

В.И.Большаков, И.Б.Листопадов

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Приведены результаты исследования эффекта взаимовлияния нескольких отдельных систем – электромеханической; пневмомеханической с гидроторможением и гидромеханической. Показано, что в данном комплексе систем происходит не учитывавшаяся ранее перекачка энергии от привода пильгерстана к гидравлическому механизму подачи.

Современное состояние вопроса.

В приводе гидрофицированных машин металлургического производства переходные процессы возникают как реакция на внешние и внутренние возмущения. К внешним возмущениям относятся переменные нагрузки не связанные с изменением структуры гидромеханической системы, такие как изменение технологического режима, результат совместной работы нескольких механизмов, воздействие собственных тормозных устройств. Возмущение может быть периодической функцией. Внутренние возмущения связаны с изменением структуры системы из-за включения или выключения управляющих или регулирующих устройств.

Переходные процессы в гидроприводе механизмов в зависимости от формы, модуля и времени действия возмущения могут иметь вид колебательного движения рабочего органа, вызывать возрастание давлений в рабочей жидкости в гидродвижителях или магистралях до опасных значений. Колебания, в свою очередь, могут быть причиной перегрузок, вызывать недопустимые напряжения в элементах привода, способствовать нарушению технологического процесса. Примером негативного влияния колебательного процесса на технологию производства служит, например, нестабильная подача металла в валки пилигримового стана, приведенная в работе [1].

Кроме колебательного переходного процесса, на качество работы машины или комплекса машин негативное влияние может оказывать и статический переходной процесс, связанный с изменением баланса сил, действующих на каждый из механизмов. Изменение баланса сил может быть неочевидным и не учитываться при разработке конструкции машины, привода ее механизмов и параметров энергоносителей, что в некоторых случаях приводит к невозможности осуществления технологического процесса производства продукции. Одним из таких примеров может служить работа пилигримового стана трубопрокатной установки для производства горячекатаных труб.

Комплекс основных механизмов пилигримового стана, схема которого приведена на рис.1, состоит из прокатной клетки с приводом рабочих

валков, подающего аппарата, сообщающего прокатываемой гильзе возвратно–поступательное и вращательное движение, механизма подачи, осуществляющего плавное перемещение гильзы к рабочим валкам и вспомогательные операции, связанные с установкой гильзы на подающий аппарат.

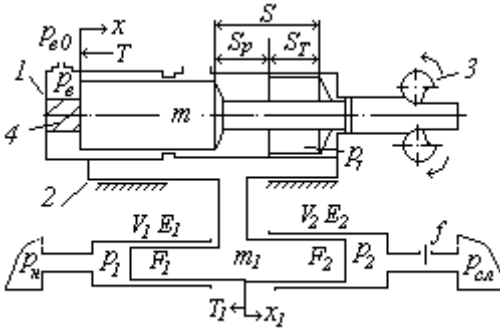


Рис. 1. Схема комплекса механизмов пилгримового стана

Подающий аппарат представляет собой поршневой пневмоцилиндр, корпус 1 которого установлен на каретке 2 механизма подачи. На шток пневмоцилиндра устанавливается оправка (дори) с прокатываемой гильзой. Движение к валкам поршень подающего аппарата совершает под действием сжатого воздуха $P_{в}$, подающегося от централизованной

системы высокого (до 1 МПа) давления в воздушную камеру подающего аппарата. Сжатый воздух, подающийся в воздушную камеру через редуктор, имеет давление, необходимое для перемещения поршня и связанных с ним подвижных масс. Возвратное движение передается подвижным массам рабочими валками 3, связанными с электродвигателем главной линии привода (соединительные и предохранительные муфты, шестеренная клеть, шпиндели). При движении к валкам подвижные массы совершают поворот на $90\text{--}105^\circ$ с помощью механизма кантовки 4. При подходе к рабочим валкам 3 подвижные массы тормозятся встроенным в корпус подающего аппарата 1 гидравлическим тормозным устройством.

