

# КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ

УДК 629.113-597.5

В.П. АВТУШКО, М.М. ЗАБОЛОЦКИЙ

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТОРМОЗНОГО ПРИВОДА С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ДАВЛЕНИЯ

Создание пневмогидравлического тормозного привода с переменным передаточным отношением требует проведения комплекса работ по моделированию переходных процессов в нем, исследованию влияния основных конструктивных параметров контура на качество его работы. С этой целью была разработана динамическая схема пневмогидравлического привода с переменным передаточным отношением (рис. 1) с учетом сосредоточенных параметров (массы жидкости  $m_i$ , податливости  $\psi_i$ , гидравлического сопротивления  $R_i$ ). На динамической схеме показаны:  $Y_i$  — узлы цепи;  $y, z, x, z_1$  — координаты положения соответственно поршней главного и исполнительного цилиндров, преобразователя давления и перемещения жидкости в магистрали;

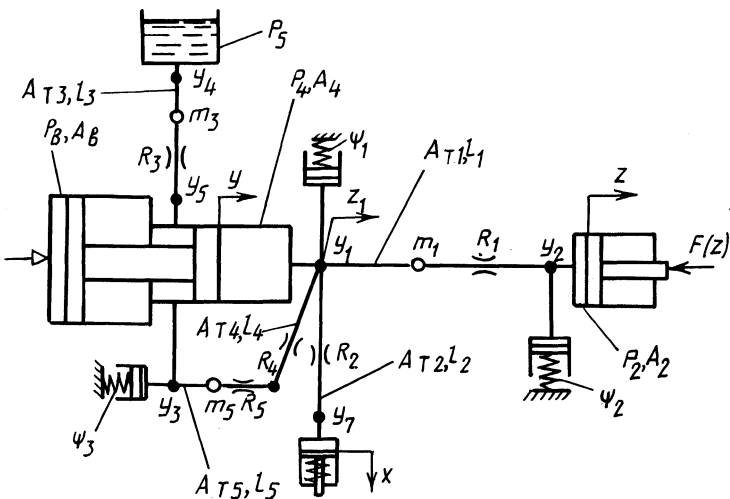


Рис. 1. Динамическая схема пневмогидроцилиндра с переменным передаточным отношением

$p_B, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5$  — давление воздуха в пневматической полости и давление жидкости соответственно в рабочих полостях главного и исполнительного цилиндров, под поршнем преобразователя давления, в штоковой полости пневмогидравлического цилиндра, в резервуаре;  $A_B, A_1, A_2, A_3, A_4$  — площадь поршня соответственно пневматической полости, рабочих полостей главного и исполнительного цилиндров, преобразователя давления, штоковой полости;  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$  — податливость цепи, приведенная соответственно к узлам  $Y_1, Y_2, Y_3$ ;  $A_{Ti}, l_i$  — площадь проходных сечений трубопроводов соответствующих участков и их длина;  $F(z)$  — характеристика тормозного механизма.

Для составления уравнений движения используются законы узлов и контуров [1], а также учитываются нелинейные характеристики тормозного механизма и преобразователя давления. Динамика рассматриваемого пневмогидравлического привода описывается уравнениями:

