

Напряжение, соответствующее моменту поворота машины, из интегратора 5 поступает на усилитель 10. Сопротивления  $R_1 = R_2 = R_3$ , диоды  $D_1$  и  $D_2$  и сумматор 11 предназначены для получения модуля напряжения, соответствующего  $|M|$ , которое далее поступает на сумматор 12, где оно вычитается от напряжения, соответствующего  $M_{max}$ . Результат вычитания поступает на спецблок извлечения корня 13. Из спецблока напряжение поступает на блок умножения 6. Так формируется второе уравнение системы (11),

Напряжение, соответствующее моменту поворота машины, фиксируется на записывающей аппаратуре с интегратора 5, соответствующее ходу золотника (ширине щели) — с сумматора 8, а углом поворота рулевого колеса и полурам — с интеграторов 9 и 4. Из работы следует:

1. Уменьшение коэффициента усиления обратной связи на 15% приводит к значительному несоответствию угла поворота рамы углу поворота рулевого колеса; увеличение его на 10% вызывает колебания в гидроцилиндрах и "рыскание" полурам.

2. Увеличение жесткости гидропривода на 20% приводит к возникновению колебаний и к незначительному увеличению абсолютного значения давления в гидроприводе.

3. Уменьшение производительности насоса на 10% вызывает утыкание золотника; увеличение ее на 20% приводит к возникновению значительных колебательных процессов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Гийон М. Исследование и расчет гидравлических систем. М., 1964. 2. Метлюк Н.Ф., Молибошко Л.А., Карпов А.В. Основы автоматизации автомобилей и тракторов. Минск, 1974.

УДК 629.113

А.В. Карпов, канд.техн.наук, И.И. Лепешко, О.С. Руктешель, канд. техн. наук, Л.Е. Таубес (Белорусский политехнический институт)

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ САУ МЕХАНИЧЕСКОЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ АВТОМОБИЛЯ

В настоящее время все большее внимание уделяется вопросам автоматизации коробок передач, позволяющей освобо-

дить водителя от операций по управлению трансмиссией, улучшить тягово-экономические показатели и увеличить долговечность узлов автомобиля.

Составной частью системы автоматического управления (САУ) трансмиссией является исполнительный механизм (ИМ), обеспечивающий включение требуемой передачи в механической коробке. Исполнительный механизм должен при этом фиксировать вилку переключения передач в одном из трех возможных положений: нейтральном, нижней передачи и высшей передачи. Конструктивная схема силового цилиндра такого ИМ показана на рис. 1, а. Ввиду того что на грузовых автомобилях широко применяется тормозная система с пневмоприводом, целесообразно при автоматизации процесса переключения передач таких автомобилей использовать в качестве энергоносителя для ИМ сжатый воздух.

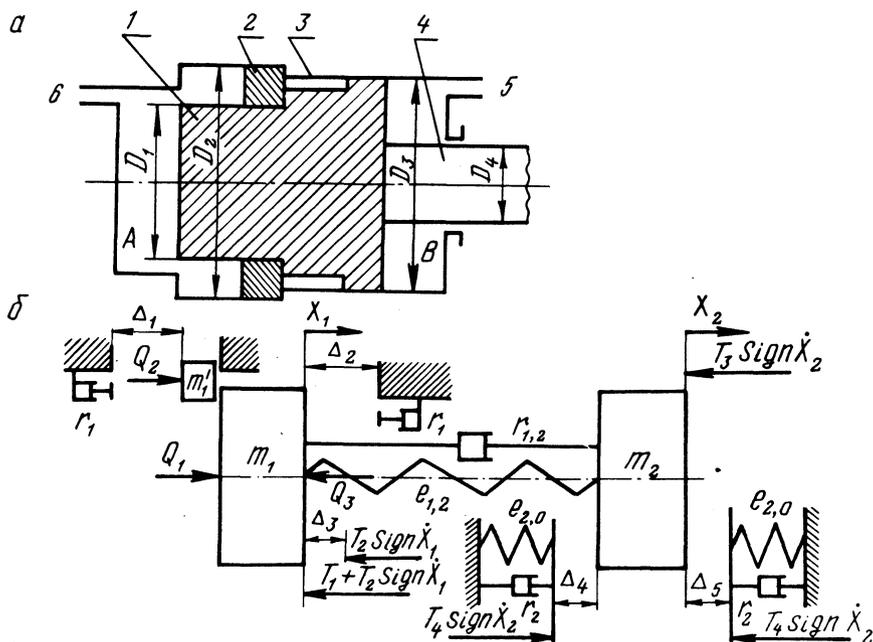


Рис. 1. Силовой цилиндр исполнительного механизма: а — конструктивная схема; б — расчетная динамическая система.

