

паны плавности и модуляционные клапаны, поршни фасонной формы, обеспечивающие ступенчатое включение фрикциона и др. Степень эффективности перечисленных мероприятий в каждом конкретном случае может быть легко выявлена с помощью рассмотренных электронных моделей.

Таким образом, возможность регулирования давления на поверхностях трения фрикциона с гидравлическим нажимным устройством принципиально позволяет обеспечить оптимальные условия его работы, а предлагаемые модели могут использоваться при конструктивной доводке фрикционов.

Кроме того, электронные модели процессов включения и выключения многодискового фрикциона позволяют в зависимости от цели и задач исследования выявить влияние геометрических параметров и параметров динамической системы фрикциона, скорости и закона нарастания давления рабочей жидкости в бустере, величины зазора между дисками, нелинейных сил трения, действующих на поршень и диски, а также усилия от центробежных сил вращающейся жидкости и усилия отжимной пружины на характер протекания исследуемых процессов.

### Л и т е р а т у р а

1. Зельцерман И.М. и др. Фрикционные муфты и тормоза гусеничных машин. М., 1965. 2. Красненьков В.И., Егоркин В.В. Синхронизаторы в ступенчатых трансмиссиях. М., 1967. 3. Харитонов Н.П., Анохин В.А. К вопросу плавности переключения гидромеханической передачи. — "Автомобильная промышленность", 1963, № 5. 4. Бойков П.И. и др. Эксплуатационные исследования неустановившихся режимов работы тракторной трансмиссии с переключением передач на ходу. — "Тракторы и сельхозмашины", 1969, № 10. 5. Раздолин М.В. К выбору основных параметров дисковых фрикционных муфт. — Труды МАИ. М., 1960, вып. 127.

Н.Ф. Метлюк, В.П. Автушко, А.В. Ануфриенко

### ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕ-ЗВЕНА С ПОСТОЯННОЙ ЕМКОСТЬЮ

В автомобильном тормозном приводе часто применяются звенья, составленные из длинного трубопровода (Т) и емкости

(Е) и условно названные ТЕ-звеньями. В длинном трубопроводе сложным образом сочетаются свойства дросселя и емкости, причем, сопротивление и емкость распределены по всей длине трубопровода, т.е. трубопровод представляет собой объект с

