

# **ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ГИДРОПРИВОДА ПОДЪЕМНО-НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА ТРАКТОРА «БЕЛАРУС-1523»**

**Ю. В. Лемявская**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель В. Б. Попов, канд. техн. наук, доцент

Для исследования динамики подъема навесной машины (НМ) считаем нагрузку на любой из гидроцилиндров механизма навески (МН) распределенной поровну, полагая движение силовых гидроцилиндров идентичным. Структура гидропривода открытого типа [1], используемого для подъема и опускания различных сельскохозяйственных машин приведена на рис. 1.

Динамический анализ гидромеханической системы, включающей гидропривод, нагруженный переменной нагрузкой, проводится на уровне макромоделирования. Применение определенной динамической схемы в каждом конкретном случае определяется соотношением отдельных объемов жидкости в напорной магистрали.

В большинстве случаев приемлемая точность получается при использовании модели с одним приведенным объемом жидкости. В данной гидроцепи большая часть рабочей жидкости находится после ГР, поэтому удобнее приводить объем всей жидкости к ГЦ. В принятой схеме рабочая жидкость из-за наличия в ней пузырьков нерастворенного воздуха считается сжимаемой. В результате предлагается динамическая схема (рис. 1) с жидкостью, сосредоточенной в узле Y2, учитывающая сжимаемость пузырьков нерастворенного воздуха, а также податливость элементов (например, армированных резиновых шлангов) гидроцепи [2]. В данном случае объемный расход  $Q$ , поступающий в магистраль, затрачивается на перемещение поршня гидроцилиндра  $Q_{\text{пер}}$  и деформацию рабочей жидкости и гидромагистрали  $Q_{\text{сж}}$ :

$$Q = Q_{\text{пер}} + Q_{\text{сж}} \quad \text{или} \quad Q = F_c \dot{S} + \frac{V_{\text{ж}}}{E_{\text{пр}}} \dot{p}_2 \quad Q = qn\eta_0, \quad (1)$$

где  $F_c$  – площадь поршня ГЦ;  $\dot{p}_2$  – скорость изменения давления у ГН;  $V_{\text{ж}}$  – сосредоточенный объем жидкости;  $E_{\text{пр}}$  – приведенный модуль объемной упругости гидроцепи;  $q$ ,  $n$ ,  $\eta_0$  – соответственно объемная подача за оборот, частота вращения и объемный КПД шестеренного насоса.

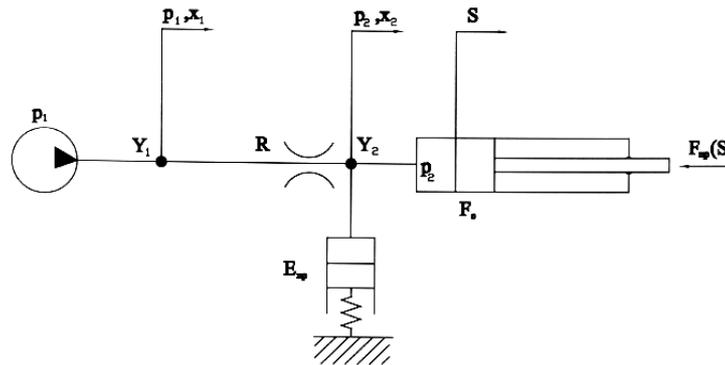


Рис. 1. Динамическая схема гидропривода с переменной нагрузкой  $F_{\text{пр}}(S)$  на штоке гидроцилиндра

Таким образом, система уравнений, описывающая динамику ГП, включает в себя три типа уравнений, которые соответствуют физическому процессу, протекающему в этом приводе: уравнение баланса мгновенных расходов; уравнение течения рабочей жидкости в элементах ГП; дифференциальное уравнение движения нагруженного поршня.

Уравнение баланса мгновенных объемных расходов получим, преобразуя уравнение (1) относительно скорости перемещения поршня:

$$\dot{S} = \frac{Q}{F_c} - \frac{V_0 + F_c(S - S_0)}{F_c E_{\text{пр}}} \dot{p}_2. \quad (2)$$

Следует отметить, что объем сосредоточенный в узле у ГЦ переменный. Таким образом, переменный характер коэффициента податливости в узле усиливается изменением сосредоточенного объема, возникающего из-за хода ГЦ  $(S - S_0)$ . Используя

уравнение неразрывности, перемещение столба жидкости по гидромагистрали и его производные выражаются через аналогичные параметры движущегося поршня. На основании отмеченного уравнение баланса давлений для участка ГН–ГЦ записывается:

$$p_2 = p_1 - (\alpha_1 \dot{S} + \alpha_2 \dot{S} + \alpha_3 \dot{S}^2), \quad (3)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент, учитывающий инерционные свойства рабочей жидкости, приведенной к поршню;  $\alpha_2$  – коэффициент, учитывающий ламинарный характер течения рабочей жидкости;  $\alpha_3$  – коэффициент, учитывающий турбулентный характер течения рабочей жидкости и местные гидравлические сопротивления в гидроцепи.