В нейтральном положении основной поршень 1 удерживается за счет давления воздуха в полостях А и В, потому что последние в данном случае соединены с ресивером. Так как диаметр  $D_1^2 < (D_3 - D_4)^2$ , а в полостях давление одинако-

вое, поршень 1 перемещаться вправо не может. Перемещение основного поршня влево также не произойдет, ибо он упирается в плавающий поршень 2, диаметр которого  $D_2 > (D_3 - D_4)$ .<sup>2</sup>

Включение низшей передачи происходит при перемещении поршня 1 влево, что обеспечивается соединением полости А с атмосферой. Полость В остается по-прежнему соединенной с ресивером. Под действием разности давлений поршни 1 и 2 передвигаются влево до соприкосновения с корпусом 3 силового цилиндра, обеспечивая включение низшей передачи. Для переключения с низшей на высшую передачу необходимо полость А соединить с ресивером, а полость В — с атмосферой. При этом поршень 1 переходит из крайнего левого положения в крайнее правое, обеспечивая включение высшей передачи.

Процесс переключения в нейтраль или с высшей передачи на низшую происходит аналогично описанному, но в обратном порядке.

Цель настоящей работы -- определить быстродействия ИМ, расчет нагрузок в упругих звеньях механизма переключения передач, исследовать качество протекания процессов наполнения и опораживания пневмоцилиндра ИМ при различном давлении воздуха в ресивере, демпфировании и различных проходных сечениях отверстий 5 и 6 для подвода -- отвода воздуха.

Для исследования работы ИМ на переходных режимах была составлена расчетная динамическая система, изображенная на рис. 1,б. Здесь  $m_1$  -- масса основного поршня 1, штока 4, кулисы и часть массы вилки переключения передач;  $m_2$  -- оставшаяся часть массы вилки переключения передач, масса обоймы, кольца и каретки синхронизатора;  $m'_1$  -- масса плавающего поршня 2 (ввиду малости принята равной нулю);  $e_{1,2}$  и  $e_{2,0}$  -- податливости соответственно вилки переключения передач и фрикционного кольца синхронизатора;  $Q_1, Q_2$  и  $Q_3$  -- силы, действующие соответственно на поверхность поршня с диаметром  $D_1, D_2$  и  $D_3 - D_4$ ;  $T_1$  -- усилие фиксатора механизма переключения передач;  $T_2$  -- сила трения поршня о стенки цилиндра и штока о направляющие втулки;  $T_3$  и  $T_4$  -- силы трения в шлицевом соединении каретка -- вал соответственно до соприкосновения трущихся поверхностей колец синхронизатора и после;  $\delta_1, \delta_2$  и  $\delta_{1,2}$  -- коэффициенты неупругого

сопротивления, возникающего соответственно при соприкосновении поршня со стенкой цилиндра, при соприкосновении трущихся поверхностей колец синхронизатора и в упругом звене с податливостью  $e_{1,2}$ ;  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  — расстояние от поршня, находящегося в нейтральном положении, до стенок силового цилиндра;  $\Delta_3$  — половина длины лунки фиксатора;  $\Delta_4$  и  $\Delta_5$  — ход каретки до соприкосновения трущихся поверхностей колец синхронизатора соответственно низшей и высшей передач;  $x_1$ ,  $x_2$  и  $\dot{x}_1$ ,  $\dot{x}_2$  — соответственно перемещения и скорости масс  $m_1$  и  $m_2$ .

