

примерно вдвое превышала среднюю долговечность партии подшипников с начальными радиальными зазорами $\Delta_n = 0,020 - 0,055$ мм.

Л и т е р а т у р а

1. Игнатъев Г.А. Распределение нагрузки по элементам радиального подшипника. - Подшипник, 1938, №4. 2. Цыпкин Б.В. Метод расчета подшипников качения с учетом влияния радиального зазора. - Вестник машиностроения, 1951, №5. 3. Трейер В.Н. О распределении нагрузки по шарикам и роликам в подшипниках качения. - Машиностроитель Белоруссии, 1957, №2 (3). 4. Расчет подшипников качения на долговечность с учетом влияния диаметрального зазора. - Экспресс-информ. Детали машин. М., 1961, №42, реф. 341. 5. Решетов Д.Н. Детали машин. - М., 1974. 6. Спришевский А.И. Подшипники качения. - М., 1969.

УДК 629.113 - 597.5

П.Р.Бартош

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОКОНТУРНОГО ТОРМОЗНОГО ПРИВОДА

Известны математические модели [1], с помощью которых можно рассчитать переходные характеристики пневматических тормозных приводов прицепов. Однако они позволяют проводить аналитические исследования только простейших приводов. Существующие и перспективные пневматические тормозные системы прицепов и полуприцепов могут включать в себя большое число (например, 8) тормозных камер и несколько воздухо-распределительных клапанов (ВРК). Поэтому известные модели [1] для таких систем в некоторых случаях будут некорректными, так как при расчете переходных характеристик необходимо расчетные схемы значительно и притом неоправданно упрощать из-за вынужденного принятия ряда дополнительных допущений. По этой причине требуется разработка математической модели, которая позволяла бы более точно проводить аналитические исследования многоконтурного тормозного привода.

Расчетная схема многоконтурного пневматического тормозного привода (рис. 1), оснащенного корректирующим устройством (КУ) для повышения его быстродействия, состоит из тормозного крана 1, магистрали управления 2, КУ 3, выпол-

ционного в виде дифференцирующего клапана, двух ресиверов 4, двумя тормозными камерами 5, двух ВРК 6 и соединительных трубопроводов с эффективными площадями $(\mu f)_i$.

При расторможенном состоянии сжатый воздух через тормозной кран 1, магистраль управления 2 и ее разветвления поступает из компрессора, расположенного на тягаче, в полости V_{BK} , V_{B1} , V_{B2} . Одновременно через дроссель с эффективной площадью $(\mu f)_d$ и обратные клапаны 7 воздухораспределителей 6 он заполняет соответственно полость V_{AK} и ресиверы 4. Тормозные камеры 5 в этом случае сообщаются через соединительные трубопроводы и воздухораспределители с атмосферой.

При экстренном торможении, при нажатии на тормозную педаль, происходит быстрое падение давления в магистрали управления 2 и полостях V_{BK} , V_{B1} , V_{B2} , поэтому открываются клапаны воздухораспределителей 6 и сжатый воздух через соединительные трубопроводы поступает из ресиверов 4 в тормозные камеры 5. Так как происходит интенсивное падение давления в полости V_{BK} и воздух не успевает через дроссель с подобранный эффективной площадью $(\mu f)_d$ перетечь из полости V_{AK} в камеру V_{BK} , то диф-

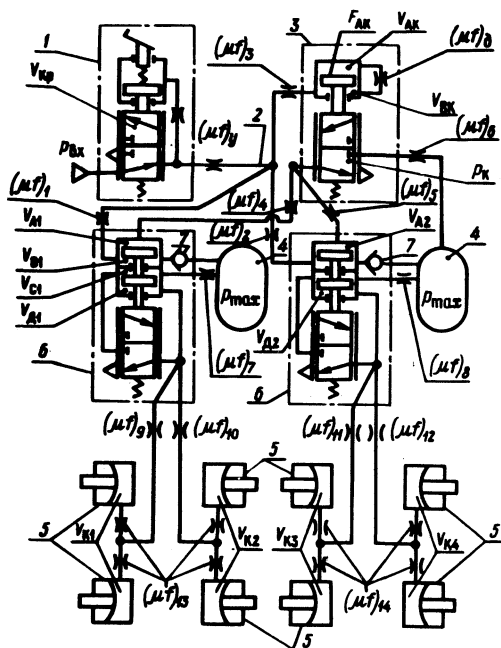


Рис. 1. Расчетная схема многоконтурного пневматического тормозного привода.

