

определение длины отверстий матрицы пресс-гранулятора. – Тракторы и сельхозмашины, 1972, № 10. 4. Riesel H. Über den Verdichtungsvorgang beim Brikettieren. Aufbereitungstechnik, 1971, №11. 5. Долгов И.А. Закономерности сжатия сено-соломенных материалов. – Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1972, №10. 6. O'Dogherty M.J., Wheeler J.A. Compression of Straw to high densities in closed cylindrical dies. J. agric. Engng Res., 1984, №1. 7. Богатов Б.А. Моделирование и оптимизация процессов брикетного производства. – М.: Недра, 1976. –184 с.

УДК 629.113 – 592

С.В.ГИЛЬ, канд. техн. наук, (БГПА)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРИВЕДЕНИЯ ОБЪЁМА ТРУБОПРОВОДА К ОБЪЁМУ НАПОЛНЯЕМОЙ ЁМКОСТИ

При динамическом расчёте пневмоприводов различного назначения моделируются процессы наполнения сжатым воздухом полостей пневмодвигателей и пневмоаппаратов, соединённых трубопроводами, и их последующее опорожнение. В дифференциальные уравнения, описывающие эти процессы, входят расчётные объёмы ёмкости и трубопровода [1, 2]. В отличие от сосредоточенного объёма ёмкости объём трубопровода равномерно распределён по его длине. Использование в расчётах суммарного объёма ёмкости и трубопровода [3] приводит к погрешностям, которые возрастают с увеличением доли объёма трубопровода в общем объёме. Это обусловлено тем, что условия наполнения (или опорожнения) сосредоточенного и распределённого объёмов существенно отличаются по затратам времени и энергии. Распределённая ёмкость наполняется или опоражнивается быстрее и с меньшими потерями, чем равная ей по объёму сосредоточенная. Влияние объёма трубопровода зависит также от его сопротивления. Для увеличения точности расчётов необходимо распределённый объём трубопровода заменять условным сосредоточенным объёмом при помощи коэффициента приведения и в расчёте учитывать эквивалентный объём ёмкости, равный сумме объёмов самой ёмкости и присоединённого условного сосредоточенного объёма трубопровода. Особенно важно выполнять такое приведение в случаях наполнения (опорожнения) малых сосредоточенных объёмов различных пневмоаппаратов через трубопроводы большой длины.

Трубопровод и соединённую с ним ёмкость представим как двухзвенную пневмоцепь (рис. 1, а), в которой объём  $V_E$  наполняется через объём  $V_T$ , равный объёму трубопровода, и два пневмосопротивления  $(\mu A)_T$  и  $(\mu A)_E$ , ха-

рактически пропускные способности соответственно трубопровода и дросселя. Исходную пневмоцепь заменяем эквивалентной однозвенной (рис. 1, б) [1] с эквивалентной ёмкостью объёмом  $V_3$  и дросселем с эквивалентной пропускной способностью  $(\mu A)_3$ , которые равны

$$V_3 = V_E + \alpha_n V_T; \quad (\mu A)_3 = (\mu A)_I (\mu A)_T / \sqrt{(\mu A)_I^2 + (\mu A)_T^2}, \quad (1)$$

где  $\alpha_n$  - коэффициент приведения распределённого объёма трубопровода к сосредоточенному при наполнении ёмкости.