Особенностью прокатки труб на пилгерстанах является то, что в процессе прокатки гильза движется в направлении входной стороны клетки. Поперечное сечение рабочего валка разделяют на два основных участка, характеризующих собственно прокатку и холостой ход – угол холостого хода ($\alpha_{хх}$) и угол рабочего хода ($\alpha_{рх}$) валков. Угол рабочего хода определяет время прокатки и длину участка, проходимого гильзой (подвижными массами) при прокатке (откат). Максимальный откат подвижных масс не превышает 1,3м. Угол холостого хода определяет время, необходимое для перемещения гильзы (S) к валкам. Время поворота валков на угол холостого хода должно быть равно времени перемещения (с учетом разгона–торможения подвижных масс) гильзы к валкам. Это условие обеспечивает устойчивую работу (синхронизацию) системы «аппарат–валки».

Механизм подачи представляет собой массивную каретку 2, перемещающуюся по направляющим. В качестве привода служат длинноходо-

вые плунжерные гидроцилиндры – один подачи и два обратного хода. Максимальный ход каретки составляет 14 м. Управление скоростью перемещения каретки при прокатке осуществляется настраиваемым дросселем. Величина перемещения каретки за время одного оборота валков называется подачей. Диапазон подач в зависимости от прокатываемого сортамента труб и режимов прокатки составляет 6 – 25 мм.

Методика экспериментальных исследований

Во время экспериментальных исследований, целью которых было определение максимальной быстроходности пильгерстана, при прокатке труб типоразмера 8"х 9 с углом холостого хода валков $\alpha_{xx} = 180^\circ$, было зафиксировано явление прекращения подачи при числе оборотов валков 86 об/мин. Перемещение

каретки при прокатки не происходило не только при полностью открытом дросселе, но и при полностью открытом сечении сливного клапана. Такое явление было зафиксировано впервые и для его объяснения, были проведены экспериментальные исследования влияния режимов прокатки на перемещение каретки механизма подачи. Исследования проводились на пильгерстане ТПЦ №4 Нижнеднепровско-

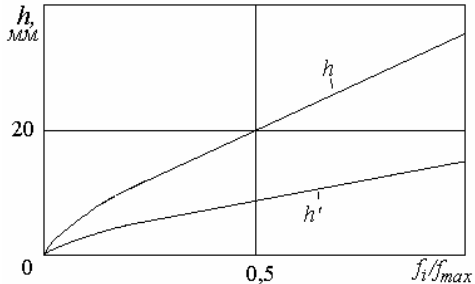


Рис.2. Зависимости перемещения каретки от относительного сечения дросселя управления. h – без прокатки; h' – при прокатке с числом оборотов валков $n=60$ об/мин

го трубопрокатного завода. На рис.2 приведены графики зависимости величины перемещения каретки от относительного сечения дросселя управления. Приведенные графики свидетельствуют, что при прокатке скорость перемещения каретки значительно ниже, чем при отсутствии прокатки, т.е. при неработающем подающем аппарате.

Влияние работы подающего аппарата на величину подачи можно объяснить, проанализировав уравнения движения подвижных масс подающего аппарата и каретки механизма подачи во всех фазах работы подающего аппарата.

$$m\ddot{x} + R_1(\alpha_{xx}) - R_2(s_T) - TSgn\dot{x} = 0. \quad (1)$$

$$\text{где } R_1 = p_g F = p_{g0} \left(\frac{H}{H - S + x} \right)^{1,41};$$

H – приведенная длина воздушной камеры, м;

$H = V_{max}/F$; V_{max} – полезный объем воздушной камеры, м³;

F – площадь поршня, м²;

R_2 – сила гидравлического торможения подвижных масс (H);

T – сила трения (H).

