

ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

С.А.Селивра, А.Ф.Яценко, канд-ты техн. наук,
Донецкий государственный технический университет

Приводится принципиальная схема гидравлической системы ударного действия, работа которой основана на контроле движения бойка. Составлена математическая модель работы этой системы.

The principal diagram of a hydraulic system of percussion action is resulted, the activity is based which one on the control of motion is brisk. The mathematical model of activity of this system is compounded

При проектировании гидравлических систем ударного принципа действия с гидравлическим приводом широко используются предположения о независимой работе распределительной и исполнительной систем. Эти условия можно считать допустимыми, если системы управления получают сигналы на переключения либо от независимых источников, либо работают с контролем положения бойка. Однако, как показали исследования таких типов устройств, эффективность преобразования гидравлической энергии в ударную, передаваемую рабочему инструменту, не превышает 30%. Это объясняется значительными потерями кинетической энергии бойка в период формирования управляющего сигнала, обеспечивающего работу распределительного устройства.

На рисунке 1 показана принципиальная схема гидравлической системы ударного действия, работа распределительного устройства которого основана на контроле направления движения бойка.

Распределение рабочей жидкости между камерами прямого и обратного ходов осуществляется в результате перемещения клапана 7 в правое (прямой ход) или левое (обратный ход) положения. Правое и левое положения клапана и его перемещение определяется действующей на него результирующей силой. Результирующая сила определяется в результате суммирования сил, действующих на поршневые поверхности клапана в напорной, сливной и управляющих камерах, а также сил трения и инерции.

Поскольку давления в напорной и сливной камерах зависит от параметров источника питания, то определяющим в системе является

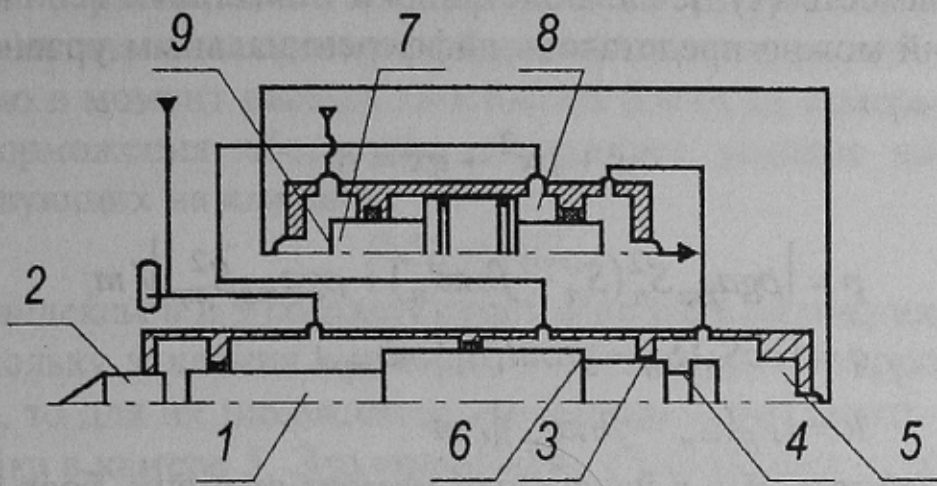


Рисунок 1 Принципиальная схема гидравлической системы ударного действия

давление в камере управления 8. Величина давления в камере управления 8, равное давлению в камере слежения, зависит от скорости движения бойка 1. Движение бойка можно описать уравнением:

$$m\ddot{x} = P_n S_n - F_{тр} - P_{об} S_{об} \quad (1)$$

где: m – приведенная масса бойка, кг; x – перемещение бойка, м; P_n $P_{об}$ – давления соответственно в камере прямого и обратного ходов, Па; S_n $S_{об}$ рабочие площади бойка в камерах прямого и обратного ходов, м²; $F_{тр}$ – сила трения бойка, Н.