ференцирующий клапан 3 включается в работу и через соединительные трубопроводы с площадями $(\mu f)_6$, $(\mu f)_4$ и $(\mu f)_5$ подает сжатый воздух из ресивера 4 в полости V_{A1} и V_{A2} воздухораспределителей, значительно увеличивая при этом их быстродействие. Время работы КУ задается с помощью $(\mu f)_d$. При служебном торможении КУ в работу не включается.

Математическое описание протекающих переходных процессов в тормозном приводе целесообразно проводить с помощью закона узлов [2] и гиперболической газодинамической функции расхода воздуха [3], которая позволяет достаточно точно описывать реальные процессы, протекающие в пневмосистемах.

Математическая модель многоконтурного привода, оснащенного КУ (рис. 1), имеет вид:

$$p_{вх} = \begin{cases} p_{max} + (p_a - p_{max}) \frac{t}{\tau}, & \text{при } 0 < t \leq \tau, \\ p_a, & \text{при } t > \tau, \end{cases}$$

$$\frac{dp_{B1}}{dt} = - \frac{\kappa}{V_{B1}} (\mu f)_1 p_{B1} \frac{p_{B1} - p_y}{Dp_{B1} - p_y};$$

$$\frac{dp_{B2}}{dt} = - \frac{\kappa}{V_{B2}} (\mu f)_2 p_{B2} \frac{p_{B2} - p_y}{Dp_{B2} - p_y};$$

$$\frac{dp_{кр}}{dt} = \frac{\kappa}{V_{кр}} \left[(\mu f)'_y p_y \frac{p_y - p_{кр}}{Dp_y - p_{кр}} - (\mu f)_{кр} p_{кр} \frac{p_{кр} - p_{вх}}{Dp_{кр} - p_{вх}} \right];$$

$$\begin{aligned} \frac{dp_y}{dt} = \frac{\kappa}{V_y} \left[(\mu f)_1 p_{B1} \frac{p_{B1} - p_y}{Dp_{B1} - p_y} + (\mu f)_2 p_{B2} \frac{p_{B2} - p_y}{Dp_{B2} - p_y} + \right. \\ \left. + (\mu f)_3 p_{BK} \frac{p_{BK} - p_y}{Dp_{BK} - p_y} - (\mu f)_y p_y \frac{p_y - p_{кр}}{Dp_y - p_{кр}} \right]; \end{aligned}$$

$$\frac{dp_{BK}}{dt} = \frac{\kappa}{V_{BK}} \left[(\mu f)_д p_{AK} \frac{p_{AK} - p_{BK}}{Dp_{AK} - p_{BK}} - \right.$$

$$- (\mu f) {}_3 p_{BK} \frac{p_{BK} - p_Y}{Dp_{BK} - p_Y} \Big] ;$$

$$\frac{dp_{AK}}{dt} = - \frac{\kappa}{V_{AK}} (\mu f) {}_4 p_{AK} \frac{p_{AK} - p_{BK}}{Dp_{AK} - p_{BK}} ;$$

$$\frac{dp_{A1}}{dt} = \frac{\kappa}{V_{A1}} (\mu f) {}_4 p_K \frac{p_K - p_{A1}}{Dp_K - p_{A1}} ;$$

$$\frac{dp_{A2}}{dt} = \frac{\kappa}{V_{A2}} (\mu f) {}_5 p_K \frac{p_K - p_{A2}}{Dp_K - p_{A2}} ;$$

$$\frac{dp_K}{dt} = \frac{\kappa}{V_K} \left[(\mu f) {}_6 p_{max} \frac{p_{max} - p_K}{Dp_{max} - p_K} - \right.$$

$$\left. (\mu f) {}_4 p_K \frac{p_K - p_{A1}}{Dp_K - p_{A1}} - (f\mu) {}_5 p_K \frac{p_K - p_{A2}}{Dp_K - p_{A2}} \right] ;$$

$$p = (F_{BK} p_{BK} + P_{пр}) / F_{AK} ;$$

если $p_{AK} < p$, то $\frac{dp_{AK}}{dt} = \frac{dp_{BK}}{dt} = 0$;

$$p_{A1} = p_{A2} = p_K = p_a ;$$

$$p_{D1} = (F_{A1} p_{A1} + F_{C1} p_{C1} + F_{B1} p_{B1} - P_c) / F_{D1} ;$$

если $P_{Д1} < P_a$, то $P_{C1} = P_{max}$, $P_{к1} = P_{к2} = P_a$;