$$\begin{aligned}
 & a_1 \frac{d^2 z_1}{dt^2} + a_2 \frac{dz_1}{dt} + (a_3 + a_4) \left( \frac{dz_1}{dt} \right)^2 \operatorname{sgn} \frac{dz_1}{dt} + p_2 = p_1; \\
 & \frac{dz}{dt} = \frac{dz_1}{dt} - (a_9 + z) \psi_2 \frac{dp_2}{dt}; \\
 & \frac{dy}{dt} = \begin{cases} a_5 \frac{dz_1}{dt} + a_6 \frac{dx}{dt} + (a_7 - y) \psi_1 \frac{dp_1}{dt} & \text{при } 0 \leq p_3 \leq p_3''; \\ a_5 \frac{dz_1}{dt} + a_8 \frac{dy_3}{dt} + (a_7 - y) \psi_1 \frac{dp_1}{dt} & \text{при } p_3 > p_3''; \end{cases} \\
 & a_{10} \frac{d^2 x}{dt^2} + a_{11} \frac{dx}{dt} + (a_{12} + a_{13}) \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 \operatorname{sgn} \frac{dx}{dt} + p_3 = p_1 \\
 & \qquad \qquad \qquad \text{при } p_3' \leq p_3 \leq p_3''; \\
 & a_{14} \frac{d^2 y_3}{dt^2} + a_{15} \frac{dy_3}{dt} + (a_{16} + a_{17} + a_{18}) \left( \frac{dy_3}{dt} \right)^2 \operatorname{sgn} \frac{dy_3}{dt} + p_4 = p_1 \\
 & \qquad \qquad \qquad \text{при } p_3 > p_3''; \\
 & a_{19} \frac{d^2 y_2}{dt^2} + a_{20} \frac{dy_2}{dt} + (a_{21} + a_{22}) \left( \frac{dy_2}{dt} \right)^2 \operatorname{sgn} \frac{dy_2}{dt} + p_4 = p_5 \\
 & \qquad \qquad \qquad \text{при } p_4 \leq p_5; \\
 & \frac{d^2 x}{dt^2} = 0 \qquad \text{при } p_3 < p_3'; \\
 & \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{dx}{dt} = 0 \qquad \text{при } p_3 > p_3''; \\
 & \frac{d^2 y_3}{dt^2} = \frac{dy_3}{dt} = 0 \qquad \text{при } p_3 \leq p_3'';
 \end{aligned}$$

$$\frac{d^2 y_2}{dt^2} = \frac{dy_2}{dt} = 0 \quad \text{при } p_4 \leq p_5;$$

$$\frac{dp_4}{dt} = \begin{cases} 0 & \text{при } p_4 \leq p_{4\min}; \\ \left[ \frac{dy_1}{dt} - (1-b) \frac{p_5}{p_4} \frac{dy}{dt} \right] \frac{p_4^2}{b(y+y_{\min})p_5} & \text{при } p_{4\min} \leq p_4 \leq p_5; \\ \frac{\frac{dy_1}{dt} - a_8 \frac{dy_3}{dt} - a_5 \frac{dz_1}{dt} - (a_7 - y)(1-\beta)a_{24} k \psi_1 e^{-kt}}{a_8(a_7 - y)\psi_1 + (a_{23} + y)\psi_4} & \text{при } p_4 > p_5; \end{cases}$$

$$y_1 = y_2 + y_3;$$

$$p_1 = a_{24}(1 - e^{-kt})(1 - \beta) + a_8 p_4;$$

$$p_2 = \begin{cases} a_{25}(F_0 + c_1 z) & \text{при } 0 \leq z \leq z_0; \\ a_{25}[F_0 + (c_1 - c_2)z_0 + c_2 z] & \text{при } z_0 < z < (z_0 + z_{01}); \\ a_{25}[F_0 + (c_1 - c_3)z_0 + (c_2 - c_3)z_{01} + c_3 z] & \text{при } z > (z_0 + z_{01}); \end{cases}$$

$$p_3 = a_{26}(x_0 + x).$$

В приведенных уравнениях

$$a_1 = \rho l_1 A_2 / A_{T1}; \quad a_2 = 27,5 \rho \nu l_1 A_2 / A_{T1}^2; \quad a_3 = 0,443 k_\epsilon \frac{l_1}{\sqrt{A_{T1}}} \left( \frac{A_2}{A_{T1}} \right)^2;$$

$$a_4 = 0,5 \xi_1 \rho (A_2 / A_{T1})^2; \quad a_5 = A_2 / A_1; \quad a_6 = A_3 / A_1; \quad a_7 = y_{\max} + 0,5 l_1 A_{T1} / A_1;$$

$$a_8 = A_4 / A_1; \quad a_9 = z_{\min} + 0,5 l_1 A_{T1} / A_2; \quad a_{10} = \rho l_3 A_3 / A_{T2};$$

$$a_{11} = 27,5 \rho \nu l_2 A_3 / A_{T2}^2; \quad a_{12} = 0,443 k_\epsilon \rho \frac{l_2}{\sqrt{A_{T2}}} \left( \frac{A_3}{A_{T2}} \right)^2;$$

