

The new methods of torque transmitting by inertial-vacuum clutches due to weights inertia of its elements and shaft connections by half clutches adhesion are shown. The design of inertial-vacuum clutches for new ways of torque transmitting realization and peculiarities of dynamic characteristics of clutches of various forms are described.

Keywords: inertial-vacuum clutch, drive, dynamic characteristics.

УДК 621.01.833

Х.Д. МУСТАФАЕВ, к.т.н., докторант каф. металловедения и механики машин АзАСУ, Баку, Азербайджан

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА СТОЛА ОТКЛЮЧЕНИЕМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В работе рассматривается динамика остановки стола электромеханического привода механической машины.

Ключевые слова: привод, динамика, механика, электромеханика, машина.

Точная обработка деталей на металлорежущих станках тесно связана точной координатной перестановки исполнительного органа (например, станка) относительно инструмента или наоборот. Например, при обработке отверстий в сверлильных станках точное межосевое расстояние обеспечивается методом точного перемещения заготовки относительно сверла или наоборот.

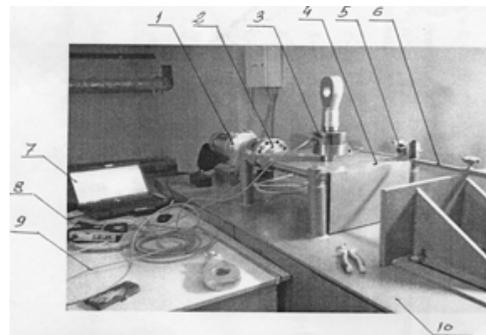


Рисунок 1 – Экспериментальная установка: 1 – мотор-редуктор; 2 – датчик крутящего момента; 3 – датчик усилий; 4 – стол; 5 – конечный выключатель; 6 – ограничитель перемещения; 7 – ноутбук; 8 – гуантум; 9 – соединительные кабели; 10 – стол-подставка для размещения приборов

Под точностью остановки стола понимается колебания выбега стола. А выбег – это есть путь, пройденный столом после отключения движения электродвигателя и приложения тормозного момента. Чем меньше выбег и диапазон его колебания, тем выше точность остановки стола.

В настоящей работе исследуются влияние конструктивных элементов, возбуждающих сил и сил трения на динамику останова стола электромеханического привода (рисунок 1).

Электромеханический привод стола^{*} приведен к двухмассовой динамической модели (рисунок 2).

Выбег стола определяется по формуле $\Delta l = S / (2\pi i) \varphi_2$, где φ_2 – угол поворота массы с моментом инерции J_2 ; S – шаг ходового винта; i – общее передаточное отношение.

Для определения углов поворота φ_1 и φ_2 масс с моментом инерции J_1 и J_2 необходимо решать дифференциальные уравнения движения привода стола, составленных с учетом влияющих факторов.

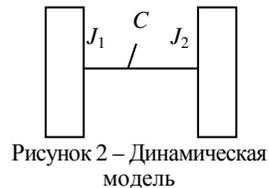


Рисунок 2 – Динамическая модель

*Электромеханический привод стола был спроектирован, изготовлен и испытан под руководством д.т.н., профессора Х.С. Самидова с участием докторанта Х.Д. Мустафаева.

© Х.Д. Мустафаев, 2013

Рассмотрим сначала остановку стола отключением электродвигателя. Запишем уравнение движения динамической модели (рисунок 1):

$$\left. \begin{aligned} J_1 \ddot{\varphi}_1 + \beta(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + c(\varphi_1 - \varphi_2) &= 0; \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 - \beta(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - c(\varphi_1 - \varphi_2) &= -M_c. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Принимаем обозначения:

$$a = \beta / J_1; \quad d = c / J_1; \quad h = \beta / J_2; \quad q = c / J_2. \quad (2)$$

При наличии комплексных корней характеристического уравнения, общее решение уравнения без правой части будет:

$$\psi_1 = E_1 + E_2 t + (J_2 / J_1) E_3 e^{-nt} \cos pt - (J_2 / J_1) E_4 e^{-nt} \sin pt; \quad (3)$$

$$\psi_2 = E_1 + E_2 t + E_3 e^{-nt} \cos pt + E_4 e^{-nt} \sin pt; \quad (4)$$

где $n = \beta(J_1 + J_2) / (2J_1 J_2)$; $p = \sqrt{(4J_1 J_2 c(J_1 + J_2) - \beta(J_1 + J_2)^2) / (2J_1 J_2)}$.