Уравнения движения масс исполнительного механизма при включении высшей передачи из нейтрали имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} x_1 < \Delta_3; \quad x_2 \leq \Delta_5; \quad x_1 \leq \Delta_2; \\ m_1 \ddot{x}_1 &= Q_1 - \frac{x_1 - x_2}{e_{1,2}} - T_1 - T_2 \operatorname{sign} \dot{x}_1 - Q_3 - \gamma_{1,2} (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) \\ m_2 \ddot{x}_2 &= \frac{x_1 - x_2}{e_{1,2}} + \gamma_{1,2} (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - T_3 \operatorname{sign} \dot{x}_2; \\ x_1 \geq \Delta_3; \quad x_2 \leq \Delta_5; \quad x_1 \leq \Delta_2; \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 &= Q_1 - \frac{x_1 - x_2}{e_{1,2}} - T_2 \operatorname{sign} \dot{x}_1 - Q_3 - \gamma_{1,2} (\dot{x}_1 - \dot{x}_2); \\ m_2 \ddot{x}_2 &= \frac{x_1 - x_2}{e_{1,2}} + \gamma_{1,2} (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - T_3 \operatorname{sign} \dot{x}_2; \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\left. \begin{aligned} x_1 \geq \Delta_3; \quad x_2 > \Delta_5; \quad x_1 \leq \Delta_2; \\ m_1 \ddot{x}_1 &= Q_1 - \frac{x_1 - x_2}{e_{1,2}} - T_2 \operatorname{sign} \dot{x}_1 - Q_3 - \gamma_{1,2} (\dot{x}_1 - \dot{x}_2); \\ m_2 \ddot{x}_2 &= \frac{x_1 - x_2}{e_{1,2}} + \gamma_{1,2} (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - (T_3 + T_4) \operatorname{sign} \dot{x}_2 - \\ &- \gamma_2 \dot{x}_2 - \frac{x_2 - \Delta_5}{e_{2,0}}; \end{aligned} \right\} (3)$$

$$x_1 > \Delta_3; x_2 > \Delta_5; x_1 > \Delta_2;$$

$$m_1 \ddot{x}_1 = Q_1 - \frac{x_1 - x_2}{e_{1,2}} - T_2 \operatorname{sign} \dot{x}_1 - Q_3 - \gamma_{1,2} (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - \left. \begin{aligned} & - \frac{x_1 - \Delta_2}{e_{1,0}} - \gamma_{1,0} \dot{x}_1; \end{aligned} \right\} (4)$$

где  $e_{1,0} \approx 0$ ;

$$m_2 \ddot{x}_2 = \frac{x_1 - x_2}{e_{1,2}} + \gamma_{1,2} (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - T_3 \operatorname{sign} \dot{x}_2.$$

Причем  $Q_1 = p_0 \frac{\pi D_1^2}{4}$ , а  $Q_3 = (p - p_a) \frac{\pi (D_3^2 - D_4^2)}{4}$ , (5)

где  $p_a$  -- атмосферное давление воздуха;  $p$  и  $p_0$  -- давление воздуха соответственно в силовом цилиндре и ресивере.

Как указывалось выше, включение понижающей передачи или повышающей из нейтрали, а также переключение с одной передачи на другую, минуя фиксацию в нейтрали, осуществляется соединением полости А или В с ресивером или атмосферой. При опораживании пневмоцилиндра с переменной емкостью, т.е. при соединении его с атмосферой, уравнение газодинамической функции имеет вид [1]:

$$-\frac{dp}{dt} V + \frac{dV}{dt} P = -\alpha e (\alpha p - p_a); \quad (6)$$

$$V = F (x_{\max} - x), \quad (7)$$

где  $V$  и  $F$  -- объем переменной емкости и площадь поперечного сечения цилиндра;  $x_{\max}$  и  $x$  -- максимальное и текущее значение координаты перемещения поршня;  $\alpha e$  -- удельная проходимость дросселя;  $\alpha$  -- коэффициент аппроксимации, равный 1,5.

