

УДК 62-83-52:621.3.025.3

В.М. Завьялов, И.А. Куприянов

ПОДАВЛЕНИЕ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ В ТРЕХМАССОВОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Большое число отказов бурового станка связано с выходом из строя элементов трансмиссии. Одной из основных причин поломки элементов трансмиссии является накопление усталостных повреждений. Переходные процессы, вызванные резкопеременным характером нагрузки ускоряют процесс усталостного разрушения деталей [1]. Таким образом, подавление упругих колебаний в трансмиссиях буровых станков является эффективным средством повышения их надежности.

В качестве структурной схемы привода вращения бурового станка можно воспользоваться трёхмассовой механической системой [1]. К первой массе отнесем ротор двигателя и вал-шестерню, ко второй – сателлит, ведило и две трети буровой штанги, а к третьей – одну треть буровой штанги и шарошечное долото. На рис. 1 изображена структурная схема трёхмассовой механической системы.

Запишем уравнения, описывающие трёхмассовую механическую систему[2]:

$$\begin{aligned} \dot{\omega}_1 &= \frac{1}{J_1}(M - M_{12} - b_{12}(\omega_1 - \omega_2)); \\ \dot{\omega}_2 &= \frac{1}{J_2}(M_{12} + b_{12}(\omega_1 - \omega_2) - M_{23} - \\ &\quad - b_{23}(\omega_2 - \omega_3)); \\ \dot{\omega}_3 &= \frac{1}{J_3}(M_{23} + b_{23}(\omega_2 - \omega_3) - M_C); \\ \dot{M}_{12} &= C_{12}(\omega_1 - \omega_2); \\ \dot{M}_{23} &= C_{23}(\omega_2 - \omega_3), \end{aligned} \quad (1)$$

где ω_1 , ω_2 , ω_3 – угловые скорости масс; M – момент на выходе двигателя (входное воздействие); M_C – момент сопротивления со стороны забоя;

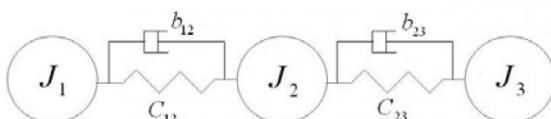


Рис. 1. Структурная схема трёхмассовой механической системы: J_1 , J_2 , J_3 – моменты инерции соответственно первой, второй и третьей массы; C_{12} , C_{23} – коэффициенты жесткости между первой и второй и второй и третьей массами; b_{12} – коэффициент вязкого трения между первой и второй массой; b_{23} – коэффициент вязкого трения между второй и третьей массой

M_{12} , M_{23} – моменты упругих сил между массами.

Так как отказы трансмиссии привода вращения бурового станка чаще происходят в связи с выходом из строя элементов редуктора, стабилизировать нужно упругий момент между первой и второй массами расчётной схемы.

Для стабилизации M_{12} осуществим синтез закона управления трёхмассовой системой с использованием синергетической теории управления, аналогично тому, как это было сделано в [3]. В результате получим закон управления:

$$M = \left[\begin{array}{l} M_{12} + \frac{J_1}{J_2}(M_{12} + b_{12}(\omega_1 - \omega_2)) - \\ \quad - M_{23} - b_{23}(\omega_2 - \omega_3)) - \\ - J_1\left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}\right)(\omega_1 - \omega_2) - \frac{J_1}{T_1 T_2 C_{12}} \times \\ \quad (M_{12} - M_{12}^*) + b_{12}(\omega_1 - \omega_2) \end{array} \right] \quad (2)$$

стабилизирующий упругий момент M_{12} .

Анализ полученного закона управления показал, что составляющие уравнения $b_{12}(\omega_1 - \omega_2)$ и $b_{23}(\omega_2 - \omega_3)$ имеют относительно небольшие значения и не влияют на качество управления, в результате чего, закон управления можно упростить:

$$M = \left[\begin{array}{l} M_{12} - J_1\left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}\right)(\omega_1 - \omega_2) + \\ \quad + \frac{J_1}{J_2}(M_{12} - M_{23}) - \\ \quad - \frac{J_1}{T_1 T_2 C_{12}}(M_{12} - M_{12}^*) \end{array} \right]. \quad (3)$$

При моделировании трёхмассовой механической системы использовалась нагрузка, имеющая постоянную и резкопеременную составляющие. Резкопеременная составляющая нагрузки моделировалась с использованием фрактального броуновского движения [4]. Результаты компьютерного моделирования работы трёхмассовой механической системы с законом управления (3) представлены на рис. 2. При моделировании использовались параметры бурового станка СБШ-270 ИЗ:

$$\begin{aligned} J_1 &= 0.491, J_2 = 1.291, J_3 = 0.028 \text{ кг}\cdot\text{м}^2, \\ C_{12} &= 3254000, C_{23} = 4847 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{рад}, \\ T_1 &= T_2 = 0.001 \text{ сек}, M_{12}^* = 1500 \text{ Н}\cdot\text{м}, \\ b_{12} &= 742, b_{23} = 0.6 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{сек}. \end{aligned}$$

