НАУКА И НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, № 1, 2006

Лебедев О.В., Пономарева О.М., Калманбетова А.Ш.

УСТОЙЧИВОСТЬ РЕЖИМОВ В ГИДРОПРИВОДАХ КОЛЕСНЫХ МАШИН

O.V. Lebedev, O.M. Ponomareva, A.Sh. Kalmanbetova

STABILITY OF MODES IN HYDRODRIVES OF WHEEL MACHINES

УДК: 531.3: 629.102

Проблема возбуждения бигармонических автоколебаний в системе приводов колесных машин и устойчивость режимов изучены недостаточно.

В статье разработана методика численного расчета при одночастотном и бигармоническом режиме колебаний, с помощью которого можно анализировать устойчивость режимов гидроприводных колесных машин.

The problems of biharmonic self- induced ibations in the system of driuind gears in wheeled machines and operation stability are studied insufficiently.

In the article the methods of calculation under condition of single - brequency and biharmonic vibrations are developed By means of these methods operation stability in hydrodriuing gears of wheeled machined can be analyzed.

Задачи о возбуждении автоколебательных процессов в гидроприводах строительных и дорожных машин изучены недостаточно. Особый интерес вызывает проблема возбуждения бигармонических автоколебаний в системе приводов колесных машин и устойчивость режимов.

Результаты экспериментальных исследований гидро- и электроприводов технологических машин, в которых в процессе выполнения полезной работы образуется пара трения, указывают на возможность автоколебаний с несколькими частотами. [1,2]

Обобщенную модель динамики управляемого машинного агрегата запишем так

$$\begin{aligned} &T_e\dot{M} = \beta(\omega_0 - \dot{\varphi}_1),\\ &J_1\ddot{\varphi}_1 + b_{12}(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) = M,\\ &J_2\ddot{\varphi}_2 + b_{12}(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) = -M_{0s} + \alpha_1\dot{\varphi}_2 - \alpha_3\dot{\varphi}_2^3, \end{aligned} \quad (1)$$

где M- момент двигателя; J_1 – момент инерции

$$\varphi_1 = \xi + \frac{J_2}{J_0}\vartheta_{12} \qquad \varphi_2 = \xi - \frac{J_1}{J_0}\vartheta_{12} \quad (2)$$

$$\dot{\xi} = u, \quad J_0 = J_1 + J_2, \quad \tau = \left[\frac{c_{12}J_0}{J_1J_2}\right]^{0,5} t = \Omega_{12}t$$

Приведем уравнение (1) к виду:

$$\begin{aligned} &\ddot{m} + a_{11}m + c_{12}\ddot{\vartheta}_{12} = m_0 - b_{11}\dot{m} + \delta_1\left(\dot{\vartheta}_{12} + \delta_2 m + \delta_3\dot{m}\right) - 3\delta_2\delta_4\left(\dot{\vartheta}_{12} + \delta_2 m + \delta_3\dot{m}\right)\\ &+ 3\delta_4\left(\dot{\vartheta}_{12} + \delta_2 m + \delta_3\dot{m}\right)^2 - \delta_3\left(\dot{\vartheta}_{12} + \delta_2 m + \delta_3\dot{m}\right)^3,\\ &\ddot{\vartheta}_{12} + \vartheta_{12} - a_{21}m = \vartheta_{12}^0 - b'_{12}\dot{\vartheta}_{12} + \delta_6\left(\dot{\vartheta}_{12} + \delta_2 m + \delta_3\dot{m}\right) - 3\delta_2\delta_7\left(\dot{\vartheta}_{12} + \delta_2 m + \delta_3\dot{m}\right) +\\ &+ 3\delta_7\left(\dot{\vartheta}_{12} + \delta_2 m + \delta_3\dot{m}\right)^2 + \delta_8\left(\dot{\vartheta}_{12} + \delta_2 m + \delta_3\dot{m}\right)^3 \end{aligned} \quad (3)$$

