

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЯТОРА ПБС
С ПНЕВМАТИЧЕСКИМ КАСКАДОМ УСИЛЕНИЯ**

Модуляторы противоблокировочной системы, предназначенные для работы в составе пневматического тормозного привода, довольно часто имеют каскад усиления, что способствует увеличению их быстродействия и уменьшению габаритов электромагнитов. Время сигнала регулирования переходного процесса в таком модуляторе состоит из времени срабатывания электромагнита $t_{эл}$ и пневматического каскада усиления t_y :

$$t_p = t_{эл} + t_y \quad (1)$$

Время $t_{эл}$ определяется из результатов расчета основных характеристик электромагнита.

На величину t_y оказывают большое влияние конструктивные параметры модулятора (условные проходы) (d_y), размеры диафрагм, клапанов, усилия пружин, поэтому определить t_y возможно лишь после динамического расчета модулятора.

При математическом описании динамики модулятора принят ряд допущений.

1. Параметры трубопроводов разветвленных участков имеют эквивалентную длину $l_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i$ и площадь сечения $f_3 = n f_i$ [1], где n – количество трубопроводов.

2. Ввиду незначительного изменения при работе модулятора переменные объемы рабочих полостей пневматического каскада усиления приняты постоянными и равными между собой, т.е. $V_a = V_b = \text{const}$.

3. Дополнительное усилие, необходимое для герметизации клапанов модулятора, при составлении математической модели модулятора не учитывается [2].

4. Массой движущихся частей, ввиду ее малости (0,35Н), пренебрегаем.

Для исследования динамики модулятора ПБС составлена расчетная схема (рис. 1), состоящая из отдельных пневматических ДЕ-звеньев

Основными характеристиками этой схемы являются: f_i – площадь проходного сечения дросселя; μ_i – коэффициент расхода дросселя; V_a, V_b, V_c – объем полостей пневматического каскада усиления модулятора; p_a, p_b, p_c – давления в полостях пневматического каскада усиления; V_T – объем камеры; p_T – давление в камере.

На основании расчетной схемы составлена математическая модель. Уравнения математической модели, описывающие динамику пневматического каскада усиления модулятора в фазах наполнения-опоражнивания (автоматическое от- тормаживание – торможение), запишутся в виде:

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{dp_c}{dt} &= N\mu_1 f_1 p_{\max} (p_{\max} - p_c) : (V_c (Dp_{\max} - p_c)) - \\
 &- BN\mu_2 f_2 p_c (p_c - p_a) : (V_c (Dp_c - p_a)); \\
 \frac{dp_a}{dt} &= N\mu_2 f_2 p_c (p_c - p_a) : (V_a (Dp_c - p_a)); \\
 \frac{dp_{OT}}{dt} &= -N\mu_6 f_6 p_{OT} (p_{OT} - p'_M) : (V_T (Dp_{OT} - p'_M)); \\
 \frac{dp'_M}{dt} &= N\mu_6 f_6 p_{OT} (p_{OT} - p'_M) : (V'_M (Dp_{OT} - p'_M)) - \\
 &- N\mu'_M f'_M (p'_M - p_O) : (V'_M (Dp'_M - p_O)); \\
 \frac{dp'_a}{dt} &= -N\mu_2 f_2 p_a (p_a - p'_c) : (V_a (Dp_a - p'_c)); \\
 \frac{dp'_c}{dt} &= BN\mu_2 f_2 p_a (p_a - p'_c) : V'_c (Dp_a - p'_c) - \\
 &- \mu_4 f_4 N p'_c (p'_c - p_O) : (V'_c (Dp'_c - p_O)); \\
 \frac{dp_M}{dt} &= N\mu_{33} f_{33} p_{\max} (p_{\max} - p_M) : (V_M (Dp_{\max} - p_M)) - \\
 &- N\mu_6 f_6 p_M (p_M - p_T) : (V_M (Dp_M - p_T)); \\
 \frac{dp_T}{dt} &= N\mu_6 f_6 p_M (p_M - p_T) : (V_T (Dp_M - p_T));
 \end{aligned} \right\} (2)$$

$$N = kAV_{кр};$$

где $p_O = 0,1$ МПа; $B = 1$ – трехфазовый режим работы модулятора; $B = 2$ – двухфазовый режим; $V_c = V'_c$.