Перемещение каретки найдем из решения уравнений (2) описывающих работу одномассовой гидромеханической модели с обозначениями, приведенными на рис.1.

$$\begin{aligned}
 m_{np} dq_1 / dt &= (p_1 - p_2 F_2 / F_1 - Pr + Pt - p_m \operatorname{sgn} q_1) F_1^2; \\
 dp_1 / dt &= (q_0 - q_1) E_1 / V_1; \\
 dp_2 / dt &= (q_3 - q_2) E_2 / V_2; \\
 q_0 &= C_1 \sqrt{p_0 - p_1}; dx / dt = q_1 / F_1; \\
 q_1 &= F_1 dx / dt; \Delta x = \Delta t dx / dt; \\
 q_2 &= F_2 dx / dt; x_i = x_{i-1} + \Delta x; \\
 q_3 &= C_2 \sqrt{p_2 - p_{cl}}; \\
 C_1 &= \mu f_1 \sqrt{2 / \rho}; \\
 C_2 &= \mu f_2 \sqrt{2 / \rho}.
 \end{aligned} \tag{2}$$

где $p_m = T_1 / F_1$; $P_r = R_1 / F_1$; $P_t = R_2 / F_1$;

C_1 – проводимость запорного элемента на входе в гидросистему;

C_2 – проводимость дросселя f .

Изменение давления P_r в зависимости от прокатываемого сортамента принимали с достоверностью аппроксимации тренда изменения давления по пути поршня $R^2 = 0,98$ по формулам $R_1 = 0,09n$ для труб 8"x10; и $R_1 = 0,11n$ для труб 10"x10. Давление торможения P_t определяли из равенства работ сил движущих и сил сопротивления. По пути торможения $P_t = \text{const}$. Управление периодичностью сил производили по формуле

$$Y = (1 - 0,96 \alpha_{xx} / \alpha_{px}) + \operatorname{Sin} 2\pi t_i n / 60. \tag{3}$$

с условием, если $\operatorname{Sin} 2\pi t_i n / 60 < 0$, то принимается, что $\operatorname{Sin} 2\pi t_i n / 60 = 0$; если $\operatorname{Sin} 2\pi t_i n / 60 > 0$, то $\operatorname{Sin} 2\pi t_i n / 60 = 1$. Формула (3) позволяет имитировать работу подающего аппарата с учетом пути торможения подвижных масс и при прокатке различного сортамента труб.

Моделирование проводили модифицированным методом Эйлера с шагом $\Delta t = 0,001$ с с имитацией прокатки труб 8"x10 и 10"x10 с числом оборотов $n = 50 - 100$ об/мин, при следующем значении параметров модели:

$$\begin{aligned}
 E_1 / V_1 &= 5,98 * 10^9 \text{ Н/м}^5; \quad E_2 / V_2 = 2,33 * 10^9 \text{ Н/м}^5; \quad C_1 = 1,6 * 10^{-4} \sqrt{m^7 / \text{кг}}; \\
 p_0 &= 10 \text{ МПа}; \quad p_{cl} = 0,25 \text{ МПа}; \quad C_2 = 5 * 10^{-6} \sqrt{m^7 / \text{кг}}; \quad p_m = 2,5 \text{ МПа}; \quad m_{np} = 8 * 10^4 \text{ кг}; \\
 F_1 &= 0,049 \text{ м}^2; \quad F_2 = 0,14 \text{ м}^2.
 \end{aligned}$$

Результаты моделирования приведены на рис. 3. Видно, что при прокатке различного сортамента труб с различной калибровкой максимальная величина подачи уменьшается с повышением числа оборотов валков. При некоторых значениях параметров прокатки каретка механизма подачи

может останавливаться и совершать обратное движение. При значениях подачи близких к нулевым давление p_2 в гидроцилиндрах обратного хода каретки падает до нулевого значения. Полученный результат имеет большое значение для разработки и проектирования гидромеханических механизмов подачи при определении нагрузок на механический дозатор, например, винтовую пару.

Анализ результатов исследования показывает, что основное влияние на величину максимальной подачи оказывает значение давления воздуха в воздушной камере подающего аппарата и объем воздушной камеры, определяющий степень сжатия воздуха. Такой результат исследования важен при определении технологических параметров прокатки и конструктивных параметров подающего аппарата.

