

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

¹Бахадиров Г.А., ²Хусанов К.Б., ¹Абдукаримов А., ³Баракаев Н.Р., ¹Набиев А.М.,
¹(НИЦ ПОМ при ТГТУ, г. Ташкент, Узбекистан)

Тел: (+998971) 262-73-55, факс: (+998971) 262-71-52, E-mail: instmech@rambler.ru

²(ТГАУ г. Ташкент, Узбекистан)

Тел: (+998971) 2604800, факс: (+998971) 2603860, E-mail: gdkd@yandex.ru

³(ГГУ, г. Гулистан, Узбекистан)

Тел: 8 (367) 225-17-32, факс: 8 (367) 2254042, E-mail: bnr_1967@mail.ru

Abstract: To control the movement of the working body of the technological machine, determine the optimum exposure. Control actions depend on the generalized coordinate. The optimal management of the sustainability of the perturbed motion roll pair technological machine.

Key words: management, equation, motion, steam roller machine.

Теоремы существования оптимального управления указывают на класс сил u и в котором подлежит выбрать оптимальное воздействие u^0 [1]. Для управления движения рабочего органа технологической машины, определяем оптимальное воздействие u_j^0 ($j = 1, 2, 3$). Для этого уравнения возмущенного движения возьмем в виде:

$$\dot{y} = Ay + Bu + W, \quad (1)$$

где $A = A(c, a_2, a_3, a_9, a_{10})$, $B = B(a_1, a_2, a_3, a_6, a_{10})$;

W - обозначает, что члены, измерение которых по y_1, y_2, \dots, y_6 и $\dot{y}_1, \dot{y}_2, \dots, \dot{y}_6$ выше первого. Уравнения (1) рассматривается вместе с уравнениями связями

$$g_M = g_N = g_3. \quad (2)$$

Согласно теореме о стабилизация движения, доказанной в работе [2] система (1) всегда может быть стабилизирована относительно многообразия, определяемого связями (2). Выберем для нелинейной системы (1) в качестве управляющих воздействий u_j величины:

$$u_j^0 = \gamma_{lj} \cdot y_j, \quad (3)$$

где γ_{ij} - постоянные. ($i = 1, 2, \dots, 6$; $j = 1, 2, 3$).

Подставив (3) в уравнение (1), получим нелинейные уравнения возмущенного движения:

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = y_2, \quad \dot{y}_2 = c_{21}y_1 + c_{22}y_2 + c_{23}y_3 + c_{24}y_4 + c_{25}y_5 + c_{26}y_6, \\ \dot{y}_3 = y_4, \quad \dot{y}_4 = c_{41}y_1 + c_{42}y_2 + c_{43}y_3 + c_{44}y_4 + c_{45}y_5 + c_{46}y_6 + R_2^1, \\ \dot{y}_5 = y_6, \quad \dot{y}_6 = c_{61}y_1 + c_{62}y_2 + c_{63}y_3 + c_{64}y_4 + c_{65}y_5 + c_{66}y_6 + R_3^1, \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{где } c_{21} = \frac{a_6}{2a_1} \gamma_{11}; c_{22} = \frac{a_6}{2a_1} \gamma_{21}; c_{23} = \frac{a_6}{2a_1} \gamma_{31}; c_{24} = \frac{a_6}{2a_1} \gamma_{41}; c_{25} = \frac{a_6}{2a_1} \gamma_{51}; c_{26} = \frac{a_6}{2a_1} \gamma_{61};$$

$$c_{41} = \frac{(a_3^2 + a_{10}) \cdot \gamma_{12} - 2a_2 a_3 \cdot \gamma_{13}}{2a_2 \cdot a_{10}}; c_{42} = \frac{(a_3^2 + a_{10}) \gamma_{22} - 2a_2 a_3 \gamma_{23}}{2a_2 \cdot a_{10}};$$

$$c_{43} = \frac{(a_3^2 + a_{10}) \gamma_{32} - 2c(a_3^2 + a_{10}) - 2a_2 a_3 \gamma_{33}}{2a_2 \cdot a_{10}}; c_{44} = \frac{(a_3^2 + a_{10}) \cdot \gamma_{42} - 2a_2 a_3 \cdot \gamma_{43}}{2a_2 \cdot a_{10}};$$

$$c_{45} = \frac{4a_2 a_3 a_9 + (a_3^2 + a_{10}) \gamma_{52} - 2a_2 a_3 \cdot \gamma_{53}}{2a_2 \cdot a_{10}}; c_{46} = \frac{(a_3^2 + a_{10}) \gamma_{62} - 2a_2 a_3 \gamma_{63}}{2a_2 \cdot a_{10}};$$