При формировании динамической схемы учитываются назначение МН и особенности работы ГП. Специфика процесса подъема состоит в том, что он протекает за сравнительно короткое время (4–4,5 с), т. е. весьма близок к адиабатическому. Считаем, что ГН, ГР и ПК работают безынерционно. Температура, плотность, вязкость рабочей жидкости и количество нерастворенного в ней воздуха постоянны. Режим течения рабочей жидкости в напорной магистрали во время переходного процесса неустановившийся, ламинарно-турбулентный. Рабочая жидкость в ГП мобильных машин представляет двухфазную гидровоздушную смесь. Модуль объемной упругости жидкости с учетом нерастворенного в ней воздуха (до 6 %) и упругости стенок каналов при адиабатическом характере ее деформации и изменении давления в гидромагистрали от 1 до 20 МПа с точностью до 1 % считаем равным  $E_{\text{пр}} = 2,0 \cdot 10^8$  н/м<sup>2</sup>.

Динамическая модель нагруженного поршня ГЦ представляет собой материальную точку с переменной массой  $m(S)$ , которая движется под действием переменной силы  $P(S)$  так, что обобщенная координата  $S$  этой точки совпадает с обобщенной координатой машинного агрегата (ГП + МН) в любой момент времени.

Уравнение движения данного машинного агрегата получим из известного уравнения Лагранжа 2-го рода:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{S}} \right) - \frac{dT}{dS} = Q(S). \quad (4)$$

Подставляя в (4) известное выражение для кинетической энергии материальной точки и осуществляя необходимые преобразования, а также учитывая, что обобщенная сила равна разности между движущей силой и силой полезного сопротивления, получим:

$$m(S) \ddot{S} + \frac{1}{2} m'(S) \dot{S}^2 = F_{\text{дв}} - F(S), \quad (5)$$

где  $m'(S)$  – производная от приведенной массы по обобщенной координате;  $F_{\text{дв}}$  – движущая сила, равная произведению давления в напорной полости ГЦ –  $p_2$  на площадь поршня –  $F_c$ .

Левая часть уравнения (5) – инерционная нагрузка включает две составляющие: первую вызванную изменением скорости обобщенной координаты во времени и вторую, связанную с изменением приведенной массы в зависимости от положения НМ.

При определении кинетической энергии влиянием веса звеньев МН пренебрегаем, вследствие их малости по отношению к весу НМ и одновременно считаем их аб-

солютно жесткими. Для звена приведения приведенная масса  $m(S)$  определяется на основе закона равенства кинетических энергий:

$$m(S) = m_6 I_v^2(S) + J_6 \phi_6(S), \quad (6)$$

где  $m_6, J_6$  – соответственно масса и момент инерции НМ;  $I_v(S)$  – аналог линейной скорости центра масс НМ;  $\phi_6(S)$  – аналог угловой скорости НМ.

$$I_v(S) = \phi_6'(S) L_{S6}.$$

Величина производной от приведенной массы по обобщенной координате определяется по выражению

$$m'(S) = 2[(m_6 I_v(S) I_v'(S) + J_6 \phi_6'(S) \phi_6''(S)],$$

где  $I_v'(S), \phi_6''(S)$  – аналоги линейного ускорения центра тяжести и углового ускорения НМ, определяемые в результате дифференцирования по обобщенной координате  $I_v(S)$  и  $\phi_6(S)$ .

Таким образом, дифференциальное уравнение движение нагруженного поршня ГЦ записывается в виде:

$$m(S) \ddot{S} + \frac{1}{2} \cdot \frac{dm(S)}{dS} \dot{S}^2 = p_2 F_n - P_6 I(S). \quad (7)$$

Полученное уравнение одновременно является искомым дифференциальным уравнением движения машинного агрегата, описывающим динамику подъема НМ, а система уравнений (2), (3), (7) – его математической моделью. Система, состоящая из трех перечисленных уравнений, решается численным методом, например, Рунге-Кутта 4-го порядка. В результате определяется закон движения поршня ГЦ, а также давления в напорной магистрали у ГН и ГЦ.

Процесс нарастания скорости поршня ГЦ от нулевого значения до установившегося носит кратковременный аperiодический характер, так что в процессе основной части подъема НМ обобщенная координата изменяется с постоянной скоростью. Последняя определяется параметрами гидропривода – установившемся расходом (подачей насоса) и суммарной площадью сечения гидроцилиндров со стороны нагнетающей магистрали.

#### Л и т е р а т у р а

1. Башта, Т. М. Машиностроительная гидравлика : справ. пособие / Т. М. Башта. – М. : Машиностроение, 2010. – 432 с.
2. Попов, В. Б. Гидропривод мобильных сельскохозяйственных машин : курс лекций по одному. дисциплине для студентов специальности 1-36 12 01 «проектирование и производство сельскохозяйственной техники» днев. и заоч. форм обучения / В. Б. Попов ; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2013. – 101 с.