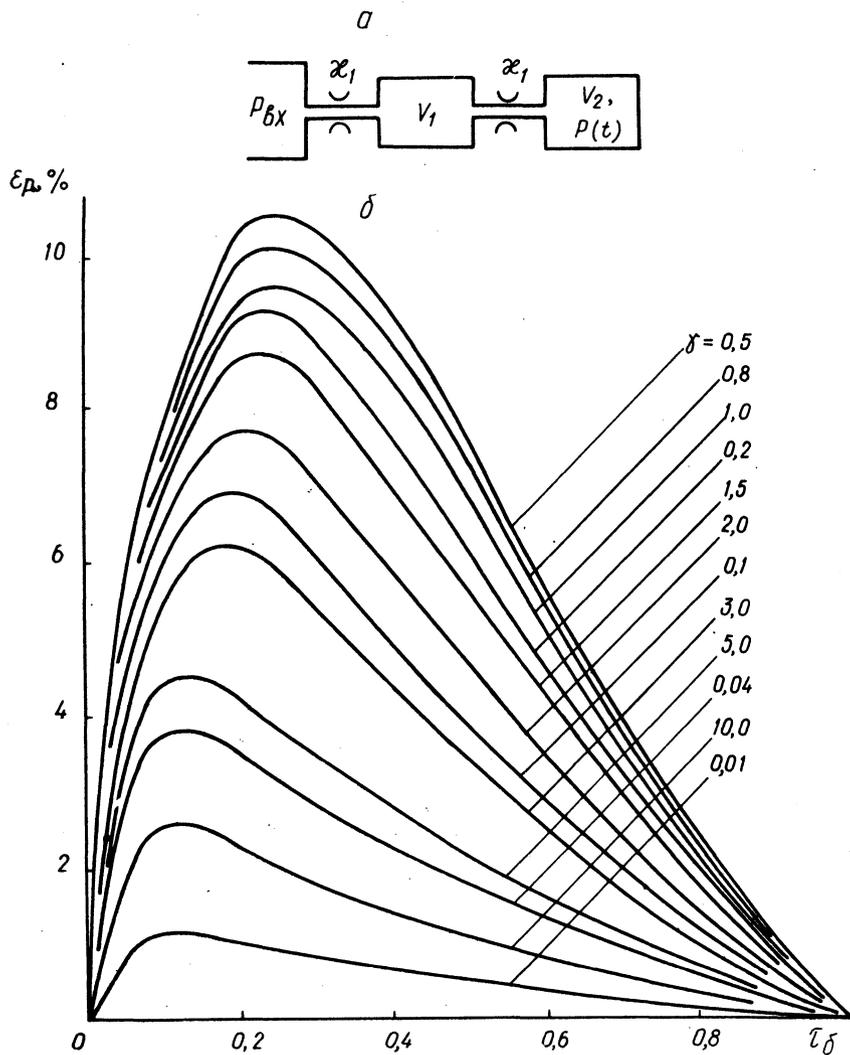


Рис. 1. Схема эквивалентного пневматического звена 2-го порядка (а) и зависимость  $\varepsilon_p = f(\gamma, \tau_\delta)$  (б).

распределенными параметрами и описывается системой дифференциальных уравнений в частных производных.

В случае, когда распределение давлений по длине трубопровода не представляет практического интереса, ТЕ-звенья по динамическим свойствам можно рассматривать эквивалентными двум последовательно включенным ДЕ-звеньям (дроссель  $D$ , емкость  $E$ ) (рис. 1, а). При этом емкость первого эквивалентного ДЕ-звена равна емкости внутреннего объема трубопровода  $V_1$ , а емкость второго равна объему камеры  $V_2$ , присоединенной к трубопроводу. Динамика ТЕ-звеньев описывается следующими линейными дифференциальными уравнениями 2 - го порядка [1]:

а) наполнение емкости  $V_2$ :

$$\frac{V_1 V_2}{\alpha_1^2} \frac{d^2 p}{dt^2} + \frac{V_1 + 2V_2}{\alpha_1} \frac{dp}{dt} + p = \alpha p_{вх}; \quad (1)$$

$$p_{нщ} \leq p \leq p_{max};$$

б) опоражнивание емкости  $V_2$ :

$$\frac{V_1 V_2}{\alpha_1^2} \frac{d^2 p}{dt^2} + \frac{V_1 + 2V_2}{\alpha_1} \frac{dp}{dt} + p = \beta p_{вх}; \quad (2)$$

$$p_1 \leq p \leq p_{max};$$

где  $p$  — текущее давление в емкости;  $\alpha$  — удельная проходимость дросселей ТЕ-звена;  $\alpha$  и  $\beta$  — коэффициенты аппроксимации, соответственно для случая наполнения и для случая опоражнивания емкости;  $p_{вх}$  — давление на входе в ТЕ-звено.

При исследовании ТЕ-звеньев требуется решить следующие две задачи. Первая заключается в определении удельной проходимости  $\alpha_1$  реальных ТЕ-звеньев в зависимости от их конструктивных параметров (присоединенного объема  $V_2$  и объема трубопровода  $V_1$ ). Вторая задача — установление параметров, при которых звенья, состоящие из трубопровода и присоединенной к нему емкости, следует рассматривать как аperiодические

звенья 2-го порядка (ТЕ-звено), и параметров, при которых их следует рассматривать как звенья 1-го порядка (ДЕ-звено).

Решение дифференциального уравнения (1) при ступенчатом входном сигнале имеет вид

$$p_6 = \alpha + \frac{1}{2} \left( \frac{p_{\text{нач}}}{p_{\text{max}}} - \alpha \right) \exp \left[ -\frac{\alpha_1}{2V_2} (1+2\gamma)t \right] \left[ \left( 1 + \frac{1+2\gamma}{1+4\gamma^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \exp \left( \frac{\alpha_1}{2V_2} \sqrt{1+4\gamma^2} t \right) + \left( 1 - \frac{1+2\gamma}{\sqrt{1+4\gamma^2}} \right) \exp \left( -\frac{\alpha_1}{2V_2} \sqrt{1+4\gamma^2} t \right) \right]; \quad (3)$$

где  $p_6 = \frac{p}{p_{\text{max}}}$  — безразмерное давление в емкости  $V_2$ ;  $p_{\text{нач}}$  — начальное давление в наполняющем объеме (обычно  $p_{\text{нач}} = 1 \text{ кг/см}^2$ );  $\gamma = \frac{V_2}{V_1}$  — отношение присоединенного объема к объему трубопровода.