После подстановки уравнения (7) в (6) и приведения полученного уравнения к виду, удобному для моделирования, т.е. после разрешения его относительно высшей производной от  $p$ , получим следующее выражение:

$$p = - \int_0^t \frac{\alpha e (\alpha p - p_a) + p F \dot{x}}{F(x_{\max} - x)} dt. \quad (8)$$

При наполнении пневмоцилиндра с переменной емкостью, т.е. при соединении его с ресивером, уравнение газодинамической функции имеет вид

$$\frac{dp}{dt} V + \frac{dV}{dt} p = \alpha \epsilon (\alpha p_0 - p); \quad (9)$$

$$V = F (x_{\text{нач}} + x). \quad (10)$$

После подстановки уравнения (10) в (9) и несложных преобразований получим выражение

$$p = \int_0^t \frac{\alpha \epsilon (\alpha p_0 - p) - p E \dot{x}}{F (x_{\text{нач}} + x)} dt. \quad (11)$$

Следовательно, при определении силы  $Q_i$ , действующей на поверхность поршня с диаметром  $D_i$ , в зависимости от того происходит опоражнивание или наполнение полости цилиндра, давление  $p$  в цилиндре рассчитывается по уравнению (8) или (11).

Так как решение систем уравнений (1)–(4) движения масс исполнительного механизма аналитическими методами практически невозможно ввиду их нелинейного характера, обращаемся за помощью к ЭВМ.

Блок-схема электронной модели ИМ при исследовании его работы на аналоговых вычислительных машинах приведена на рис. 2. Здесь массам  $m_1$  и  $m_2$  соответствуют интеграторы 1 и 5, а упругому звену  $e_{1,2}$  — интеграторы 2, 6 и сумматор 8.

Давление воздуха при наполнении полости В силового цилиндра реализуется в электронной модели в виде напряжения на выходе интегратора 4, а при опоражнивании полости А — на выходе интегратора 3. Преобразованием блок-схемы электронной модели можно поменять местами функции полостей, т.е. в полости, где до этого происходило опоражнивание, организовать наполнение и наоборот.

Упоры и неупругие сопротивления, действующие в системе в момент удара поршня об упор, моделируются с помощью электронных ключей  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$ ;  $K_4$ , что позволяет получить решение с минимальной погрешностью. Управление ключами осуществляется блоками типичных нелинейностей 6 и 7.

Образец осциллограммы исследования переходных процессов в исполнительном механизме САУ при переключении передач