$$a_{13} = 0,5 \xi_2 \rho (A_3 / A_{T2})^2; \quad a_{14} = \rho l_5 A_4 / A_{T5};$$

$$a_{15} = 27,5 \rho \nu l_5 A_4 / A_{T5}^2; \quad a_{16} = 0,443 k_\epsilon \rho \frac{l_5}{\sqrt{A_{T5}}} \left( \frac{A_4}{A_{T5}} \right)^2;$$

$$a_{17} = 0,5 \xi_3 \rho (A_4 / A_{T5})^2; \quad a_{18} = 0,5 \xi_4 \rho (A_4 / A_{T4})^2; \quad a_{19} = \rho l_3 A_4 / A_{T3};$$

$$a_{20} = 27,5 \rho \nu l_3 A_4 / A_{T3}^2; \quad a_{21} = 0,443 k_\epsilon \rho \frac{l_3}{\sqrt{A_{T3}}} \left( \frac{A_4}{A_{T3}} \right)^2;$$

$$a_{22} = 0,5 \xi_3 \rho (A_4/A_{T3})^2; \quad a_{23} = y_{\min} + l_5 A_{T5}/A_4; \\ a_{24} = A_B p_{B\max}/A_1; \quad a_{25} = 1/A_2; \quad a_{26} = c_4/A_3,$$

где  $\rho$  — плотность жидкости;  $\nu$  — коэффициент кинематической вязкости жидкости;  $k_\epsilon$  — коэффициент аппроксимации;  $\xi_i$  — коэффициент гидравлического сопротивления  $i$ -го участка цепи;  $y_1$  — перемещение поршня главного цилиндра без учета сжимаемости жидкости;  $y_2, y_3$  — перемещение поршня главного цилиндра, обусловленное изменением объема жидкости соответственно поступающей из резервуара и за счет перетекания из рабочей полости в штоковую;  $c_1, c_2, c_3$  — приведенная жесткость тормозного механизма на соответствующих участках характеристики;  $z_0, z_{01}$  — длина участков характеристики тормозного механизма;  $F_0$  — усилие предварительной деформации стяжных пружин;  $c_4$  — жесткость пружины клапана преобразователя давления;  $k$  — показатель экспоненты;  $p'_3, p''_3$  — давление, соответствующее началу и концу срабатывания реле задержки времени преобразователя давления;  $b$  — относительный начальный объем воздуха в жидкости;  $p_{B\max}$  — максимальное давление воздуха;  $p_{4\min}$  — давление, соответствующее началу кавитации жидкости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Метлюк Н.Ф., Автушко В.П. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей. — М., 1980. — 231 с.

УДК 629.11.012.3

В.П. БЕЛЕНКОВ, В.Г. РЕВСКИЙ

### НАГРУЖЕННОСТЬ РЕДУКТОРА МОТОР-КОЛЕСА КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА ПРИ ЕГО ТРОГАНИИ И РАЗГОНЕ

Динамика процессов нагружения электромеханического привода и формирование нагрузочного режима в редукторах мотор-колес практически не исследованы. С целью изучения процессов нагружения редукторов мотор-колес были проведены специальные испытания карьерного самосвала БелАЗ-75191 при трогании и разгоне.

При исследовании регистрировались следующие величины, характеризующие нагруженность редуктора мотор-колеса: крутящие моменты на торсионных валах редукторов мотор-колес  $M_n$  и  $M_{np}$ ; сила тока в тяговых электродвигателях мотор-колес  $I_n$  и  $I_{np}$ ; напряжение тягового генератора  $U$ ; частота вращения ведущих колес автомобиля  $n_n$  и  $n_{np}$ ; частота вращения якоря тягового генератора  $n_r$ ; продолжительность процесса трогания и разгона самосвала  $t_{тр}$ . Показания фиксировались на ленте осциллографа. При трогании и последующем разгоне автомобиля нагрузки на детали электромеханических трансмиссий в отличие от нагрузок на детали механических изме-