если $P_{Д1} \geq P_a$, то

$$\frac{dp_{C1}}{dt} = \frac{\kappa}{V_{C1} + V_{Д1}} \left[(\mu f)_7 P_{max} \frac{P_{max} - P_{C1}}{Dp_{max} - P_{C1}} - \right. \\ \left. - (\mu f)_9 P_{Д1} \frac{P_{Д1} - P_{y1}}{Dp_{Д1} - P_{y1}} - (\mu f)_{10} P_{Д1} \frac{P_{Д1} - P_{y2}}{Dp_{Д1} - P_{y2}} \right];$$

$$\frac{dp_{y1}}{dt} = \frac{\kappa}{V_{y1}} \left[(\mu f)_9 P_{Д1} \frac{P_{Д1} - P_{y1}}{Dp_{Д1} - P_{y1}} - \right. \\ \left. - 2(\mu f)_{13} P_{y1} \frac{P_{y1} - P_{к1}}{Dp_{y1} - P_{к1}} \right];$$

$$\frac{dp_{y2}}{dt} = \frac{\kappa}{V_{y2}} \left[(\mu f)_{10} P_{Д1} \frac{P_{Д1} - P_{y2}}{Dp_{Д1} - P_{y2}} - \right. \\ \left. - 2(\mu f)_{13} P_{y2} \frac{P_{y2} - P_{к2}}{Dp_{y2} - P_{к2}} \right];$$

$$\frac{dp_{к1}}{dt} = \frac{\kappa}{V_{к1}} (\mu f)_{13} P_{y1} \frac{P_{y1} - P_{к1}}{Dp_{y1} - P_{к1}};$$

$$\frac{dp_{к2}}{dt} = \frac{\kappa}{V_{к2}} (\mu f)_{13} P_{y2} \frac{P_{y2} - P_{к2}}{Dp_{y2} - P_{к2}};$$

$$P_{Д2} = (F_{A2} P_{A2} + F_{C2} P_{C2} - F_{B2} P_{B2} - P_C) / F_{Д2},$$

если $P_{Д2} < P_a$, то $P_{C2} = P_{max}$; $P_{к1} = P_{к2} = P_a$,

если $P_{Д2} \geq P_a$, то

$$\frac{dp_{C2}}{dt} = \frac{k'}{V_{C2} + V_{D2}} \left[(\mu f)_{8P_{max}} \frac{p_{max} - p_{C2}}{Dp_{max} - p_{C2}} - \right. \\ \left. - (\mu f)_{11P_{D2}} \frac{p_{D2} - p_{y3}}{Dp_{D2} - p_{y3}} - (\mu f)_{12P_{D2}} \frac{p_{D2} - p_{y4}}{Dp_{D2} - p_{y4}} \right];$$

$$\frac{dp_{y3}}{dt} = \frac{k}{V_{y3}} \left[(\mu f)_{11P_{D2}} \frac{p_{D2} - p_{y3}}{Dp_{D2} - p_{y3}} - \right. \\ \left. - 2(\mu f)_{14P_{y3}} \frac{p_{y3} - p_{k3}}{Dp_{y3} - p_{k3}} \right];$$

$$\frac{dp_{y4}}{dt} = \frac{k}{V_{y4}} \left[(\mu f)_{12P_{D2}} \frac{p_{D2} - p_{y4}}{Dp_{D2} - p_{y4}} - \right. \\ \left. - 2(\mu f)_{14P_{y4}} \frac{p_{y4} - p_{k4}}{Dp_{y4} - p_{k4}} \right];$$

$$\frac{dp_{k3}}{dt} = \frac{k}{V_{k3}} (\mu f)_{14P_{y3}} \frac{p_{y3} - p_{k3}}{Dp_{y3} - p_{k3}};$$

$$\frac{dp_{k4}}{dt} = \frac{k}{V_{k4}} (\mu f)_{14P_{y4}} \frac{p_{y4} - p_{k4}}{Dp_{y4} - p_{k4}},$$

где $p_{вх}$, p_{max} и p_a - давление на входе в магистраль управления, максимальное и атмосферное давления в системе; t и τ - текущее время и время падения давления воздуха на входе в магистраль управления до заданной величины; p_{B1} , p_{B2} , ..., p_{k4} - давления в камерах с объемами V_{B1} , V_{B2} , ..., V_{k4} ; k - постоянный коэффициент; $(\mu f)_i$ - эффективная площадь i -го дросселя (клапана); F_i - рабочая площадь поршня пневмоаппарата; $P_{пр}$ - усилие, необходимое для сжатия пружины дифференцирующего клапана; P_C - сила сопротивления движению поршней ВРК.