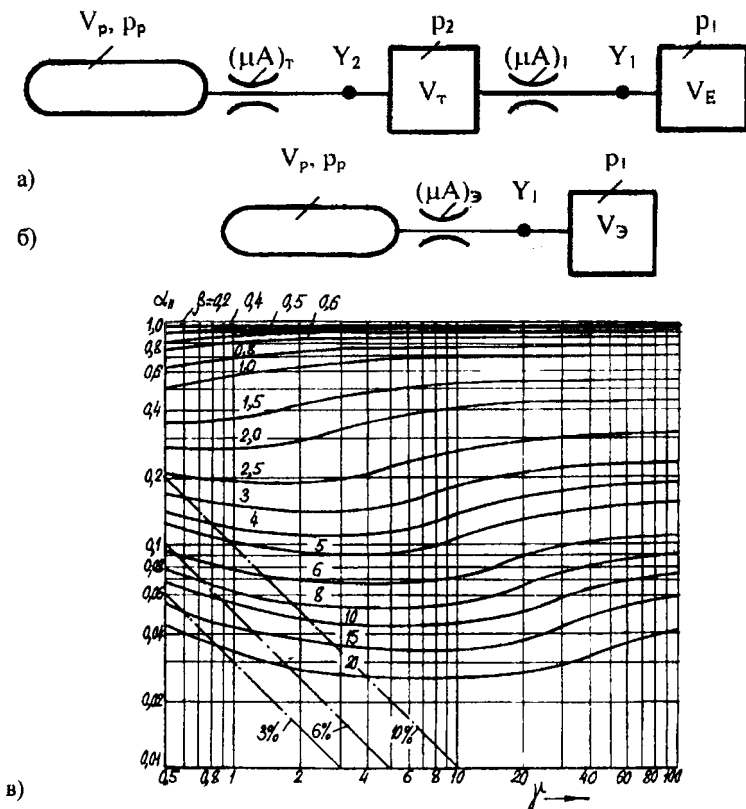


Рис. 1. Исходная двухзвенная (а), эквивалентная однозвенная (б) расчётные схемы пневмоцепей и номограмма (в) для определения коэффициента приведения объёма трубопровода к объёму наполняемой ёмкости.

Динамика двухзвенной пневмоцепи для процесса наполнения ёмкости (рис. 1, а) при использовании гиперболической газодинамической функции расхода [2] и уравнений баланса мгновенных массовых

расходов в узлах  $Y_2$  и  $Y_1$  пневмоцепи описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp_2}{dt} &= \frac{kv_0 B_0}{V_T} \left( (\mu A)_T p_p \frac{p_p - p_2}{B_1 p_p - p_2} - (\mu A)_{1p_2} \frac{p_2 - p_1}{B_1 p_2 - p_1} \right); \\ \frac{dp_1}{dt} &= kv_0 B_0 \frac{(\mu A)_1}{V_E} p_2 \frac{p_2 - p_1}{B_1 p_2 - p_1}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $p_2$ ,  $p_1$  и  $p_p$  - давление соответственно в емкостях  $V_T$ ,  $V_E$  и ресивере;  $v_0$  - местная скорость звука,  $\overline{v_0} = \sqrt{kRT}$ ;  $k$  - показатель адиабаты;  $R$  - газовая постоянная для воздуха;  $T$  - термодинамическая температура воздуха перед дросселем;  $B_0$  и  $B_1$  - коэффициенты аппроксимации газодинамической функции расхода,  $B_0 = 0,654$ ,  $B_1 = 1,13$ .

Эквивалентная пневмоцепь (рис. 1, б) описывается уравнением

$$dp_1/dt = kv_0 B_0 ((\mu A)_{\mathcal{E}}/V_{\mathcal{E}}) p_p ((p_p - p_1) / (B_1 p_p - p_1)). \quad (3)$$

Систему (2) и уравнение (3) приведём к безразмерному виду, используя относительные параметры:  $\sigma_1 = p_1/p_p$ ;  $\sigma_2 = p_2/p_p$ ;  $\tau = t/t_m$ ;  $\gamma = V_T/V_E$ ;  $\beta = (\mu A)_T/(\mu A)_1$ ;  $t_m = V_1/(\mu A)_1 k B_0 v_0$ , после преобразований получим:

$$\left. \begin{aligned} d\sigma_2/d\tau &= (\beta/\gamma) (1 - \sigma_2)/(B_1 - \sigma_2) - (1/\gamma)\sigma_2(\sigma_2 - \sigma_1)/(B_1\sigma_2 - \sigma_1); \\ d\sigma_1/d\tau &= \sigma_2(\sigma_2 - \sigma_1)/(B_1\sigma_2 - \sigma_1); \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$d\sigma_1/d\tau = (\beta/\sqrt{1 + \beta}) 1/(1 + \alpha_n \gamma) (1 - \sigma_1)/(B_1 - \sigma_1). \quad (5)$$

Коэффициент приведения  $\alpha_n$  определяется из условия равенства времени наполнения ёмкости  $V_E$  при использовании системы уравнений (4) и времени наполнения эквивалентной ёмкости  $V_{\mathcal{E}}$  по уравнению (5).

Решая уравнение (5), получаем безразмерное время наполнения ёмкости  $V_{\mathcal{E}}$  до заданного конечного давления  $\sigma_{1к} = \sigma_{нач} + a(1 - \sigma_{нач})$

$$\tau_{нк} = (1 + \alpha_n \gamma) \sqrt{1 + \beta} K_1 / \beta, \quad (6)$$

где  $K_1 = (\sigma_{1к} - \sigma_{нач}) + (B_1 - 1) \ln ((1 - \sigma_{нач})/(1 - \sigma_{1к}))$ ;  $\sigma_{нач}$  - начальное давление в ёмкости;  $a$  - относительный перепад давления в ёмкости.

Из (6) находим формулу для коэффициента приведения

$$\alpha_n = ((\beta \tau_{нк} / K_1 \sqrt{1 + \beta}) - 1) / \gamma. \quad (7)$$

Решая методом Рунге-Кутты систему (4), находим конечное время  $\tau_{нк}$  наполнения ёмкости  $V_E$  двухзвенной пневмоцепи до давления  $\sigma_{1к}$  для заданных параметров  $\gamma$  и  $\beta$  и, подставляя это значение в выражение (7), определяем численное значение коэффициента приведения  $\alpha_n$ .