где m, ϑ_{12} – безразмерные переменные, а коэффициенты уравнений – безразмерные величины и определяются на основании следующих формул:

$$\begin{aligned} &m = \frac{M}{\beta\omega_0},\ a_{11} = \frac{1}{\Omega_{12}^2 T_e T_m},\ c_{12} = \frac{J_2}{T_e T_m \beta\omega_0},\ a_{21} = \frac{\beta\omega_0}{J_1\Omega_{12}^2},\ b_{11} = \frac{1}{T_e\Omega_{12}},\ b'_{12} = \frac{b_{12}J_0}{J_1J_2\Omega_{12}}\\ &\delta_1 = \frac{\alpha_1}{T_e J_0\omega_0},\ \delta_2 = \frac{\omega_0}{\Omega_{12}},\ \delta_3 = T_e\omega_0,\ \delta_4 = \frac{\alpha_3}{T_e J_0},\ \delta_5 = \frac{\alpha_3\Omega_{12}}{T_e J_0\omega_0},\ \delta_6 = \frac{\alpha_1}{J_2\Omega_{12}},\ \delta_2 = \frac{\alpha_3\omega_0}{J_2}\\ &\delta_8 = \frac{\alpha_3\Omega_{12}}{J_2} \end{aligned} \quad (4)$$

Приведем систему нелинейных уравнений (4) к стандартному виду, полагая

$$m(\tau) = \frac{m_0}{\alpha_{11}} + A_1\sin(\varpi_1\tau + \theta_1) + A_2\sin(\varpi_2\tau + \theta_2),\ \vartheta_{12}(\tau) = \vartheta_{12}^0 + A_1 d_1\sin(\varpi_1\tau + \theta_1) + A_2 d_2\sin(\varpi_2\tau + \theta_2) \quad (5)$$

где $d_i = \frac{\left(a_{11} - \varpi_i^2\right)}{c_{12}\varpi_i^2}$ i=1,2; ϖ_i- безразмерные частоты линейной системы.

В новых переменных A_1, A_2, θ_1, θ_2 систему уравнений (4) запишем как:

$$
\begin{aligned}
&\varpi_1(d_2-d_1)\frac{dA_1}{d\tau}=\varepsilon\big(f_1d_2-f_2(1+c_{12}d_2)\big)\cos\psi_1,\\
&\varpi_2(d_2-d_1)\frac{dA_2}{d\tau}=\varepsilon\big(f_2(1+c_{12}d_1)-f_1d_1\big)\cos\psi_2,\\
&A_1\varpi_1(d_2-d_1)\frac{d\theta_1}{d\tau}=\varepsilon\big(f_2(1+c_{12}d_2)-f_1d_2\big)\sin\psi_1,\\
&A_2\varpi_1(d_2-d_1)\frac{d\theta_2}{d\tau}=\varepsilon\big(f_1d_1-f_2(1+c_{12}d_1)\big)\sin\psi_2
\end{aligned}
\tag{6}
$$

где $\psi_i=\varpi_1\tau+\theta_i,\ i=1,2 \qquad d_2\neq d_1$

а) При одночастных режимах

$$
A_1=\frac{2}{\varpi_1(d_1+\delta_3)}\sqrt{-\frac{a_{01}}{3a_{11}}},\ \ A_2=0,\quad A_1=0,\ \ A_2=\frac{2}{\varpi_2(d_2+\delta_3)}\sqrt{-\frac{a_{02}}{3a_{22}}} \tag{7}
$$

б) При бигармоническом режиме

$$
A_1^2=\frac{2}{3\varpi_1(d_1+\delta_3)}\sqrt{-\frac{a_{01}a_{22}-2a_{22}a_{11}}{a_{11}a_{22}}}\qquad A_2^2=\frac{2}{3\varpi_2(d_2+\delta_3)}\sqrt{-\frac{a_{02}a_{11}-2a_{01}a_{22}}{a_{11}a_{22}}} \tag{8}
$$

В случае а) может существовать три нетривиальных решения, которые аналитически определяются как показано в (7).

