

УДК 532.5.032

П. В. СИРОТИН¹, В. Н. КОХАНЕНКО¹, С. И. ЕВТУШЕНКО²,
А. И. КОНДРАТЕНКО³

¹Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. М. И. Платова, Новочеркасск, Россия

²Национальный исследовательский Московский государственный строи-
тельный университет, Москва, Россия

³Российский государственный аграрный университет – Московская сельско-
хозяйственная академия им. К. А. Тимирязева, Москва, Россия

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РЕССОРЫ

Выполнен анализ структурной схемы пневмогидравлической рессоры (ПГР). С учетом особенностей распределения расходов жидкости в системе и изменения давления газа получено динамическое уравнение движения, описывающее динамику рессоры. По структуре это уравнение совпадает с уравнением затухающих колебаний. Его решение позволяет определить характеристики процесса собственных колебаний ПГР.

Ключевые слова: динамическая модель, рессора с двумя пневмопружинами, сжатие жидкости и газа, гидроцилиндр, дроссель, регулирование расхода.

Пневмогидравлические рессоры (ПГР) входят составной частью в систему самоходных машин и предназначены для компенсации внешних возмущающих факторов, действующих на машину. Поэтому динамическая модель ПГР является одним из основных методов математического анализа и проектирования систем компенсирования вертикальных колебаний кузова машины и создания комфортных условий для работы оператора [5]. Ранее подобные задачи рассматривались Южно-Российском государственном политехническом университете (НПИ) при анализе гашения колебаний и сейсмических и других воздействий на здания, мосты и высотные сооружения [1–4].

Цель работы состоит в получении эквивалентного уравнения динамики пневмогидравлической рессоры.

Для вывода названного уравнения, позволяющего описывать движение в целом ПГР без рассмотрения отдельных ее элементов, остановимся на примере работы рессоры с двумя одинаковыми пневмопружинами. Ее структурная схема показана на рисунке 1. Пневмогидравлическая рессора состоит из гидроцилиндра (ГЦ) со штоковой и поршневой полостями; дросселей (Д); двух пневмопружин (ПП). Поршень в цилиндре каждой ПП разделяет жидкость и газ. На схеме использованы следующие обозначения: p_0, p_1, p_2, p_r – давления; S_0, S_1, S_2 – площади живых сечений.

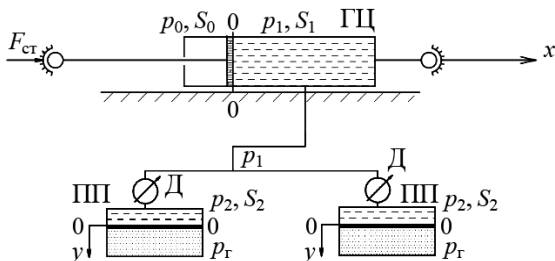


Рисунок 1 – Структурная схема пневмогидравлической ресоры

Рассмотрим движение поршня гидроцилиндра в сторону увеличения координаты x :

– объём вытесненной поршнем гидроцилиндра жидкости

$$V_1 = xS_1;$$

– объём жидкости, поступившей в одну пневмопружину

$$V_2 = yS_2;$$

– уравнение неразрывности жидкости

$$V_1 = 2V_2, \text{ или } V_1 = xS_1 = 2yS_2; \quad (1)$$

– расходы жидкости

$$Q_1 = \dot{x}S_1; \quad Q_2 = \dot{y}S_2; \quad (2)$$

– уравнения расходов через дроссели Д1, Д2

$$Q_2 = Q_g = \mu f \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}, \quad (3)$$

где μ – коэффициент расхода дросселя [5]; f – площадь проходного отверстия; $(p_1 - p_2)$ – перепад давления в дросселе; ρ – плотность жидкости.

Из уравнений (2), (3) следует

$$\dot{x}S_1 = 2\mu f \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}},$$

или

$$\frac{\dot{x}^2 S_1^2 \rho}{8\mu^2 f^2} = (p_1 - p_2). \quad (4)$$

Уравнения состояния газа в пневмопружинах имеют вид

$$p_r = p_{r0} \left(\frac{V_{r0}}{V_{r0} - xS_1 / 2} \right)^{n_n}, \quad (5)$$

где p_{r0} – начальное давление газа; V_{r0} – начальный объём газа; n_n – показатель политропного процесса [6, 7], согласно [6] $n_n = 1,25$.

Пользуясь формулой разложения биннома Ньютона и удерживая малые первого порядка [8], уравнение (5) в случае малых колебаний ПГР можно переписать в виде

$$p_r = p_{r0} \left(1 + \frac{n_n x S_1}{2V_{r0}} \right). \quad (6)$$

Уравнения, следующие из второго закона Ньютона,

$$\begin{cases} m_n \ddot{x} = F_{ct} + p_0 S_0 - p_1 S_1; \\ m_{np} \ddot{y} = (p_2 - p_r) \cdot S_2, \end{cases}$$

где m_n – масса поршня ГЦ; m_{np} – масса поршня разделителя в ПП.

