

1. «Электромобиль - преимущества, недостатки, перспективы» [Электронный ресурс]. — 2018. — Режим доступа: [http://innoeco.ru/postsView/Elektromobilpreimuschestva\\_nedostatki\\_perspektivy\\_35.html](http://innoeco.ru/postsView/Elektromobilpreimuschestva_nedostatki_perspektivy_35.html).

2. Управление торможением многозвенного автопоезда с рекуперацией тормозной энергии /М.С. Высоцкий, С.В. Харитончик, Н.А. Поздняков //Механика машин, механизмов и материалов. 2011. № 4 (17), стр. 13–18.

УДК 629.113

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МУФТОЙ СЦЕПЛЕНИЯ

*А. И. Рахлей*

*Аннотация:* Представлена математическая модель электропневмопривода системы управления муфтой сцепления трактора с электронным блоком управления, электропневмомодулятором и датчиками перемещения педали управления и штока силового пневмоцилиндра.

В математической модели элементы электропневмосистемы такие как ресивер, клапаны электропневмомодулятора, силовой пневмоцилиндр, соединяющие их трубопроводы представлены в виде емкостей и пневмосопротивлений (рисунок 1).. Алгоритм работы электронного блока управления реализуется в алгоритме программы расчета.

Мгновенный массовый расход сжатого воздуха через пневмосопротивление описывается формулой

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_D = f_c v_1 g_1 \quad (1)$$

Используя зависимости

$$g_1 = g_0 \left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{1/k}, \quad g_0 = \frac{p_0}{RT}, \quad v_1 = v_{1\max} u(\sigma)$$

и умножив и разделив правую часть выражения (1) на  $f v_{kp}$ , учитывая, что

$$\mu = \left(\frac{v_{1\max}}{v_{kp}}\right) \left(\frac{f_c}{f}\right), \quad \sigma = p_1/p_0, \quad \varphi(\sigma) = \sigma^{1/k} u(\sigma)$$

получим

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_D = \mu f v_{kp} \frac{p_0}{RT} \varphi(\sigma), \quad (2)$$

где  $f$  и  $f_c$  – площади поперечных сечений, м<sup>2</sup>;  $v_{кр}$  – критическая скорость,  $v_{кр} = \sqrt{kRT}$ , м/с;  $g_0$  и  $g_1$  – плотность воздуха на входе и на выходе пневмосопротивления, кг/м<sup>3</sup>;  $R$  – газовая постоянная для воздуха;  $T$  – абсолютная температура воздуха перед дросселем, К;  $k$  – показатель адиабаты;  $\mu$  – коэффициент расхода, представляющий собой произведение коэффициента скорости  $v_{1max}/v_{кр}$ , учитывающий потери на трение и на изменение формы и направлении струи, и коэффициента струи  $f_c/f$ ;  $u(\sigma)$  – функция скорости потока,  $\sigma$  – безразмерное давление;  $p_1$  – давление в полости за сопротивлением, в которую поступает воздух, Н/м<sup>2</sup>;  $p_0$  – давление в резервуаре перед сопротивлением, откуда вытекает воздух, Н/м<sup>2</sup>.

Точной и наиболее удобной в практических расчетах пневмоцепей является гиперболическая функция расхода .

$$\varphi(\sigma) = \frac{1 - \sigma}{B - 1}, \quad (3)$$

где  $A = \frac{h}{B - 1}$ . Постоянные  $A$  и  $B$  означают сдвиг горизонтальной и вертикальной асимптот гиперболы, а величина  $h$  характеризует формулу гиперболы.

Ресивер является звеном пневмопривода с постоянной емкостью и постоянным давлением на входе. Считая систему быстродействующей, пренебрегаем теплообменом между воздухом в приводе и окружающей средой. Следовательно, уравнение состояния воздуха в ресивере

$$kRTdm = kp_{pec}dV + V_{pec}dp,$$

которое после преобразования приобретает вид

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_E = \frac{p_{pec}}{RT} \cdot \frac{dV}{dt} + \frac{V_{pec}}{kRT} \cdot \frac{dp}{dt},$$

где  $T$  – температура в ресивере;  $p_{pec}$  – давление в ресивере, Н/м<sup>2</sup>;  $V_{pec}$  – объем ресивера, м<sup>3</sup>. Для звена с постоянной емкостью ( $V = \text{const}$ ) имеем

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_E = \frac{V_{pec}}{kRT} \cdot \frac{dp}{dt}.$$

Решая полученное уравнение состояния совместно с уравнением расхода (2) и учитывая гиперболическую функцию расхода (3) получаем

дифференциальное уравнение переходного процесса из ресивера в сопротивление (DE) в виде:

для выключения сцепления

$$\frac{dp_p}{dt} = \frac{E(\mu f)_1}{V_{pec}} \cdot p_{pec} \cdot \frac{P_{pec} - P_{энп}}{B \cdot p_{pec} - P_{энп}} ; \quad (4)$$

для включения сцепления

$$\frac{dp_p}{dt} = -\frac{E(\mu f)_1}{V_{pec}} \cdot p_{pec} \cdot \frac{P_{pec} - P_{энп}}{B \cdot p_{pec} - P_{энп}} , \quad (5)$$

где  $E=A \cdot k \cdot v_{кр}$

При выводе уравнений (4) и (5) принимается допущение, что температура воздуха в емкостях перед сопротивлением и за сопротивлением одинакова и постоянна в течение переходного процесса.