Результаты расчета динамических характеристик ТЕ-звена по выражению (3) показали, что второй член в квадратных скобках при увеличении времени  $t$  стремится к нулю и в узловой точке, соответствующей  $p_6 = 0,9$ , им практически можно пренебречь. С учетом отмеченного, из выражения (3) после преобразований получена формула для определения удельной проходимости эквивалентных дросселей  $\alpha_1$  ТЕ-звена (при  $\alpha = 1,5$ ;  $p_6 = 0,9$ ;  $p_{\text{нач}} = 1 \text{ кг/см}^2$ ;  $p_{\text{max}}^1 = 8 \text{ кг/см}^2$ ):

$$\alpha_1 = \frac{V_2}{t_{0,9}} \frac{2}{(1+2\gamma) - \sqrt{1+4\gamma^2}} \ln \left[ 1,145 \left( 1 + \frac{1+2\gamma}{\sqrt{1+4\gamma^2}} \right) \right]; \quad (4)$$

где  $t_{0,9}$  — время нарастания давления до  $p_6 = 0,9$ .

Решая совместно уравнения (3) и (4), после преобразований получаем в безразмерном виде аналитическое выражение переходной характеристики ТЕ-звена (при  $\alpha = 1,5$ ;  $p_{\text{нач}} = 1 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ;  $p_{\text{max}} = 8 \text{ кг/см}^2$ ):

$$p_6 = 1,5 - 1,375 \exp \left[ \frac{(1+2\gamma)}{\sqrt{1+4\gamma^2} - (1+2\gamma)} \ln 1,145 \left( 1 + \frac{1+2\gamma}{\sqrt{1+4\gamma^2}} \right) \right] p_6 \times$$

$$\times \left\{ \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{1+2\gamma}{\sqrt{1+4\gamma^2}} \right) \exp \left[ \frac{\sqrt{1+4\gamma^2}}{(1+2\gamma) - \sqrt{1+4\gamma^2}} \ln 1,145 \left( 1 + \frac{1+2\gamma}{\sqrt{1+4\gamma^2}} \right) \right] \tau_{\delta} \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{1+2\gamma}{\sqrt{1+4\gamma^2}} \right) \exp \left[ \frac{\sqrt{1+4\gamma^2}}{\sqrt{1+4\gamma^2} - (1+2\gamma)} \ln 1,145 \left( 1 + \frac{1+2\gamma}{\sqrt{1+4\gamma^2}} \right) \right] \tau_{\delta} \right\}; \quad (5)$$

где  $\tau_6 = \frac{t}{t_{0,9}}$  — безразмерное время переходного процесса.

Анализ этого выражения показывает, что характер протекания кривой переходного процесса зависит от параметра  $\gamma$  и при определенных значениях  $\gamma$  приближается к безразмерной кривой переходного процесса апериодического звена 1-го порядка (ДЕ-звено), которая описывается уравнением (при  $\alpha = 1,5$ ;  $p_{нач} = 1 \text{ кг/см}^2$ ;  $p_{max} = 8 \text{ кг/см}^2$ ):

$$p_6 = 1,5 - 1,375 e^{-0,830 \tau_6} \quad (6)$$

Относительное отклонение по давлению кривой 2-го порядка (уравнение 5) от кривой 1-го порядка (уравнение 6) определяется

$$\varepsilon_p = (p_{6I} - p_{6II}) \cdot 100\%, \quad (7)$$

где  $p_{6II}$  — безразмерное давление в наполняемой емкости апериодического звена 2-го порядка, определяемое по уравнению (5).

На рис. 1,б представлена рассчитанная на ЭЦВМ "Проминь" зависимость  $\varepsilon_p = f(\gamma, \tau_6)$ , согласно выражению (5)-(7) для широкого диапазона изменения параметра  $\gamma$ . Анализ графика показывает, что максимальное значение отклонения  $\varepsilon_p$  имеет место при  $\tau_6 = 0,10-0,25$  в зависимости от  $\gamma$ .

По данным расчета построена зависимость  $\varepsilon_{p_{max}} = \varphi(\gamma)$  (рис. 2), с помощью которой устанавливаются границы ДЕ- и ТЕ-звеньев.