$$c_{61} = \frac{2a_2 \gamma_{13} - a_3 \gamma_{12}}{a_{10}}; c_{62} = \frac{2a_2 \gamma_{23} - a_3 \gamma_{22}}{a_{10}}; c_{63} = \frac{2a_3 c - a_3 \cdot \gamma_{32} + 2a_2 \cdot \gamma_{33}}{a_{10}};$$

$$c_{64} = \frac{2a_2 \cdot \gamma_{43} - a_3 \cdot \gamma_{42}}{a_{10}}; c_{65} = \frac{2a_2 \cdot \gamma_{53} - a_3 \cdot \gamma_{52} - 4a_9 a_2}{a_{10}};$$

$$c_{66} = \frac{2a_2 \cdot \gamma_{63} - a_3 \cdot \gamma_{62}}{a_{10}}.$$

Не нарушая постоянства коэффициентов γ_{ij} примем, что

$$\gamma_{13} = \frac{a_3}{2a_2} \gamma_{12}; \gamma_{23} = \frac{a_3}{2a_2} \gamma_{22}; \gamma_{32} = 2c; \gamma_{43} = \frac{a_3}{2a_2} \gamma_{42};$$

$$\gamma_{52} = 0; \gamma_{53} = 2a_9; \gamma_{63} = \frac{a_3}{2a_2} \gamma_{62}.$$

Тогда уравнение (4) примет вид:

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = y_2, & \dot{y}_2 = c_{21}y_1 + c_{22}y_2 + c_{23}y_3 + c_{24}y_4 + c_{25}y_5 + c_{26}y_6, \\ \dot{y}_3 = y_4, & \dot{y}_4 = c_{41}y_1 + c_{42}y_2 + c_{44}y_4 + c_{46}y_6, \\ \dot{y}_5 = y_6, & \dot{y}_6 = c_{63}y_3 + c_{65}y_5. \end{cases} \quad (5)$$

Построим характеристический определитель для системы (5):

$$\begin{vmatrix} -\lambda & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c_{21} & c_{22} - \lambda & c_{23} & c_{24} & c_{25} & c_{26} \\ 0 & 0 & -\lambda & 1 & 0 & 0 \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} - \lambda & 0 & c_{46} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda & 1 \\ 0 & 0 & c_{63} & 0 & c_{65} & -\lambda \end{vmatrix} = 0. \quad (6)$$

Раскрывая этот определитель и преобразуя его, получим характеристическое уравнение в виде:

$$b_0\lambda^6 + b_1\lambda^5 + b_2\lambda^4 + b_3\lambda^3 + b_4\lambda^2 + b_5\lambda + b_6 = 0, \quad (7)$$

где $b_0=1$; $b_1 = -c_{22} - c_{44}$; $b_2 = c_{22}c_{44} - c_{24}c_{42} - c_{21}$; $b_3 = c_{21}c_{44} - c_{43} - c_{24}c_{41}$;

$$b_4 = c_{43}c_{22} - c_{63}c_{46} - c_{42}c_{23} + c_{21}c_{46}c_{63} - c_{23}c_{41};$$

$$b_5 = c_{22}c_{63}c_{46} - c_{42}c_{63}c_{26} - c_{41}c_{63}c_{26}; \quad b_6 = -c_{42}c_{63}c_{25} - c_{41}c_{25}c_{63}.$$

Построим из коэффициентов b_0, b_1, \dots, b_6 уравнения (7) матрицу Гурвица [3]

$$\begin{vmatrix} b_1 & b_3 & b_5 & 0 & 0 & 0 \\ b_0 & b_2 & b_4 & b_6 & 0 & 0 \\ 0 & b_1 & b_3 & b_5 & 0 & 0 \\ 0 & b_0 & b_2 & b_4 & b_6 & 0 \\ 0 & 0 & b_1 & b_3 & b_5 & 0 \\ 0 & 0 & b_0 & b_2 & b_4 & b_6 \end{vmatrix}.$$

Известно, что если при $b_0 > 0$ все главные диагональные миноры Гурвица $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_6$ положительны, то невозмущенное движение асимптотически устойчиво, независимо от членов выше первого порядка малости. Поэтому определяем коэффициенты уравнения (7) таким образом, чтобы выполнялись условия Гурвица:

$$\Delta_1 = b_1 = \frac{2}{3}; \quad \Delta_2 = b_1b_2 - b_3b_0 = \frac{2}{3}; \quad \Delta_3 = b_3 \cdot \Delta_2 - b_1^2b_0b_4 + b_0b_1b_5 = \frac{2}{9} \cdot \frac{a_2a_9}{a_{10}} > 0;$$