Частное решение уравнения (1) будем искать в виде:

$$\bar{\psi}_1 = d_1(t^2 / 2) + \beta_1; \quad \bar{\psi}_2 = d_2(t^2 / 2) + \beta_2. \quad (5)$$

Подстановка выражения (5) в уравнении (1) приведет к равенствам:

$$\begin{aligned} d_1 + a(d_1 - d_2)t + d[(d_1 - d_2)(t^2 / 2) + \beta_1 - \beta_2] &= 0; \\ d_2 - h(d_1 - d_2)t + q[(d_1 - d_2)(t^2 / 2) + \beta_1 - \beta_2] &= M_c / J_2. \end{aligned} \quad (6)$$

Используя начальные условия отключения электродвигателя $t=0$, $\varphi_1=0$, $\varphi_2=0$, найдем уравнения для определения коэффициентов d_1 , d_2 , β_1 , β_2 :

$$a(d_1 - d_2) = 0; \quad d_1 + d(\beta_1 - \beta_2) = 0; \quad d_2 - q(\beta_1 - \beta_2) = -M_c / J_2. \quad (7)$$

Из этих уравнений получим:

$$d_1 = d_2 = -M_c / (J_1 + J_2); \quad \beta_1 = \beta_2 = J_1 M_c / c(J_1 + J_2). \quad (8)$$

Таким образом, частное решение уравнения будет:

$$\psi_1 = -M_c / (J_1 + J_2) \cdot t^2 / 2 + J_1 M_c / c(J_1 + J_2); \quad \psi_2 = -M_c / (J_1 + J_2) \cdot t^2 / 2 + J_1 M_c / c(J_1 + J_2). \quad (9)$$

Общее решения уравнения (1) $\varphi_1 = \psi_1 + \bar{\psi}_1$ и $\varphi_2 = \psi_2 + \bar{\psi}_2$ будет:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= E_1 + E_2 t + \frac{J_1 M_c}{c(J_1 + J_2)} - \frac{M_c}{J_1 + J_2} \cdot \frac{t^2}{2} - \frac{J_2}{J_1} E_3 e^{-nt} \cos pt - \frac{J_2}{J_1} E_4 e^{-nt} \sin pt; \\ \varphi_2 &= E_1 + E_2 t + \frac{J_1 M_c}{c(J_1 + J_2)} - \frac{M_c}{J_1 + J_2} \cdot \frac{t^2}{2} + E_3 e^{-nt} \cos pt + E_4 e^{-nt} \sin pt. \end{aligned} \quad (10)$$

Используя начальные условия отключения электродвигателя $t=0$, $\varphi_1 = \varphi_0$, $\varphi_2 = \varphi_0$, $\dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_0 = \omega$ найдем уравнения для определения произвольных постоянных E_1 , E_2 , E_3 , E_4 :

$$\left. \begin{aligned} E_1 - (J_2 / J_1) E_3 + J_1 M_c / c(J_1 + J_2) &= \varphi_0; \\ E_1 + E_3 &= 0; \\ E_2 - (J_2 / J_1) p E_4 + (J_2 / J_1) n E_3 &= \omega; \\ E_2 + p E_4 - n E_3 &= \omega. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Решая систему уравнений (11), получим:

$$E_1 = (J\varphi_0 c(J_1 + J_2) - J_1^2 M_c) / c(J_1 + J_2)^2; \quad E_2 = \omega;$$

$$E_3 = \frac{J_1^2 M_c - J\varphi_0 c(J_1 + J_2)}{c(J_1 + J_2)^2}; \quad E_4 = \frac{E_3 n}{p} = \frac{[J_1^2 M_c - J_1 \varphi_0 c(J_1 + J_2)] n}{c(J_1 + J_2)^2}. \quad (12)$$

Таким образом, для выражения $\Delta l = S / (2\pi i) \varphi_2$ – выбега стола в случае отключения электродвигателя, получим вид:

$$\Delta l = \frac{S}{2\pi i} \left\{ \frac{J_1^2 M_c - J\varphi_0 c(J_1 + J_2)}{c(J_1 + J_2)^2} \left[e^{-nt} \cos pt + \frac{n}{p} e^{-nt} \sin pt - 1 \right] - M_c / (J_1 + J_2) \cdot t^2 / 2 + \alpha t \right\}. \quad (13)$$

Анализ решения и полученных результатов. Как видно из формулы (13), выбег привода стола зависит от всех рассматриваемых факторов. Зависимости выражаются сложными функциями, представить которые аналитически в явном виде весьма затруднительно. С целью наглядности представления характера влияния различных факторов на величину выбега стола, построены графики зависимостей $\Delta l = f(v_c)$; $\Delta l = f(c)$; $\Delta l = f(J_2)$ и $\Delta l = f(M_c)$. Графики построены по основным конструктивным параметрам привода стола.