Давление в камере прямого хода описывается уравнением:

$$P_n = P_B - \rho g a_{мп} S_n^2 \dot{x}^2 - \rho c \dot{x} S_n / S_{мп}$$

где: P_B – давление источника питания, Па; $S_{мп}$ – площадь проходного сечения трубопровода, м²; ρ – плотность жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; c – скорость распространения гидравлического удара, м/с; $a_{мп}$ – сопротивление соединительного трубопровода, с²/м⁵.

Давление в камере обратного хода:

$$P_{об} = \rho g a_{об} \dot{x} S_{об}^2$$

Сила трения бойка:

$$F_{тр} = f h \pi d_n P_n$$

где: f – коэффициент трения; h – ширина рабочей части манжеты, м; d_n – диаметр уплотнительной поверхности, м.

Зависимость (1) после подстановки описанных величин и преобразований можно представить дифференциальным уравнением вида:

$$\ddot{x} + p\dot{x}^2 + q\dot{x} = R, \quad (2)$$

где

$$p = \left[\rho g a_{mp} S_n^2 (S_n - fh\pi d_n) + \rho g a_{mp} S_{mp}^2 \right] / m;$$

$$q = [\rho c S_n (S_n - fh\pi d_n)] / m S_{mp};$$

$$R = [P_B (S_n - fh\pi d_n)] / m$$

Если считать, что в начальный момент времени боек находится в неподвижном состоянии, то начальные условия формулируются: $\dot{x} |_{t=0} = 0, x |_{t=0} = 0$.

Решая уравнение 2 определяем:

$$\dot{x} = \frac{2a}{1 + b \cdot \exp(-2apt)} - \left(a + \frac{q}{2p} \right), \quad (3)$$

где

$$a = \sqrt{\frac{q^2}{4p^2} + \frac{R}{p}}, \quad b = \frac{a - \frac{q}{2p}}{a + \frac{q}{2p}}.$$

Полученное решение 3 позволяет определить скорость бойка, а, следовательно, зная площадь поршневой поверхности б (см. рисунок 1) рассчитать расход жидкости через кольцевой дроссель 3.

Таким образом, давление в камере управления в период движения хвостовика бойка в камере гидравлического торможения 5 определяется выражением:

$$P_y = P_{cb} - \rho g a_{щ} S_c^2 \dot{x}^2,$$

где: P_{cb} - давление в линии сброса, Па; $a_{щ}$ - гидравлическое сопротивление кольцевой щели, c^2/m^5 , S_c - площадь поршневой поверхности бойка в камере слежения, m^2 .

При выходе хвостовика бойка из камеры 5 и его дальнейшем движении до соударения с инструментом 2 давление в камере управления следует рассчитывать:

$$P_y = P_n - \rho g a_{щ} S_c^2 \dot{x}^2$$

Таким образом, для гарантированного удержания распределительного клапана в положении, обеспечивающем прямой ход бойка, необходимо в момент выхода хвостовика бойка из камеры гидравлического торможения обеспечить следующее условие соотношения сил, действующих на клапан:

$$P_9 S_9 > P_8 S_8,$$

где: индексы 8 и 9 соответствуют позициям на рисунке 1.

Поскольку давления в камерах 8 и 9 зависят от скорости движения бойка, то для их нахождения необходимо определить время движения бойка в камере 5. Это время можно рассчитать исходя и из решения уравнения 2 относительно перемещения бойка:

$$x = \frac{1}{p} \ln \frac{1 + b \cdot \exp(-2apt)}{1 + b} + \left(a - \frac{q}{2p}\right)t.$$

На соотношение площадей поршневых поверхностей 8 и 9 клапана управления оказывает влияние условие его переброса в положение обратного хода при нанесении бойком удара по инструменту. В этот период боек останавливается и давления в камерах прямого хода и камере слежения выравниваются в связи с отсутствием расхода через кольцевую щель 3. Выравнивание давлений является управляющим сигналом. Следовательно, соотношение площадей необходимо выполнить с соблюдением условия:

$$S_8 > S_9.$$

Аналогичные процессы протекают в системе при входе в кольцевую щель проточки на бойке 4. Но в данном случае не происходит останова бойка, а выравнивание давлений достигается за счет снижения гидравлического сопротивления. Этот элемент в конструкции устройства предусмотрен с целью предотвращения передачи ударных нагрузок на корпус механизма при внезапном исчезновении контакта инструмента с массивом.