С учётом уравнения (1) система переписывается в виде

$$\begin{cases} m_n \ddot{x} = F_{ct} + p_0 S_0 - p_1 S_1; \\ m_{np} \frac{\ddot{x} S_1}{2S_2} = (p_2 - p_r) S_2. \end{cases}$$

Далее с учётом равенств (4), (6), исключая давление p_1 , получим

$$\begin{cases} m_n \ddot{x} = F_{ct} + p_0 S_0 - S_1 \cdot \left[p_2 + \frac{\dot{x}^2 S_1^2 \rho}{8\mu^2 f^2} \right]; \\ m_{np} \frac{\ddot{x} S_1}{2S_2} = \left[p_2 - p_{r0} \left(1 + \frac{n_n x S_1}{2V_{r0}} \right) \right] \cdot S_2, \end{cases}$$

где

$$F_{ct} = p_{r0} S_1 - p_0 S_0.$$

Исключая из представленной системы давление p_2 , получаем уравнение, описывающее динамику системы:

$$\ddot{x} + n \dot{x}^2 + \alpha x = 0, \quad (7)$$

где n , α – обобщённые параметры ПГР,

$$n = \frac{S_2 S_1^3 \rho}{8M\mu^2 f^2}; \quad \alpha = \frac{p_{r0} S_1^2 S_2 n_n}{M \cdot 2V_{r0}}; \quad M = m_n S_2 + m_{np} \frac{S_1^2}{2S_2}.$$

В общем случае, учитывая случай движения поршня в противоположную сторону, уравнение (7) обобщается к виду

$$\ddot{x} + n \operatorname{sign}(\dot{x}) \dot{x}^2 + \alpha x = 0,$$

который совпадает с уравнением затухающих колебаний в [9].

Таким образом, в работе получено эквивалентное уравнение динамики ПГР, которое описывает ее малые колебания. Это уравнение позволяет определить характеристики процесса собственных колебаний или, задаваясь ограничениями на параметры колебаний, подобрать n , α при проектировании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Бондарь, Н. Г.** Некоторые автономные задачи нелинейной механики / Н. Г. Бондарь. – Киев : Наукова думка, 1969. – 302 с.

2 **Воронцов, Г. В.** К задаче математического моделирования гасителей колебаний высотных сооружений / Г. В. Воронцов, С. И. Евтушенко // Вестник МГСУ. – 2009. – № 1. – С. 127–131.

3 **Burtseva, O. A.** Roller seismic impact oscillation neutralization system for high-rise buildings / O. A. Burtseva, A. N. Tkachev, S. A. Chipko // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 129. – P. 259–265.

4 **Воронцов, Г. В.** Линеаризованная модель магнитоупругости сложных мостов / Г. В. Воронцов, С. И. Евтушенко // Известия вузов. Электромеханика. – 2009. – № 2. – С. 75–78.

5 **Воронцов, Г. В.** К задаче оптимизации параметров инерционных автономных гасителей колебаний высотных сооружений / Г. В. Воронцов, С. И. Евтушенко // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Техн. науки. – 2009. – № 2. – С. 81–90.

6 **Ерофеев, В. Л.** Теплотехника / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П. Д. Семенов. – М. : Юрайт, 2016. – Т. 1.– 308 с.

7 **Савин, И. К.** Основы теплотехники / И. К. Савин. – Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2008. – 116 с.

8 **Бахвалов, Н. С.** Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. – М. : БИНОМ, 2008. – 636 с.

9 **Филин, В. М.** Гидравлика, пневматика и термодинамика / В. М. Филин. – М. : Инфра-М, 2013. – 320 с.

P. V. SIROTIN¹, V. N. KOKHANENKO¹, S. I. EVTUSHENKO², A. I. KONDRATENKO³

¹*Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia*

²*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia*

³*Timiryazev Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russia*

DYNAMIC MODEL OF A PNEUMOHYDRAULIC SPRING

The analysis of the structural diagram of the pneumohydraulic spring (PHS) is carried out. Taking into account the peculiarities of the distribution of liquid flow rates in the system and changes in gas pressure, a dynamic equation of motion is obtained and it describes the spring dynamics. In structure, this equation coincides with the damped oscillations equation. Its solution allows to determine the characteristics of the process of the PHS natural oscillations.

Keywords: dynamic model, spring with two pneumatic springs, compression of liquid and gas, hydraulic cylinder, throttle, flow control.