Для определения численных значений удельной проходимости каналов пневматического каскада усиления методом экстраполяции кривых $\mu f(V, l, d)$, приведенных в работе [3], получены следующие выражения:

$$\mu_1 f_1 = 0,157 \cdot 10^{-4} + 0,04 \cdot 10^{-2} (1,414d - 0,003);$$

$$\mu_2 f_2 = 0,157 \cdot 10^{-4} + 0,04 \cdot 10^{-2} (d - 0,003),$$

где d — диаметр канала подачи сжатого воздуха в полости каскада усиления, м. Перемещение каналов модулятора описывается уравнениями вида [2]:

$$\left. \begin{aligned} P + cx + A_1 p_1 - A_2 p_a - A_3 p_T &= 0; \\ P_1 + c_1 x_1 + A_4 p_T + A_5 p'_M - A_6 p_a - A_4 p'_M &= 0; \\ P + c(x_{\max} - x') + A_4 p_1 - A_5 p_1 - A_4 p_{OT} - A_7 p'_a &= 0; \\ P_1 + c_1(x'_{\max} - x'_1) + A_4 p_{OT} + A_5 p'_M - A_4 p'_M - A_6 p'_a &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где x и x_1 — перемещение каналов; c и c_1 — жесткости пружин; P и P_1 — усилие предварительного сжатия пружин.

Системы уравнений (2), (3) описывают динамику модулятора с пневматическим каскадом усиления в фазах автоматического торможения — оттормживания. Решение полученных дифференциальных уравнений осуществлялось с применением численного метода Рунге—Кутты. В соответствии с алгоритмом на языке "ап" составлена программа расчета для ЭВМ "Наири—2К". Результаты расчета выводились на печать с шагом 0,002, шаг интегрирования составлял 0,0001 и 0,00005. Разработанный алгоритм позволяет без корректировки программы оперативно изменять параметры системы (l_i, f_i, V_c, V_a), режим работы модулятора (двух-, трехфазовый), его конструктивные параметры (размеры клапанов и диафрагм, усилие пружин).

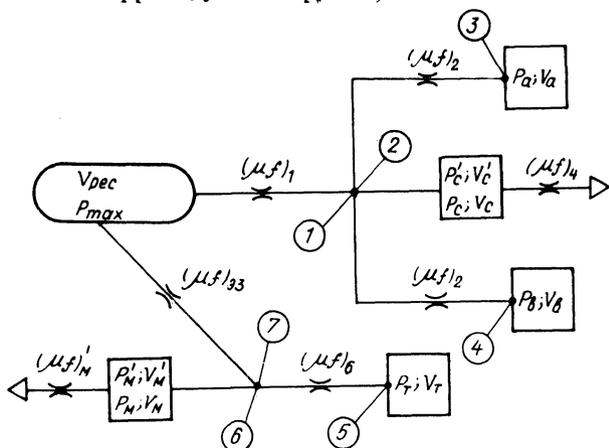


Рис. 1. Расчетная схема модулятора противоблокировочной системы.

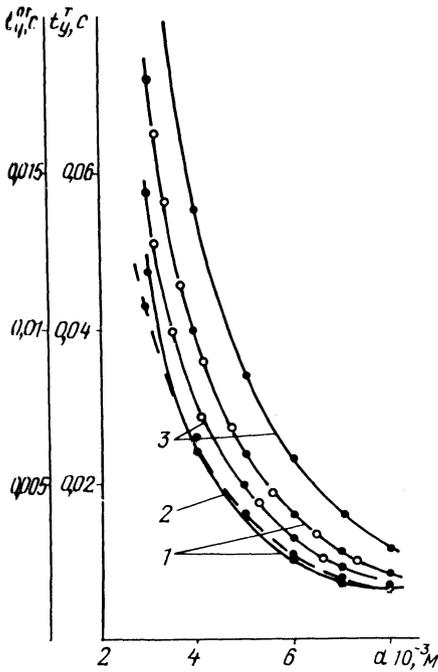


Рис. 2. Зависимость времени срабатывания каскада усиления модулятора от диаметра подводных каналов при двухфазовом режиме работы в фазах торможения (фаза 3) и оттормаживания (фаза 2): 1 — фаза 2 (—); 2 — фаза 3 (--- впускной клапан); 3 — фаза 3 (выпускной клапан); —○— $V_a = 10 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$; $P = 185 \text{ Н}$; $P_1 = 15 \text{ Н}$; $D_\delta = 4,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $D_{\text{кл}} = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; —○— $V_a = 10 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$; $P = 185 \text{ Н}$; $P_1 = 220 \text{ Н}$; $D_\delta = 4,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $D_{\text{кл}} = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