При обратном ходе бойка жидкость из камеры слежения вытесняется в камеру прямого хода, а, следовательно, давление в управляющей камере распределительного устройства превышает давление, действующее на поршневую поверхность 9 клапана, находящегося в крайнем правом (по рисунку 1) положении. Для того, чтобы на клапан 7 не создавалось усилие от давления источника питания, клапан должен быть выполнен уравновешенным в закрытом положении.

В конце обратного хода хвостовик бойка входит в камеру гидравлического торможения, что приводит к изменению гидравличе-

ских связей в системе. С этого момента, давление, действующее на поверхность 9, зависит от давления в камере 5. Минимальное давление в камере гидравлического торможения можно определить из условия редуцирования давления поршневыми поверхностями бойка между камерами прямого и обратного ходов:

$$P_0 S_0 = P_5 S_n.$$

На рисунке 2 приведены расчетные диаграммы скорости бойков гидравлических устройств ударного действия, распределительные системы которых работают с контролем положения бойка -1 и с контролем направления движения бойка - 2.

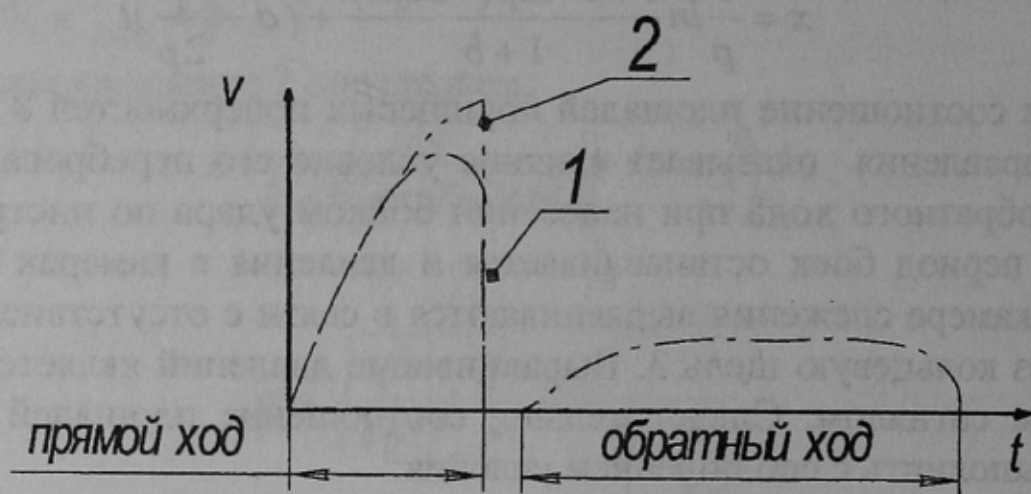


Рисунок 2 - Расчетные диаграммы скорости бойков гидравлических устройств ударного действия

Проверка соответствия расчетных данных экспериментальным подтверждает их хорошую сходимость, что позволяет сделать выводы о правильности принятых допущений и возможности использования полученных результатов при проектировании гидравлических систем ударного действия.

Список источников:

1. Селивра С.А., Яценко А.Ф., Коваленко В.И. Выбор оптимальной схемы гидроимпульсного преобразователя потока. Изв. вузов. «Горный журнал», 1994, №3.
2. Яценко О.Ф., Селивра С.О., Коваленко В.І. Гідравлічний пристрій ударної дії. Патент України на винахід № 23093А. Опублік. 30.06.98, бюл. №3.
3. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений.-М.:Физматгиз, 1962,-Т.2.640с.