В случае б) формулы для амплитуд одночастотных режимов совпадают с формулами (7), амплитуды же бигармонического режима должны определяться из системы нелинейных алгебраических уравнений:

$$
\begin{aligned}
&a_{01}+0{,}75A_1^2\varpi_1^2(d_1+\delta_3)^2a_{11}+1{,}5A_2^2\varpi_2^2(d_2+\delta_3)^2a_{11}+\\
&+0{,}75A_1\varpi_1A_2\varpi_2(d_1+\delta_3)(d_2+\delta_3)a_{11}=0,\\
&a_{02}A_2\varpi_2+1{,}5A_1^2\varpi_1^2(d_1+\delta_3)^2a_{22}+0{,}75A_2^3\varpi_2^3(d_2+\delta_3)^2a_{22}+\\
&+0{,}25A_1^3\varpi_1^3(d_1+\delta_3)^2a_{12}=0,
\end{aligned}
\tag{9}
$$

которые аналитического решения не имеют и определяются приближенно с помощью численного метода.

В случае а) необходимым условием существования бигармонического режима будет положительность подкоренных выражений в (8). В то же время в случае б) необходимо с помощью численного режима найти $A_1\neq 0$, $A_2\neq 0$ которые будут решением системы алгебраических уравнений (9).

Сложные аналитические зависимости (8) в случае а), а также возможность только численного решения задачи в случае б) не позволяют сделать какие-либо общие выводы.

В этой связи исследуем возможность возбуждения бигармонических автоколебаний в системе привода, параметры которого следующие:

$J_1 = 7{,}1440^{-2}$ кГ · м^2, $J_2 = 3{,}5710^{-2}$ кГ· м^2,
$J_0 = 10{,}71\cdot10^{-2}$ кГ · м^2, $c_{12}=1{,}08\cdot10^3$ Нм,
$b_{12} = 2$ Нм · с, $\omega_0 = 1{,}57\cdot10^2$ рад·с, $T_m = 1{,}3\cdot10^{-2}$ с,
$\beta = 8{,}08$ Нм · с, $T=1{,}410^{-2}$ с,
$M_{0s}= 240$ Нм, $\alpha_1 = 6$ Нм · с, $\alpha_3= 1{,}44\cdot10^{-4}$ Нм·с^3.

природных во параметрах системы привода уравнения (9), определяющие амплитуды автоколебательных режимов, будут такими:

$$
\begin{aligned}
&-01{,}13 + 1{,}302A_1^2 + 46{,}182\,A_2^2 - 5{,}526\,A_1A_2 = 0,\\
&-0{,}234\,A_2 + 3{,}7684\,A_1^2 + 43{,}37\,A_2^3 - 0{,}151\,A_1^3 = 0
\end{aligned}
$$

Из уравнения (10) видно, что значения для амплитуд одночастотных автоколебательных режимов одинаковы в обоих случаях. В то же время для амплитуд бигармонических колебаний получаем отличные результаты:

а) $A_1 = 0{,}233$; $A_2 = 0{,}032$;
б) $A_1 = 0{,}198$; $A_2 = 0{,}051$.

Как видно, различие в величинах амплитуд значительное. Бигармонический режим а) неустойчивый, бигармонический режим б) устойчивый.

Таким образом, используя данную методику расчета можно анализировать устойчивость режимов в гидроприводах колесных машин.

Литература:

1. *Ротенберг Р.В.* Подвеска автомобиля. Изд. 3-е, переработанное и доп. М, Машиностроение, 1972. 312с.

2. *Беленький Ю.Б.* и др. Влияние демпфирующих свойств шины на параметры колебаний автомобиля. «Автомобильная промышленность», 1967, №12.