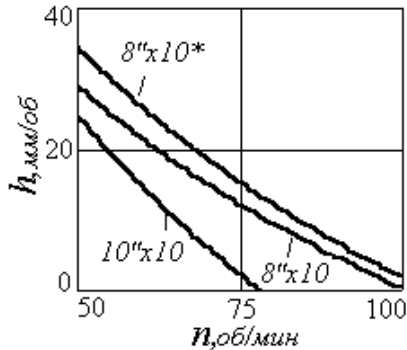
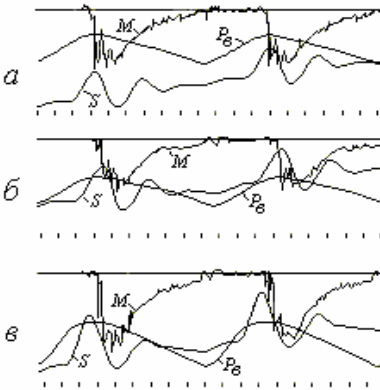


Рис.3. Зависимость максимальной подачи от числа оборотов валков



Влияние величины давления воздуха в воздушной камере на величину подачи подтверждается и данными экспериментальных исследований, приведенных в таблице и на рис.4.

Рис.4. Переходные процессы в механизмах пильггерстана при давлениях воздуха: а-0,52МПа; б-0,77Мпа; в-1,01МПа

Таблица Результаты экспериментальных исследований

Начальное давление $P_{в0}$, МПа	Размах колебаний A , мм	Подача h , мм	Частота β , Гц	Обороты валков n , об/мин
0,52	31,6	17,1	3,7	62
0,77	35,5	16,8	3,7	61
1,01	43	15	3,8	64

Результаты экспериментальных исследований получены при прокатке труб 10''x8 на пилигримовом стане цеха №4 Нижнеднепровского трубопрокатного завода. Изменение начального (магистрального) давления воздуха производилось в паузы между прокатками отдельных труб, т.е. данные получены при прокатке разных труб одного сортамента. Регулирования скорости перемещения каретки при изменении давления воздуха не производилось. Из осциллограмм (рис.4) и таблицы видно, что с повышением магистрального давления воздуха величина подачи уменьшается.

Для оценочного определения максимальной величины подачи при различных технологических параметрах прокатки труб можно использовать выражение, полученное из уравнения перемещения каретки за один оборот валков (подача) h для гидросистемы с дроссельным управлением (рис.1) которое, с учетом особенностей технологии прокатки и процессов, протекающих в системах подающего аппарата и механизма подачи, имеет вид:

$$h = \frac{60\mu f}{2\pi m F_2} \sqrt{2 / \rho F_2} (\alpha_{xx} \sqrt{p_1 F_1 - T_1} + \alpha_{px} \sqrt{p_1 F_1 - p_e F - T - T_1}) . \quad (4)$$

При выводе уравнения (4) использовалась упрощенная, статическая модель процессов, протекающих в системах механизмов пильгерстана.

Таким образом впервые обнаружен и исследован эффект взаимовлияния нескольких отдельных систем – электромеханической; пневмомеханической с гидроторможением и гидромеханической. Показано, что в данном комплексе систем происходит не учитывавшаяся ранее перекачка энергии от привода пильгерстана к гидравлическому механизму подачи. Подающий аппарат при этом служит передаточным элементом, параметры которого влияют на параметры работы механизма подачи.

Разработанная методика исследований может быть использована при исследовании сложных гидромеханических систем с изменяющейся структурой. Результаты исследования могут использоваться при проектировании новых и модернизации существующих пилигримовых станов, при определении технологических параметров прокатки труб.

1. *Большаков В.И., Листопадов И.Б.* Влияние параметров внешнего импульсного возмущения на реакцию гидромеханических систем. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сборник трудов.* – Вып.5, – 2001. С.–330–336..

Статья рекомендована к печати канд.техн.наук В.В.Верневым