

ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕДНЕГО ПОДЪЕМНО-НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭНЕРГОСРЕДСТВА

А. В. Соломадзе

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель В. Б. Попов

Агрегатирование универсального энергетического средства (УЭС) «Полесье», выпускаемого ПО «Гомсельмаш» с навесными машинами (НМ) или рабочими орудиями осуществляется при помощи подъемно-навесных устройств (ПНУ), состоящих из гидроприводов (ГП) открытого типа и переднего или заднего механизмов навески (МН). МН – основной структурный компонент гидромеханического устройства, определяющий характер взаимодействия УЭС с НМ.

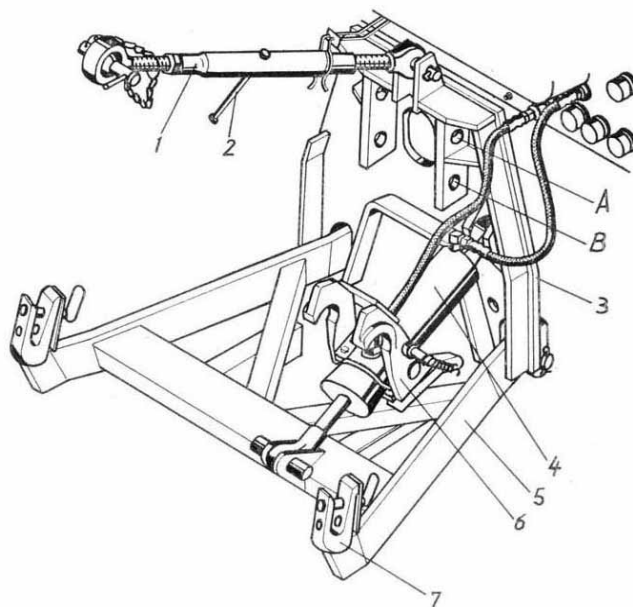


Рис. 1. Механизм навески переднего подъемно-навесного устройства.

*1 – верхняя тяга; 2 – рукоятка; 3 – плита; 4 – гидроцилиндр; 5 – нижние рычаги;
6 – фиксатор; 7 – крюки*

Появление новых и модернизация серийных НМ, агрегируемых с УЭС посредством переднего ПНУ, изменяет требования на выходные параметры МН. Срочное решение этой проблемы возможно в режиме автоматизированного проектирования ПНУ, опирающегося на функциональное математическое моделирование. Перевод НМ из рабочего положения в транспортное является наиболее энергоемкой операцией, выполняемой ПНУ. Следует отметить, что при подъеме НМ выполняет относительно энергоносителя сложное движение. Это учитывается при выполнении динамического анализа, для которого получено адекватное описание кинематики МН переднего ПНУ. Вес НМ и удаление ее центра тяжести от оси подвеса МН имеют тенденцию к росту, поэтому заданная траектория подъема НМ может быть воспроизведена, если обеспечена достаточная грузоподъемность ПНУ.

Динамический анализ. Структурная схема гидропривода ПНУ приведена на рис. 2. Гидропривод работает следующим образом: шестеренный насос 1 нагнетает рабочую жидкость через напорную магистраль к гидрораспределителю (ГР) 3 и, при его включенной правой секции, далее в поршневую полость гидроцилиндра (ГЦ) 5. Шток ГЦ начинает выдвигаться, причем давление в этой полости пропорционально приведенной к штоку ГЦ нагрузке.

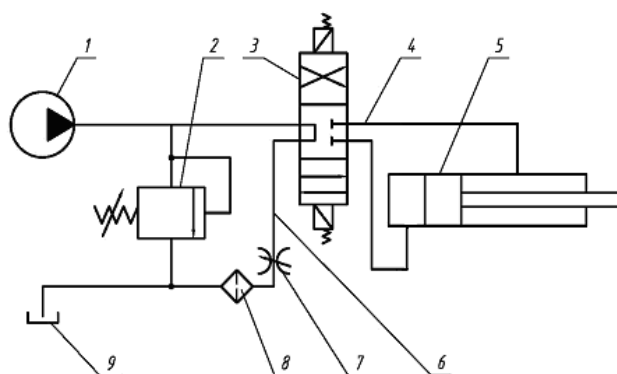


Рис. 2. Структурная схема гидропривода переднего ПНУ универсального энергосредства. 1 – насос шестеренный; 2 – клапан предохранительный; 3 – гидрораспределитель; 4 – напорная магистраль гидропривода; 5 – гидроцилиндр; 6 – сливная магистраль; 7 – регулируемый дроссель; 8 – фильтр; 9 – бак

При выполнении процедуры динамического анализа рабочая жидкость, из-за наличия в ней пузырьков нерастворенного воздуха, считается сжимаемой. Принимается, что структурные элементы гидропривода (ГН, ГР, ПК) работают безынерционно. Температура, плотность, вязкость рабочей жидкости и количество нерастворенного в ней воздуха принимаются постоянными. Приведенный модуль объемной упругости рабочей жидкости $E_{пр}$ считаем постоянным. Вниманию предлагается динамическая схема (рис. 3) с жидкостью, сосредоточенной в узле Y_2 . Объемный расход рабочей жидкости Q , поступающий в магистраль, затрачивается на перемещение поршня ГЦ $Q_{пер}$, деформацию рабочей жидкости и самой гидромагистрали $Q_{сж}$.