т.к. $a_2 > 0$; $a_9 > 0$ и $a_{10} > 0$.

$$\Delta_4 = b_4 \cdot \Delta_3 - b_2b_5 \cdot \Delta_2 + b_1^2b_2b_6 + b_0b_1b_4b_5 - b_0^2b_5^2 - b_0b_1b_3b_6 =$$

$$\frac{2a_2a_9a_{10} - a_2^2a_9^2}{9a_{10}^2} + 0,004 > 0;$$

т.к. $a_{10} > a_2a_9$;

$$\Delta_5 = b_5\Delta_4 - b_6\Delta_3 + b_6b_1b_5\Delta_2 - b_6^2b_1^3 =$$

$$= \frac{2a_2^2a_9^2a_{10} - a_2^3a_9^3 + 0,009a_2a_9a_{10}^2}{27a_{10}^3} - 0,000029 > 0,$$

$$\Delta_6 = \Delta_5 \cdot b_6 = \Delta_5 \cdot 0,01 > 0.$$

где значения коэффициентов управляющего воздействия (3) определяются формулами:

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma_{11} = -\frac{16a_1}{7a_6}; \quad \gamma_{12} = 2a_3; \quad \gamma_{13} = \frac{a_3^2}{a_2}; \quad \gamma_{21} = \frac{a_1}{a_6}; \quad \gamma_{22} = -\frac{205}{42}; \quad \gamma_{31} = \frac{84a_1a_2a_3}{(205-84a_3)a_6}; \\ \gamma_{32} = 2c; \quad \gamma_{33} = \frac{a_{10}}{c}; \quad \gamma_{41} = \frac{2a_1a_2}{a_6}; \quad \gamma_{42} = -\frac{7}{3}a_2; \quad \gamma_{23} = \frac{205a_3}{84a_2}; \quad \gamma_{61} = \frac{28(3a_2a_9 + 7a_{10})}{3a_{10}(205a_6 - 168a_3a_6)}; \\ \gamma_{62} = -\frac{14}{9}c; \quad \gamma_{63} = -\frac{7a_3c}{9a_2}; \quad \gamma_{43} = -\frac{7}{6}a_3; \quad \gamma_{51} = \frac{0,84a_1c}{a_6(205-84a_1a_3)}; \quad \gamma_{52} = 0; \quad \gamma_{53} = 2a_9. \end{array} \right. \quad (8)$$

Значения коэффициентов (8), подставив в уравнении (3):

$$\begin{aligned} u_1^0 &= -\frac{16a_1}{7a_6}y_1 + \frac{a_1}{a_6}y_2 + \frac{84a_1a_2a_3}{(205-84a_3)a_6}y_5 + y_3 \frac{2a_1a_2}{a_6}y_4 + \\ &\quad \frac{0,84a_1c}{a_6(205-84a_1a_3)}y_5 + \frac{28(a_2a_9 + 7a_{10})}{3a_{10}(205 \cdot a_6 - 168a_3a_6)}y_6, \\ u_2^0 &= 2a_3y_1 - \frac{205}{42}y_2 + 2cy_3 - \frac{7}{3}a_2y_4 - \frac{14}{9}c \cdot y_6, \\ u_3^0 &= \frac{84a_1a_2a_3}{(205-84a_3)a_6}y_1 + y_3 \frac{205a_3}{84a_2}y_2 + \frac{a_{10}}{c}y_3 - \frac{7}{6}a_3y_4 + 2a_9y_5 - \frac{7a_3c}{9a_2}. \end{aligned}$$

Таким образом, управляющие воздействия u_j^0 зависят от обобщенной координаты y_1, y_2, \dots, y_6 . Найденные оптимальные управления u_j^0 обеспечивают асимптотическую устойчивость возмущенного движения валковой пары технологической машины.

Список литературы: 1. Красовский Н.Н. Теория управления движением. М.: Изд-во «Наука».1968.-475 с. 2. Бахадиров Г.А., Ризаев А.А., Аманов Т.Ю., Абдукаримов А., Хусанов К.Б., Набиев М.Б. Автоматизация и управление процессов механической технологии обработки листовых материалов. АН РУз, Ин-т механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т.Уразбаева. - Т.: «Фан», 2013. 200 с. 3. Меркин Д.Р. Введение в теорию устойчивости движения. М.: Изд-во «Наука» 1987. -304 с.