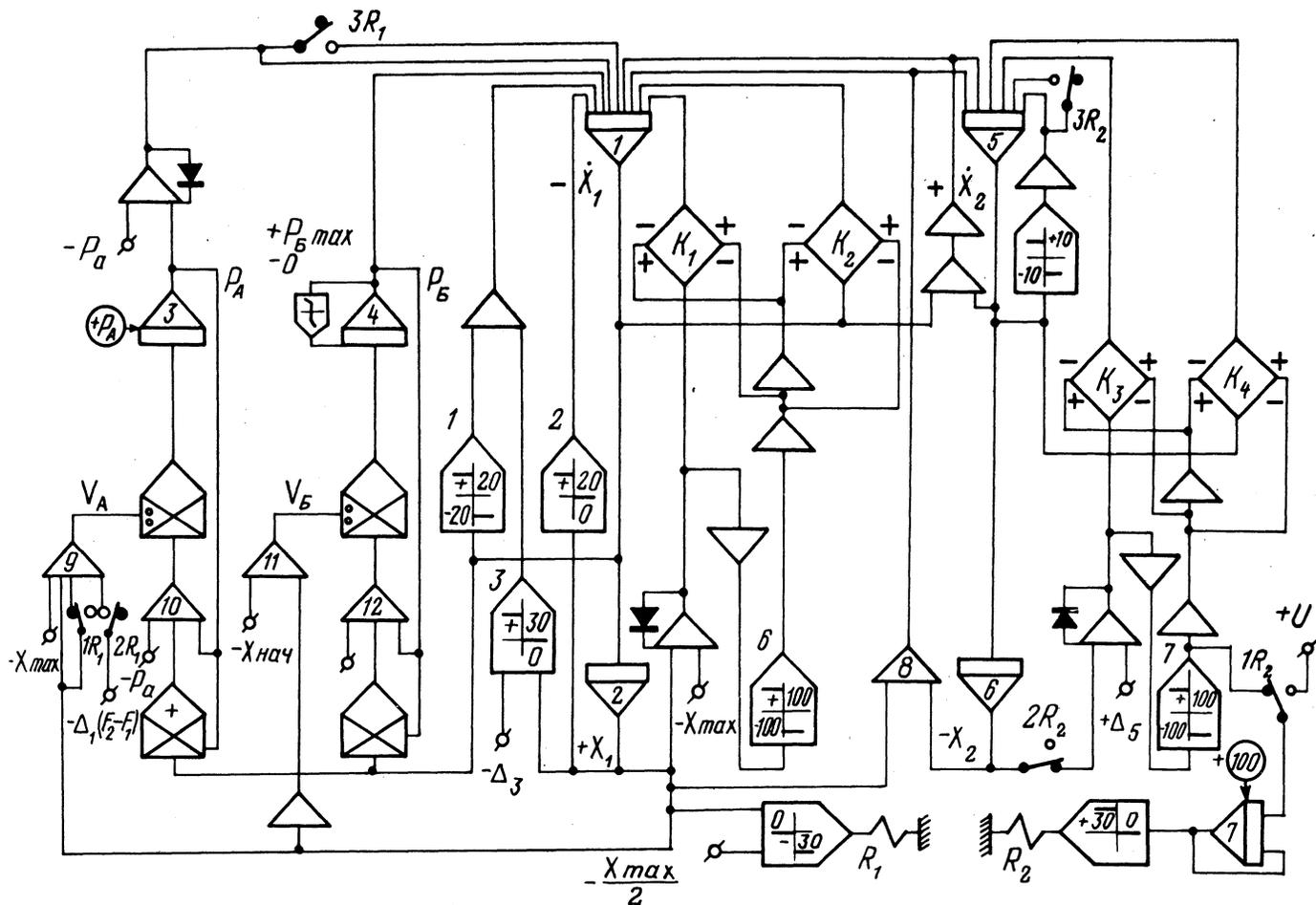


Рис. 2. Блок-схема электронной модели для исследования работы исполнительного механизма.

приведен на рис. 3. Здесь:  $p_A$  и  $p_B$  — давление воздуха в полостях А и В;  $x_1$  и  $x_2$  — перемещение поршня и каретки синхронизатора;  $Y_{1,2}$  и  $Y_{2,0}$  — усиление на вилке и фрикционных кольцах синхронизатора.

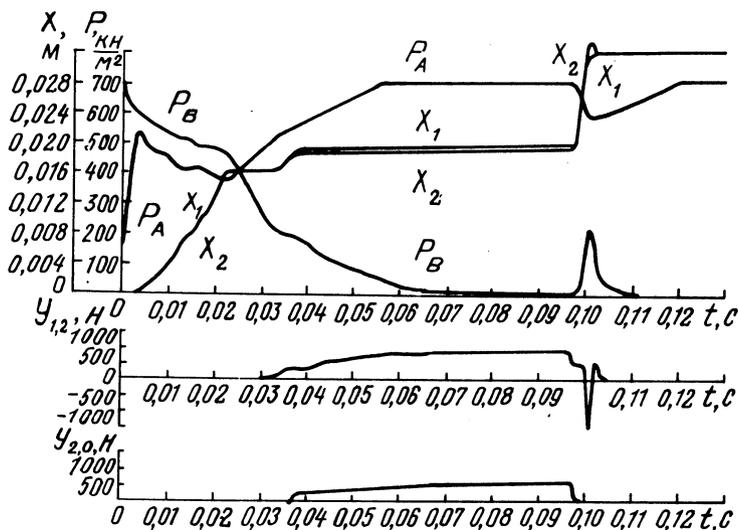


Рис. 3. Образец осциллограммы переходного процесса в исполнительном механизме при переключении с нижней передачи на высшую.

**Резюме.** Разработанная блок-схема электронной модели исполнительного механизма САУ коробки передач автомобиля позволяет рассматривать его работу на переходных режимах. При этом на модели можно определить быстрдействие срабатывания ИМ, выбрать оптимальные в динамическом отношении параметры его системы, рассчитать нагрузки в упругих звеньях механизма переключения передач, исследовать качество протекания процессов наполнения и опораживания пневмоцилиндра ИМ при различных давлениях воздуха в ресивере, различном неупругом сопротивлении элементов системы и проходных сечениях отверстий для подвода — отвода воздуха.

#### Л и т е р а т у р а

1. Метлюк Н.Ф., Молибошко Л.А., Карпов А.В. Основы автоматизации автомобилей и тракторов. Минск, 1974.