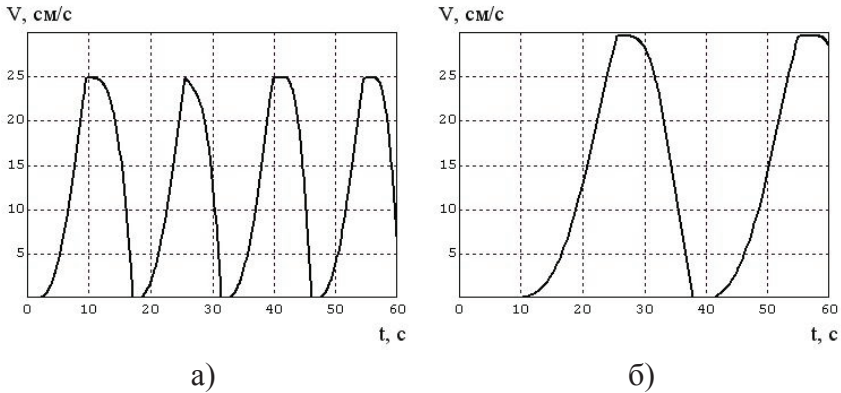


Рисунок 5 – Графики скорости движения объекта как системы с переменной структурой: а) при $C/m=0.2$; б) при $C/m=0.05$

Для формальной постановки решения и задачи стабилизации движения обратимся к рабочему режиму и определим, к какому классу систем со случайной структурой относится данная механическая система.

Согласно работе [4] в основу классификации систем со случайной структурой (ССС) положены следующие функции. Во-первых, случайные моменты времени состояния системы ν_k , которые считают процессом, обладающим такими свойствами, при которых суммарный процесс x_t , объединяющий все $x_t^{(i)}$, где

$i = \overline{1, S}$, является марковским со случайной структурой. Во-вторых, функция поглощения $v_t^{(i)}(x^{(i)})$, которая определяет условия, в результате которых происходит изменение состояния системы. В-третьих, функция восстановления $u_t^{(i)}x_t^{(i)}$, которая определяет начальные условия, с которыми начинает функционировать система в очередном состоянии.

Сопоставив данную классификацию с приведенными выше моделями рассматриваемой механической системы, можно сделать выводы, что исследуемый объект стабилизации относится к ССС с сосредоточенными переходами и связанными условиями восстановления.

Литература

- [1] Резников В.А. Анализ нелинейных моделей механизмов подачи тяжелых угольных комбайнов // Горные, дорожные и строительные машины: Респ. межвед. науч.-техн. сб., вып. 30. – К.: Вища школа, 1980. – С.44-47
- [2] Резников В.А. Стабилизация движения нелинейной исполнительной системы робота // Искусственный интеллект. – 2004. – №1. – С. 75-83
- [3] Емельянов С.В. и др. Теория систем с переменной структурой. – М.: Наука, 1970. – 592 с.
- [4] Артемьев В.М. Теория динамических систем со случайными изменениями структуры. – Минск: Высшая школа, 1979. – 159 с.