Если из привода (рис. 1) исключается КУ, то в приведенной математической модели будут отсутствовать уравнения, относящиеся к описанию переходных процессов, протекающих в дифференцирующем звене и соединенных с ним полостей ВРК.

Согласно математической модели была разработана программа для расчета на ЭЦВМ переходных характеристик многоконтурного пневматического тормозного привода, с помощью которой осуществлялась оценка времени срабатывания привода, соответствующего нарастанию давления P_K в тормозных камерах до величины

$$P_{0,9} = 0,9P_{\max} + 0,1P_a.$$

При этом изменились конструктивные параметры привода и пневмоаппаратов. Исследования показали, что величина $t_{0,9}$ для многоконтурных приводов значительно уменьшается, если они оснащены КУ (рис. 2). Применение КУ в виде дифференцирующего звена позволило снизить $t_{0,9}$ в 1,7 раза (при длине магистрали управления 15,5 м).

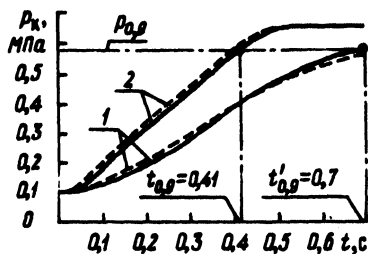


Рис. 2. Переходные характеристики тормозного привода: — экспериментальные кривые, - - - расчетные кривые; 1 — для привода без КУ; 2 — для привода с КУ.

Корректность разработанной математической модели проверялась сопоставлением расчетных данных с результатами эксперимента, проведенного в стендовых условиях (рис. 2). Погрешность расчета не превышала 14%.

Вывод. Разработанная математическая модель с достаточной степенью точности может быть использована для расчета переходных характеристик, выбора конструктивных параметров пневматического многоконтурного тормозного привода прицепа (полуприцепа) и аналитического исследования КУ в виде дифференцирующего звена.

Л и т е р а т у р а

1. Бартош П.Р., Автушко В.П., Метлюк Н.Ф. Моделирование на АВМ корректирующего устройства пневматического тормозного привода. — В сб.: Автотракторостроение. Тео-

рия и конструирование мобильных машин. Мн., 1979, вып.13.
 2. Метлюк Н.Ф. Динамика и методы улучшения переходных характеристик тормозных приводов автомобилей и автопоездов: Докт. дис. - Мн., 1973. 3. Метлюк Н.Ф., Автушко В. П. Динамический расчет простейшей цепи пневматических приводов. - В сб.: Автотракторостроение. Вопросы оптимизации проектирования автомобилей, тракторов и их двигателей. Мн., 1977, вып. 9.

УДК 629.113 - 585

М.М.Белоус, А.И.Гришкевич

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ВЕЛИЧИНУ ВРЕМЕНИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ В СИСТЕМЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

При разработке систем автоматического управления (САУ) часто возникает потребность в получении тех или иных функциональных зависимостей, необходимых для доводки системы управления до установки ее на объект управления. Данные такого рода можно получить, состыковав реальную систему управления с моделью объекта управления.

Ниже описано теоретическое исследование влияния различных факторов на величину времени переключения передач в трансмиссии автомобиля МАЗ-500А на комплексе, состоящем из аналоговой машины МН-14 и автоматической системы управления ступенчатой механической трансмиссией с центральной синхронизацией, в которой синхронизатором является двигатель автомобиля в сочетании с моторным тормозом. На АВМ решалась система уравнений, описывающих работу дизельного двигателя со всережимным регулятором и трехмассовой модели автомобиля:

$$\mu \frac{d^2 z}{dt^2} = A \omega \frac{2,2}{1 p} - E - \nu \frac{dz}{dt} - f \text{Sign} \frac{dz}{dt};$$

$$M_e(\omega_1, z) = M_i(\omega_1, z) - M_{тр}(\omega_1) - M_{MT}(\omega_1);$$

$$J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M_e(\omega_1, z) - M_{сш};$$