По вышеприведенному алгоритму на языке Паскаль разработана программа для расчёта коэффициента приведения  $\alpha_n$  на ЭВМ. Расчёт проводился для широкого диапазона изменения безразмерных параметров  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $a$ ,  $\sigma_{нач}$ . По результатам расчёта на ЭВМ для  $a = 0,9$  и  $\sigma_{нач} = 0,125$  построена номограмма, позволяющая определять коэффициент  $\alpha_n$  в зависимости от параметров  $\gamma$  и  $\beta$  (рис. 1, в). Она даёт возможность учитывать объём трубопровода при динамическом расчёте пневмоприводов. По номограмме для заданных  $\gamma$  и  $\beta$  определяется коэффициент  $\alpha_n$ , с помощью которого затем рассчитывается эквивалентный объём наполняемой ёмкости.

Установим область параметров  $\gamma$  и  $\beta$ , при которых с заданной точностью можно не учитывать объём трубопровода. С этой целью выражение (1) представим в виде  $V_{Э} = V_E (1 + \alpha_n \gamma)$ . Учитывая, что  $(V_{Э} - V_E) / V_E$  - относительная погрешность  $\epsilon_{вн}$  определения объёма эквивалентной ёмкости для процесса наполнения, получим граничное значение коэффициента приведения  $\alpha_{н г}$ , при котором не нужно учитывать объём трубопровода  $\alpha_{н г} = \epsilon_{вн} / \gamma$ . На рис. 1, в штрих-пунктирными линиями показаны границы погрешностей  $\epsilon_{вн}$ , равных 3, 5 и 10%. Для параметров  $\gamma$  и  $\beta$ , расположенных ниже указанных линий объём трубопровода не учитывается.

Разработанная номограмма универсальна и выгодно отличается от графиков, полученных в работе [1] и определяющих лишь границы параметров  $\gamma$  и  $\beta$ , для которых необходимо учитывать объём трубопровода. В тоже время предлагаемая в указанной работе аппроксимирующая формула для расчёта коэффициента  $\alpha_n$  даёт погрешности 15...20%, что в свою очередь приводит к оценке с такими же погрешностями быстродействия приводов. Предлагаемая номограмма позволяет также корректировать значения коэффициентов расхода трубопроводов  $\mu$  с учётом их ёмкости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герц Е.В. Динамика пневматических систем машин. М.: Машиностроение, 1985.- 256 с. 2. Метлюк Н.Ф., Автушко В.П. Динамика

пневматических и гидравлических приводов автомобилей.- М.: Машиностроение, 1980.- 231 с. 3. Герц Е.В., Крейнин Г.В. Расчёт пневмоприводов. Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1975.- 272 с.

УДК 629.113.065

А.Э.ПАВЛОВИЧ, канд. техн. наук,  
ст. Б.Н.ШИРОКОВ (БГПА)

## **НЕКОТОРЫЕ НОВОВВЕДЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СХЕМНОЙ НАДЕЖНОСТИ ПНЕВМОПРИВОДА ТОРМОЗОВ**

В настоящее время пневматические тормозные приводы управления большинства транспортных средств имеют независимые рабочие и запасные контуры. В случае повреждения одного из контуров остальные остаются работоспособными. Однако эффективность работы всей пневматической системы в этом случае снижается. Особенно опасно, если поврежден тормозной контур длиннобазного транспортного средства. Например, при неблагоприятных погодных и дорожных условиях, это может привести к аварийной ситуации.

С целью устранения такого недостатка предлагается следующая модернизация пневматического привода тормозов (рис.1).

В схеме используются двухмембранные тормозные камеры 1 [1] для переднего моста и серийные тормозные камеры 2 с пружинными энергоаккумуляторами для заднего моста транспортного средства. Причем основные полости А управления камер 1 сообщены через нижнюю секцию тормозного крана 3 и другие элементы 4 (например, регулятор тормозных сил или модулятор ABS ) с независимым рабочим контуром I, а аналогичные полости А камер 2 через верхнюю секцию тормозного крана 3 и другие элементы 5 – с независимым рабочим контуром II. Полости В управления энергоаккумуляторами камер 2 сообщены через ускорительный клапан 6 с независимым контуром III стояночного тормоза.

В схему введены также аварийные клапаны 7,8 релейного типа. Выход аварийного клапана 7 сообщен с запасной полостью В камер 1, а вход – с выходом верхней секции тормозного крана 3, обслуживающей контур II. Противоположные полости управления клапаном 7 сообщены по отдельности с контурами I и II. Выход аварийного клапана 8 сообщен с одной из полостей управления ускорительного клапана 6. Вход