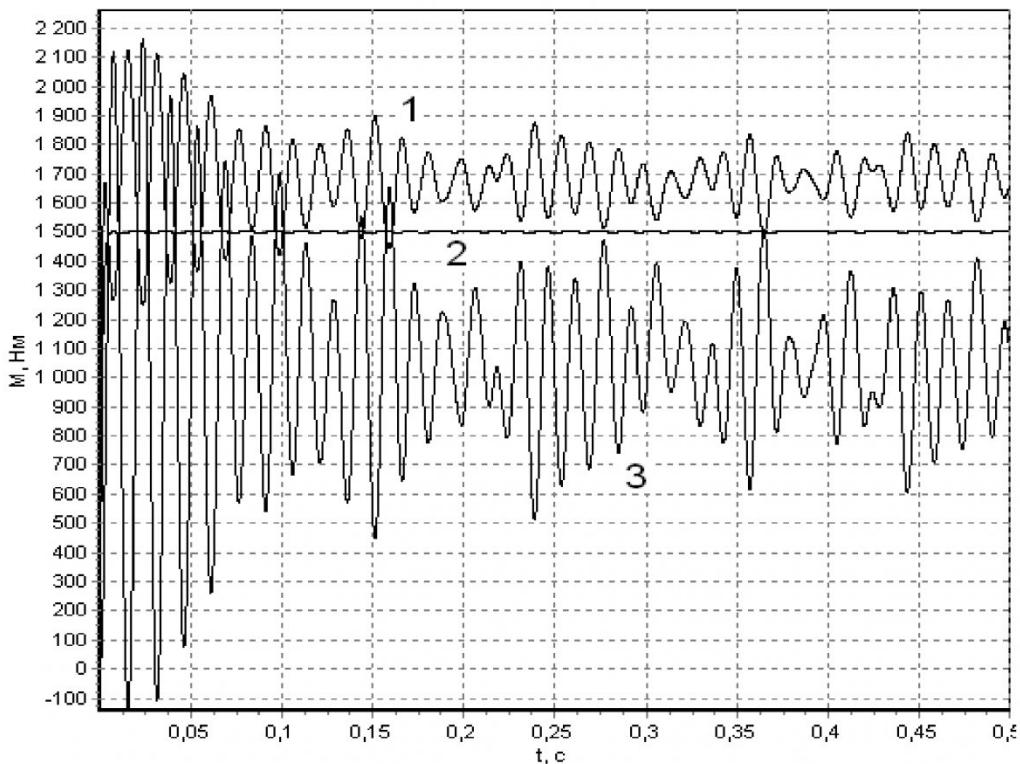


Рис. 2. Переходные процессы в трёхмассовой системе, управляемой по закону (3): 1 -управляющий момент M ; 2 - момент упругих сил M_{12} ; 3 - момент упругих сил M_{23}

Из результатов компьютерного моделирования видно, что момент упругих сил M_{12} достигает заданного значения, после чего практически полностью стабилизируется. В то же время, воздействуя на заданный упругий момент, можно воздействовать на среднюю скорость движения рабочего органа, например, для поддержания оптимальной производительности бурового станка.

Также следует учитывать, что при бурении длина используемой части штанги увеличивается, в результате чего будут изменяться и параметры расчётной схемы. Из этого следует, что параметры

J_2 и J_3 в уравнении (3) будут изменяться с увеличением глубины бурения. Результаты компьютерного моделирования показали, что при изменении моментов инерции второй и третьей масс на $\pm 30\%$ амплитуда колебаний M_{12} практически не изменяется.