Построенные графики и сделанные аналитические расчеты дают возможность проследить за характерами влияния рассматриваемых факторов на выбег стола.

Влияние скорости перемещения стола на его выбег. При теоретическом исследовании влияния скорости перемещения стола на его выбег избран следующий диапазон скорости перемещения стола $v_c = 0,7 \div 40$ мм/с.

Как видно из графика на рисунке 3, выбег увеличивается с увеличением скорости перемещения стола v_c , с которой начинается его остановка. Зависимость $\Delta l = f(v_c)$ в области небольших скоростей порядка $0 \div 4,0$ мм/с носит линейный характер, а при $v_c = 4,0$ мм/с и выше она имеет параболический характер. Это явление следует объяснить тем, что выбег стола Δl зависит от кинетической энергии, которая в свою очередь пропорциональна квадрату скорости перемещения.

Влияние приведенных моментов инерции ведомых масс на выбег стола. Величина приведенных моментов инерции J_2 , как видно из формулы (13), оказывает большое влияние на выбег стола (рисунок 4).

Во многих машинах момент инерции ведущих масс, в основном, остается постоянным, поэтому здесь рассматривается только влияние приведенных моментов инерции ведомых масс на выбег стола. Более заметное увеличение выбега стола при низких скоростях начинается с $J_2 \geq (0,8 \div 1,0) J_1$. На высоких скоростях выбега стола резко возрастает уже при $J_2 \geq (0,3 \div 0,4) J_1$. Это явление объясняет-

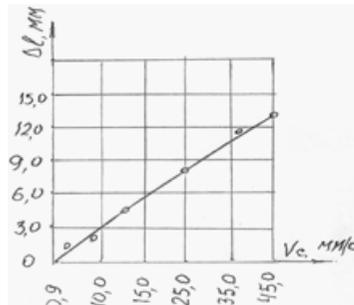


Рисунок 3 – Влияние скорости движения стола на его выбег

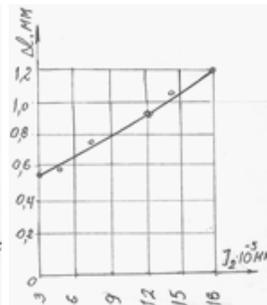


Рисунок 4 – Влияние приведенного момента инерции на выбег стола

ся тем, что величина выбега пропорциональна кинетической энергии привода. В величине кинетической энергии привода решающую роль играет скорость $T = 1/2 J \omega^2$.

При теоретическом исследовании влияния моментов инерции ведомых масс на выбег стола избран следующий диапазон $J_2 = (2 \cdot 10^{-4} \div 16 \cdot 10^{-4})$ Н·м·с².

Такой диапазон изменения моментов инерции ведомых масс охватывает довольно большое количество приводов металлорежущих станков.

Рисунок 5 дает наглядное представление о характере влияния J_2 на величину выбега стола. С увеличением момента инерции ведомых масс увеличивается величина выбега. Это явление следует объяснить тем, что при постоянных силах сопротивления выбег стола зависит от кинетической энергии, которая в свою очередь, прямо пропорциональна моменту инерции движущихся масс привода стола.

С увеличением соотношения $J = J_2 / J_1$, так называемого коэффициента инерционности привода, увеличивает интенсивность влияния приведенного момента инерции J_2 на величину выбега стола. Наименьший выбег стола можно получить при соответствующем выборе по предложенным формулам J_1 и J_2 .

Влияние момента сил сопротивления на выбег стола. Выбег стола в значительной мере зависит от величины сил сопротивления системы и прикладываемых тормозных моментов.

Вопросу влияния момента сил сопротивления и различных видов торможения на величину выбега исполнительного органа машин уделено большое внимание в работах [1-3].

Из рисунка 5 видно, что при увеличении момента сил сопротивления в определенном интервале $0 \div 0,16$ Н·м происходит резкое изменение величины выбега стола, а затем кривая $\Delta l = f(M_c)$ плавно приближается к оси абсцисс.

Влияние приведенной жесткости привода на выбег стола. Под приведенной жесткостью привода стола принимаем сопротивляемость деталей привода крутильным деформациям, возникающим в них под действием внешних сил и нагрузок, приведенных к валу электродвигателя. Степень жесткости характеризуется коэффициентом жесткости $C = M / \varphi$, где C – коэффициент крутильной жесткости, Н·м/рад, φ – деформация связи, выраженная углом поворота сечения связи, рад; M – крутящий момент Н·м, вызывающий деформацию.