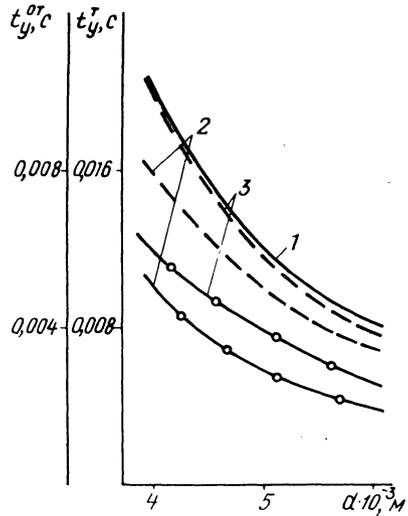


Рис. 3. Зависимость времени срабатывания каскада усиления модулятора от диаметра подводных каналов при трехфазовом режиме работы в фазах торможения (фаза 3), выдержки давления (фаза 4) и оттормаживания (фаза 2): 1 — фаза 2 (—); 2 — фаза 3 (впускной клапан); 3 — фаза 4 (выпускной клапан); --- $V = 10 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$; $P = 185 \text{ Н}$; $D_\delta = 4,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $D_\delta^1 = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $D_{\text{кл}} = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; —○— $V_a^1 = 7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$; $V_a = 10 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$; $P = 185 \text{ Н}$; $P_1 = 220 \text{ Н}$; $D_\delta^1 = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $D_{\text{кл}} = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

Некоторые из основных результатов расчета представлены на рис. 2 и 3, сравнение которых с экспериментальными данными показало, что разработанная математическая модель модулятора с достаточной для практических целей точностью (величины погрешностей при торможении и оттормаживании составляют соответственно 7–15% и 7–9%) описывает реальные переходные процессы модулятора.

Анализ графиков (рис. 2) показывает, что с увеличением диаметра канала пневматического каскада усиления время срабатывания t_y уменьшается. Однако, как показали исследования, одновременно увеличивается время $t_{\text{эл}}$, т.е. при увеличении диаметра канала d t_y и $t_{\text{эл}}$ находятся в обратной пропорциональной зависимости и общее время регулирования t_p с увеличением d возрастает,

так как интенсивность увеличения $t_{эл}$ выше, чем интенсивность уменьшения t_y . Анализ многочисленных результатов аналитических исследований позволяет сделать вывод, что диаметр канала d пневматического каскада усиления может находиться в пределах $(4-6) \cdot 10^{-3}$ м без значительного увеличения $t_{эл}$ и при относительно небольшом t_y (рис. 2 и 3).

При $d = \text{const}$ время t_y можно регулировать, изменяя характеристики пружин. Так, при увеличении p_1 от 15 до 220 Н (при неизменных параметрах диафрагм, клапанов и объемов наполнения) время t_y ($d = 5 \cdot 10^{-3}$ м) уменьшается от 0,034 до 0,02 с.

Регулировать время t_y можно, также изменяя диаметры диафрагм клапанов, объемы наполняемых полостей каскада усиления, режим работы модулятора (рис. 3).

Как видно из графиков (рис. 2 и 3), в фазе автоматического торможения (фаза 3) выпускной клапан срабатывает позже впускного, что приводит к дополнительному расходу сжатого воздуха. С целью устранения этого недостатка необходимо добиваться одновременного срабатывания впускного и выпускного каналов или небольшого опережения срабатывания впускного канала. Это же обеспечит в фазе автоматического оттормаживания (фаза 2) одновременное или же небольшое опережение срабатывания впускного клапана по сравнению с выпускным, что также улучшит динамические характеристики модулятора, в частности, уменьшит расход сжатого воздуха.

Результаты динамического расчета позволяют значительно ускорить выбор конструктивных параметров и доводку модуляторов ПБС, имеющих пневматический каскад усиления, в частности, результаты расчета применялись при доводке опытных образцов модуляторов, установленных на стенде УИС-1 в Проблемной лаборатории автомобилей Белорусского политехнического института.

ЛИТЕРАТУРА

1. М е т л ю к Н.Ф. Динамика и методы улучшения переходных характеристик тормозных приводов автомобилей и автопоездов: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. — Минск, 1973. — 48 с.
2. Агрегаты пневматических систем летательных аппаратов/ Под ред. И.Т. Романенко. — М., 1976, с. 176.
3. Б а р т о ш П.Р. Исследование динамики и повышение быстродействия пневматического тормозного привода большегрузных прицепов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Минск, 1977. — 20 с.