Давление в электропневмомодуляторе находится аналогично звену ресивер-сопротивление ( $\mu f_1$ ) с учетом падения давления на звене клапан электропневмомодулятора – сопротивление ( $\mu f_2$ ):

для выключения сцепления

$$\frac{dp_{энп}}{dt} = \frac{E(\mu f)_1}{V_{pec}} \cdot p_{pec} \cdot \frac{P_{pec} - P_{энп}}{B \cdot p_{pec} - P_{энп}} - \frac{E(\mu f)_2}{V_{энп}} \cdot p_{энп} \cdot \frac{P_{энп} - P_k}{B \cdot p_{энп} - P_k}$$

для включения сцепления

$$\frac{dp_{энп}}{dt} = \frac{E(\mu f)_2}{V_{pec}} \cdot p_k \cdot \frac{P_k - P_{энп}}{B \cdot p_k - P_{энп}} - \frac{E(\mu f)_3}{V_{энп}} \cdot p_{энп} \cdot \frac{P_{энп} - P_{атм}}{B \cdot p_{энп} - P_{атм}} .$$

Давление в полости пневмоцилиндра:

для выключения сцепления

$$\frac{dp_k}{dt} = \frac{E(\mu f)_2}{V_k} \cdot p_{энп} \cdot \frac{P_{энп} - P_k}{B \cdot p_{энп} - P_k}$$

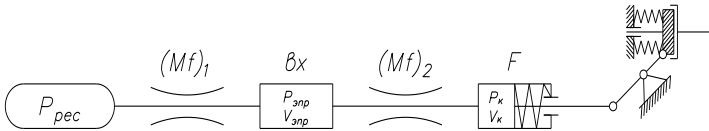
для включения сцепления

$$\frac{dp_k}{dt} = - \frac{E(\mu f)_2}{V_k} \cdot p_{\text{эпр}} \cdot \frac{p_{\text{эпр}} - p_k}{B \cdot p_{\text{эпр}} - p_k}.$$

Давление воздуха при выходе в атмосферу через клапан электропневмомодулятора при включении сцепления:

$$\frac{dp_{\text{атм}}}{dt} = \frac{E(\mu f)_3}{V_k} \cdot p_{\text{эпр}} \cdot \frac{p_{\text{эпр}} - p_{\text{атм}}}{B \cdot p_{\text{эпр}} - p_{\text{атм}}}$$

Выключение сцепления



Включение сцепления

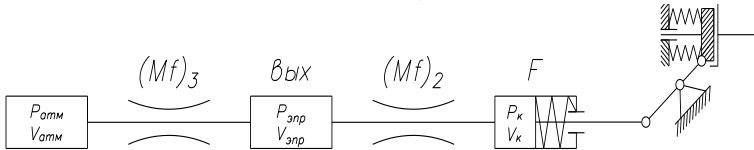


Рисунок 1 – Графическое изображение пневматической части модели

Уравнение движения поршня с учетом результирующих сил преодолеваемого полезного сопротивления  $N_{\text{пол}}$  (рис. 2) и приведенных сил вредного сопротивления  $N_{\text{тр}}$  имеет вид:

$$M_{\text{пр}} \frac{d_2 z}{dt^2} = (p_k - p_n) \cdot F - N_{\text{пол}} - N_{\text{тр}} - N_{\text{пред}},$$

где  $p_n$  – начальное давление в цилиндре, Н/м<sup>2</sup>;  $N_{\text{пред}}$  – сила предварительного сжатия пружин;  $N_{\text{тр}}$  – суммарная сила трения в механизме.

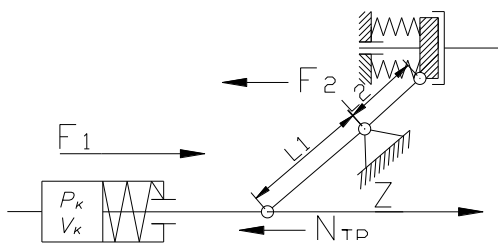


Рисунок 2 – Схема сил, действующих на шток пневмоцилиндра и диск сцепления

Полезное сопротивление выражается в сжатии пружин пневмоцилиндра и диска сцепления.

$$N_{пол} = F_1 + F_2 = z(c_k + nc_c \frac{L_1}{L_2}),$$

Где  $F_1$  – сила, необходимая для сжатия пружины жесткостью  $c_k$ ;  $F_2$  – сила, необходимая для сжатия  $n$  пружин жесткостью  $c_c$ , соединенных параллельно;  $F_{пред}$  – сила предварительного сжатия пружин;  $L_1, L_2$  – плечи приложения полезных сил  $F_1, F_2$ ;  $Z$  – координата перемещения штока [пневмоцилиндра](#).

УДК 629.433.015 (076.5)

## ВЫБОР СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОБУСА

*Ю.Е. Атаманов, В.Н. Плищ, А.Ф. Акулич*

*Аннотация: Рассмотрены вопросы выбора закона регулирования тягового асинхронного электродвигателя для обеспечения тягово-скоростных свойств электробуса при его движении по маршруту, выполнены соответствующие расчеты.*

Хорошо известны преимущества электрического городского пассажирского транспорта, в частности троллейбуса, по сравнению с автобусом. Однако, если автобус работает не только на городских маршрутах, но и на пригородных и на междугородних, то троллейбус используется для перевозки пассажиров только в населенных пунктах. Известна всего лишь одна междугородняя работающая троллейбусная линия Симферополь-Ялта.

Развитие пригородного троллейбусного сообщения сдерживается присущими троллейбусу недостатками. В основном это зависимость от контактной линии, постройка и обслуживание которой вместе с подстанциями обходится довольно дорого. Кроме того, над проезжей частью дороги висят тонны цветного металла, не украшающих