$$Q = Q_{пер} + Q_{сж}$$

или

$$Q = F_c \cdot \dot{S} + \dot{p}_1 \cdot \frac{V_{ж}}{E_{пр}}, \quad Q = q \cdot n \cdot \eta_0, \quad (1)$$

где F_c – площадь поршня ГЦ; \dot{p}_1 – скорость изменения давления у ГН; $V_{ж}$ – сосредоточенный объем жидкости; $E_{пр}$ – приведенный модуль объемной упругости гидрорепри; q, n, η_0 – соответственно объемная подача за оборот вала гидронасоса, а также его частота вращения и объемный КПД.

Уравнение баланса мгновенных объемных расходов (1) преобразуем относительно скорости перемещения поршня:

$$\dot{S} = \frac{Q}{F_c} - \frac{V_0 + F_c \cdot (S - S_0)}{F_c \cdot E_{\text{гп}}} \cdot \dot{p}_1 \quad (2)$$

Уравнение баланса давлений для гидропривода имеет вид

$$p_2 = p_1 - (a_1 \cdot \ddot{S} + a_2 \cdot \dot{S} + a_3 \cdot S^2), \quad (3)$$

где a_1 – коэффициент, учитывающий инерционные свойства рабочей жидкости; a_2 – коэффициент, учитывающий ламинарный характер течения рабочей жидкости; a_3 – коэффициент, учитывающий турбулентный характер течения рабочей жидкости и местные гидравлические сопротивления.

Подставляя в уравнение Лагранжа выражение для кинетической энергии поднимаемой НМ, считая при этом, что обобщенная сила равна разности между силой, движущей поршень, и силами сопротивления движению, после преобразования получим

$$m(S) \cdot \ddot{S} + \frac{1}{2} \cdot \frac{dm(S)}{dS} \cdot \dot{S}^2 = F_{\text{дв}} - [F(S) + F_{\text{тр}}^{\text{гп}}(S)], \quad (4)$$

где $m(S)$ – приведенная масса; $F_{\text{дв}}$ – движущая сила, равная произведению давления в ГЦ на площадь его поршня.

Левая часть уравнения (4) представляет выражение для приведенной к штоку ГЦ силы инерции.

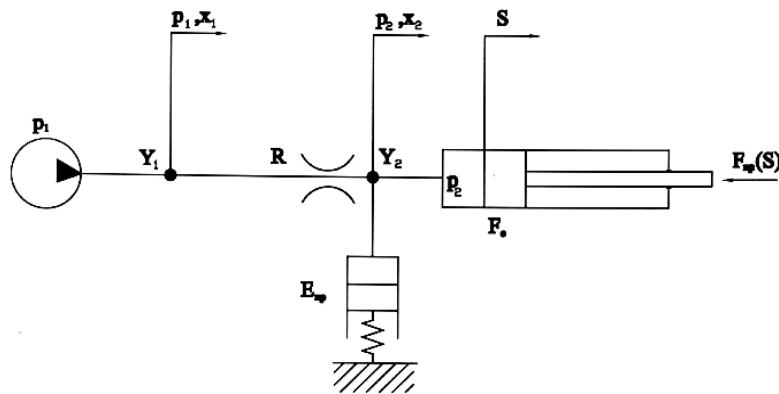


Рис. 3. Динамическая схема гидропривода с нагрузкой $F_{\text{тр}}(S)$ на штоке гидроцилиндра

На основе динамической схемы гидропривода (рис. 3), методики определения потерь давления и применения уравнения Лагранжа 2-го рода к машинному агрегату, состоящему из гидропривода и МН, сформирована функциональная математическая модель (ФММ) динамического анализа в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{p}_1 = \frac{E_{\text{np}}}{V_0 + F_c \cdot (S - S_0)} \cdot Q - \frac{F_c \cdot E_{\text{np}}}{V_0 + F_c \cdot (S - S_0)} \cdot \dot{S}; \\ p_2 = p_1 - (a_1 \cdot \ddot{S} + a_2 \cdot \dot{S} + a_3 \cdot \dot{S}^2); \\ m(S) \cdot \ddot{S} + \frac{1}{2} \cdot m'(S) \cdot \dot{S}^2 = p_2 \cdot F_c - [F(S) + F_{\text{тр}}^{\text{np}}(S)], \end{array} \right. \quad (5)$$

где V_0 – начальный объем рабочей жидкости; S, S_0 – текущее и начальное значения обобщенной координаты; $m'(S)$ – производная от приведенной к штоку ГЦ массе НМ по обобщенной координате.

В результате решения системы нелинейных ДУ путем численного интегрирования (метод Рунге-Кутты 4-го порядка) определяется закон движения поршня ГЦ – $S(t) = f(S_0, \dot{S}, \ddot{S}, t)$, а также изменение давления у гидронасоса – $p_1(t)$ и ГЦ $p_2(t)$. Следует отметить, что левая часть третьего уравнения системы (5) представляет собой приведенную силу инерции.