На многих буровых станках в приводе вращения используется двигатель постоянного тока с тиристорным преобразователем. Для сравнения предлагаемой системы, содержащей асинхронный двигатель и преобразователь частоты, с системой “тиристорный преобразователь – двигатель” (ТП-

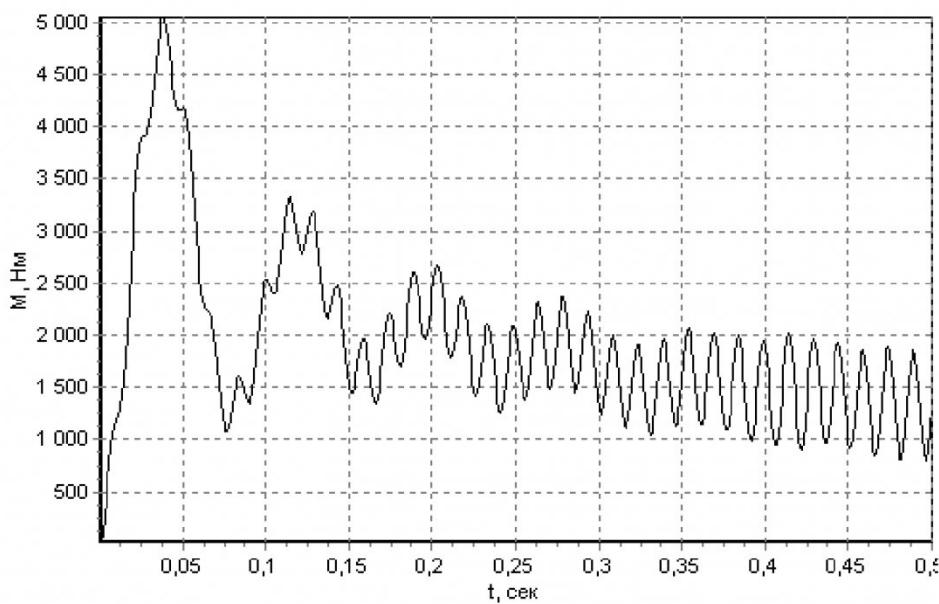


Рис. 3. Момент упругих сил M_{12} в приводе вращения бурового станка с ТП-Д

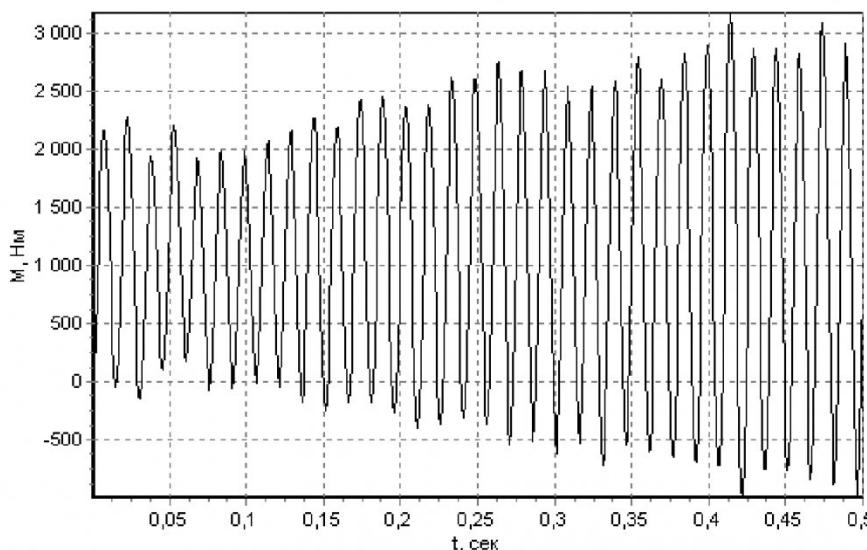


Рис. 4. Момент упругих сил M_{23} в приводе вращения бурового станка с ТП-Д

Д), на рис. 3 – рис. 4 представлены графики переходного процесса пуска привода вращения бурового станка с системой ТП-Д, настроенной на технический оптимум.

Результаты сравнения показывают, что при одних и тех же параметрах привода вращения ис-

пользование предложенного закона управления позволяет свести практически к нулю динамическую составляющую скоростей редуктора, а также существенно уменьшить упругие колебания в буровой штанге.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завьялов В.М., Шариков А.Н., Семыкина И.Ю. Влияние переменной составляющей нагрузки привода вращения бурового станка СБШ-270-ИЗ на ресурс элементов его трансмиссии // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника в металлургической и горно-топливной отраслях: Труды Третьей Всероссийской научно-практической конференции/ под общей редакцией В.Ю. Островлянчика, П.Н. Кунинина. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2006. С. 118-121.
2. Степанов А.Г. Динамика машин. - Екатеринбург: УрО РАН, 1999. – 392 с.
3. Завьялов В.М. Подавление упругих колебаний в горных машинах с двухмассовой расчётной схемой // Вестн.КузГТУ. 2005. №6. С. 67-69.
4. Кроновер Р.М.. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. -М: Постмаркет, 2000. – 352 с.

□ Авторы статьи:

Завьялов
Валерий Михайлович
- канд.техн.наук, доц. каф. электропривода и автоматизации

Куприянов
Иван Александрович
- инженер каф. электропривода и автоматизации