Вопросу влияния жесткости на конструктивные и эксплуатационные параметры машин посвящено большое количество работ, например, [2, 3].

Из теоретического анализа видно, что жесткость является одним из решающих факторов, влияющих на величину выбега. Установлено, что жесткость системы является источником разрывных колебаний, которые в свою очередь вызывают расширение поля рассеяния выбега исполнительного органа стола.

В результате теоретического и экспериментального исследований влияние приведенной жесткости электропривода стола построено график (рисунок 6).

Из графика видно, что при малой жесткости при-

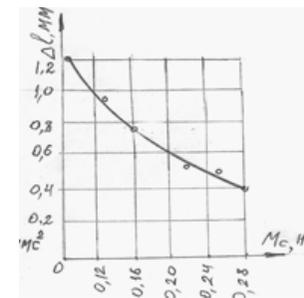


Рисунок 5 – Влияние приведенного момента сил сопротивления на выбег стола

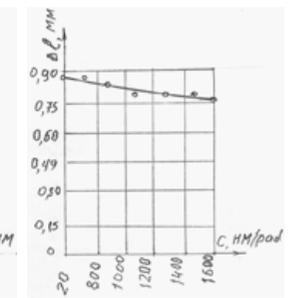


Рисунок 6 – Влияние приведенной жесткости системы на выбег стола

вода порядка $C=(10\div 20)\text{Н}\cdot\text{м}/\text{рад}$ происходит более заметное увеличение выбега стола. Это явление следует объяснить тем, что при пониженной жесткости происходят значительные упругие деформации в приводе, которые после останова задающего устройства (электродвигателя), частично снимаются, что вызывает дополнительные перемещение стола.

Выводы:

1. Выведены формулы аналитического исследования динамики останова привода стола отключением электродвигателя.
2. Функция зависимости выбега стола от скорости его движения $\Delta l=f(v_c)$ в области небольших скоростей порядка $0\div 4\text{мм}/\text{с}$ носит линейный характер, а при $v_c=4,0\text{мм}/\text{с}$ и выше она имеет параболический характер.
3. Заметное увеличение выбега стола при низких скоростях начинаются с $J_2\geq(0,8\div 1,0)J_1$, а на высоких скоростях выбега стола резко возрастает уже при $J_2\geq(0,3\div 0,4)J_1$.
4. При малой жесткости привода порядка $C=(10\div 20)\text{Н}\cdot\text{м}/\text{рад}$ происходит более заметное увеличение выбега стола.

Список литературы: 1. Вейц В.Л., Кочура А.Е. Динамика машинных агрегатов с двигателями внутреннего сгорания. – Л.: Машиностроение, 1976. – 383с. 2. Кедров С.С. Колебания металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1978. – 198с. 3. Кудинов В.А. Динамика станков. – М.: Машгиз, 1967. – 359с. 4. Пуш В.Э. Малые перемещения в станках. – М.: Машгиз, 1961. – 124с. 5. Самидов Х.С., Самидов Э.Х. Динамика и оптимальное конструирование машин. – Баку: Нурлан, 2003. – 622с.

Поступила в редколлегию 03.05.2013

УДК 621.01.833

Исследование динамики останова электромеханического привода стола отключением электродвигателя / Х.Д. Мустафаев // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2013. – №41(1014). – С.72-76. – Бібліогр.: 5 назв.

У роботі розглядається динаміка зупинки столу електромеханічного приводу механічної машини.

Ключові слова: привід, динаміка, механіка, електромеханіка, машина.

It is compiled dynamic electromechanically transfers of technological machines.

Keywords: drive, dynamics, mechanic, electromechanic, machine.

УДК 621.833

А.А. МУХОВАТЫЙ, к.т.н., старший преподаватель каф. машиноведения ВНУ им. В. Даля, Луганск

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ СИНТЕЗА ИСХОДНОГО КОНТУРА ЗУБЬЕВ НЕЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ С ВЫСОКИМИ ЗНАЧЕНИЯМИ КРИТЕРИЕВ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ

Предложен новый метод синтеза исходного контура зубьев неэвольвентных зубчатых передач, дан пример синтеза исходного контура и проведен сравнительный анализ критериев нагрузочной способности неэвольвентной и эвольвентной зубчатых передач.

Ключевые слова: исходный контур, критерии, зубчатая передача, синтез, анализ.

Актуальность задачи. Зубчатые передачи широко распространены в приводах и трансмиссиях современных машин. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на создание зубчатых передач с высокой

© О.А. Муховатий, 2013