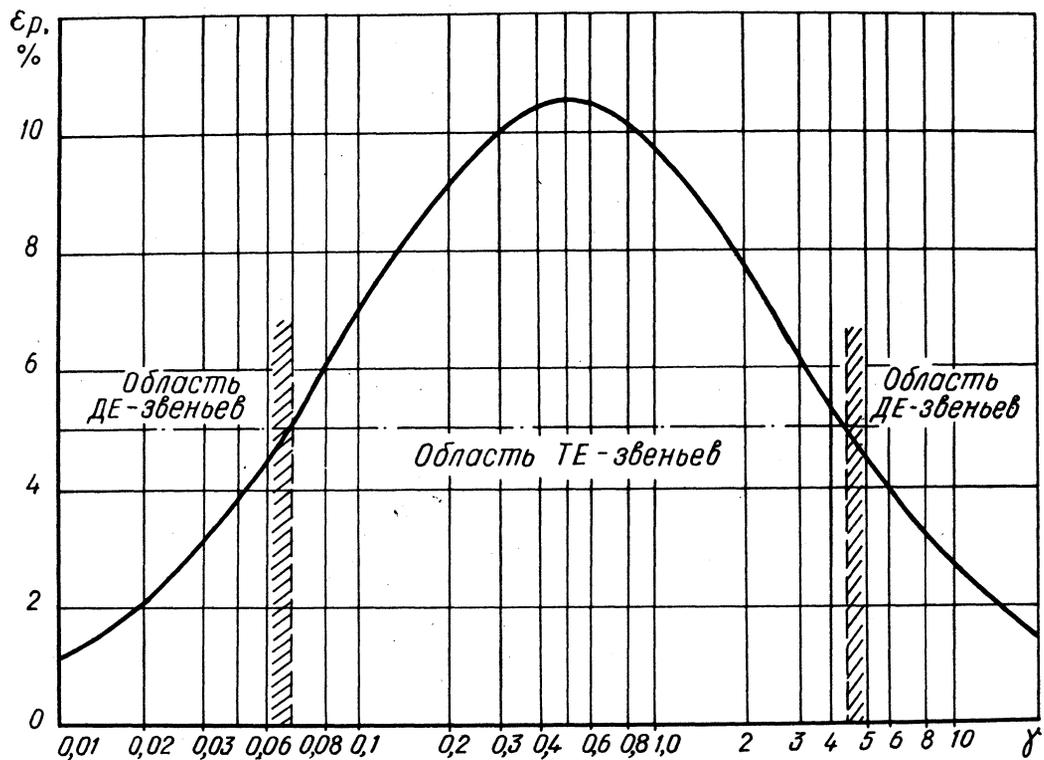


Рис. 2. График относительных отклонений переходных характеристик звеньев 2-го порядка от характеристик звеньев 1-го порядка.

Так, например, если задаться допустимой погрешностью  $\epsilon_{P_{max}} = 5\%$ , то в области  $0,06 \leq \gamma \leq 4,5$  звенья, составленные из трубопровода и емкости, следует рассматривать как звенья 2-го порядка, а в областях  $0,06 > \gamma > 4,5$  эти звенья можно в динамической модели рассматривать как звенья 1-го порядка (ДЕ-звенья). Результаты исследования подтверждаются многочисленными экспериментальными данными, полученными авторами [1—3].

## Л и т е р а т у р а

1. Метлюк Н.Ф. Динамика и методы улучшения переходных характеристик тормозных приводов автомобилей и автопоездов. Докт. дис. Минск, 1973. 2. Метлюк Н.Ф., Автушко В.П. Исследование динамических свойств опытных пневмоаппаратов тормозного привода и аппаратов фирм "Кнорр-Бремз" и "Вестингауз-Брезмен" и выбор оптимальной схемы комбинированного пневмогидравлического тормозного привода. Деп. № Б 250172. Минск, 1972 3. Автушко В.П. Исследование динамики пневмогидравлического тормозного привода автомобилей и автопоездов. Канд. дис. Минск, 1972.

И.И. Лепешко

## О СИЛАХ ИНЕРЦИИ АВТОМОБИЛЯ ПРИ КРИВОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ

В работах по динамике криволинейного движения по различным методикам [1, 2, 3] силы инерции определяются в проекциях на продольную и поперечную оси автомобиля.

Независимо от методики определения уравнения в общем случае движения имеют вид

$$P_{jx} = m(\dot{v} - b\omega^2); \quad P_{jy} = m(\omega v + b\dot{\omega}), \quad (1)$$

где  $v, \dot{v}$  — поступательная скорость и ускорение середины заднего моста;  $\omega, \dot{\omega}$  — угловая скорость и ускорение вращения продольной оси автомобиля относительно мгновенного центра поворота;  $b$  — расстояние от задней оси до центра тяжести;  $m$  — масса автомобиля.