

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ВОДООТЛИВА УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Бессараб В.И. к.т.н., доц.; Федюн Р.В. асп.

Донецкий государственный технический университет

Разработана динамическая модель многоступенчатой водоотливной установки как многосвязного объекта управления.

The dynamic model of multistage draining plant as multicoherent object of management is developed.

В настоящее время в угольной промышленности Украины наблюдается тенденция освоения все более глубоких горизонтов шахт. Это оказывает огромное влияние на организацию процесса водоотлива. На глубоких шахтах водоотлив, как правило, организуется по многоступенчатой схеме. Наиболее перспективной является схема главного водоотлива с последовательно включенными насосами, расположенными на разных горизонтах - схема "из насоса в насос"[1].

При применении этой схемы отпадает необходимость в сооружении и поддержании промежуточных водосборников, не требуется регулирование насосов по производительности в стационарном режиме работы. Проведенные расчеты показали, что капитальные и эксплуатационные затраты на схему "из насоса в насос" меньше, чем затраты на схему с промежуточным водосборником. Отрицательной стороной этой технологической схемы водоотлива является жесткая связь между насосами разных горизонтов. В связи с этим изменения режима работы насосов одного горизонта оказывает влияние на работу насосов другого горизонта. Это влияние проявляется как в стационарном режиме работы, так и в различных переходных и нестационарных режимах.

Для многоступенчатого шахтного водоотлива вопросы автоматизации разработаны и исследованы не достаточно. Поэтому задачи исследования многоступенчатых водоотливных

установок как объекта автоматического управления и разработка принципов построения систем автоматического управления ими являются актуальными.

Особенностью шахтных водоотливных установок является нелинейность уравнений всех звеньев (двигатель–насос–трубопровод). Математически рассматриваемая задача сводится к интегрированию системы уравнений, описывающих неустановившееся движение жидкости в трубах [2,3]:

$$-\frac{\partial H}{\partial x} = \frac{1}{gS} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{L}{2gdS^2} Q^2 + \sin a; \quad (1)$$

$$-\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{c^2}{gS} \frac{\partial Q}{\partial x} \quad (2)$$

в пределах $0 \leq x \leq L$ во времени $0 \leq t < \infty$
при начальных условиях

$$\left. \begin{aligned} H(x,0) &= (L-x)(\sin a + i) \\ Q(x,0) &= const \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

либо

$$\left. \begin{aligned} H(x,0) &= (L-x) \sin a \\ Q(x,0) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

и граничных условиях

$$\left. \begin{aligned} H(L,t) &= 0 \\ Q(0,t) &= j(Q_H, \omega) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где H, Q – напор и расход в данной точке трубопровода; L, d, S, λ – длина, внутренний диаметр, площадь поперечного сечения и коэффициент гидравлического сопротивления трубопровода; x, t – координаты пространства и времени; g – ускорение силы тяжести; a – угол наклона трубопровода к горизонту; i – гидравлический уклон; c – скорость распространения ударной волны; ω – угловая частота вращения ротора насосного агрегата.

Зависимость $\varphi(Q_H, \omega)$ определяет напор, развиваемый насосом при данной подаче и скорости вращения ротора, который можно представить уравнением:

$$H(0,t) = H_{H0} \left(\frac{w}{w_0} \right)^2 + A \frac{w}{w_0} Q - BQ^2 \quad (6)$$

где H_{H0} – напор, развиваемый насосом при закрытой задвижке на выдаче и номинальной скорости вращения ротора ω_0 ; A, B - постоянные для данного насоса коэффициенты.

Решение дифференциальных уравнений в частных производных (1-2) является общей методологией получения динамических характеристик любых трубопроводов, но в большинстве своем отпугивает практиков из-за трудностей их интегрирования и громоздкости полученных результатов [2,3,4]. Учитывая сказанное, динамические процессы в ступени многоступенчатого водоотлива будем получать используя типовые четырехполюсники динамики [4].

Рассматривая на каждом конце ступени одну из величин $Q(t)$ или $P(t)$ как зависимую от другой, можно отразить физику взаимного влияния давления и расхода на концах трубопровода и установить характер взаимных связей между динамическими характеристиками отдельных ступеней в общей модели многоступенчатой водоотливной установки.

Как известно из [2,4], динамика изменения расхода и давления в начале и в конце ступени может быть описана следующим соотношением:

$$\begin{aligned} Q_2(p) &= W_{Q_2Q_1}(p)Q_1(p) - W_{Q_2P_1}(p)P_1(p) \\ P_2(p) &= -W_{P_2Q_1}(p)Q_1(p) + W_{P_2P_1}(p)P_1(p) \end{aligned} \quad (7)$$

где $P_1(p), Q_1(p), P_2(p), Q_2(p)$ - давление и расход в начале и конце трубопровода соответственно; $W(p)$ - динамические соотношения (передаточные функции) по соответствующим каналам (канал взаимосвязи определяется индексом).

Используя выражение (7) как базовое, можно путем аналитических преобразований получить структуру модели ступени многоступенчатого водоотлива при различных комбинациях входных и выходных переменных [3,4]. Структура модели, приведенная на рис.1 является предпочтительной для многоступенчатого водоотлива.

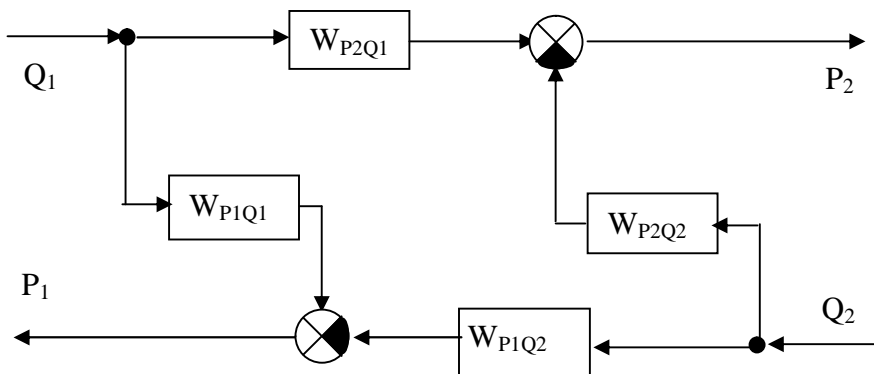


Рисунок 1.- Структурная схема ступени водоотлива.

На переходные процессы в трубопроводах оказывают влияние граничные условия (6). Способ задания граничных условий определяется видом выбранной структурной схемы трубопровода.

Граничные условия трубопровода определяются характеристиками насоса. Наибольшее распространение на главных водоотливных установках угольных шахт получили секционные центробежные насосы. Это связано с их большой надежностью, экономичностью, возможностью непосредственного применения высокооборотных электродвигателей.

Для изучения переходных процессов в гидравлических системах важно располагать динамическими характеристиками насосного агрегата в целом. Он состоит из центробежного насоса, асинхронного электродвигателя (как правило с короткозамкнутым ротором) и соединительной муфты. С изменением подачи и напора изменяется потребляемая мощность. Последнее вызывает соответствующий переходный процесс в электродвигателе, который оказывает определенное влияние на динамику в насосе.

Анализ особенностей функционирования центробежного насоса как граничных условий для трубопровода позволяет

получить структурную схему формирования граничных условий, которая приведена на рис.2.

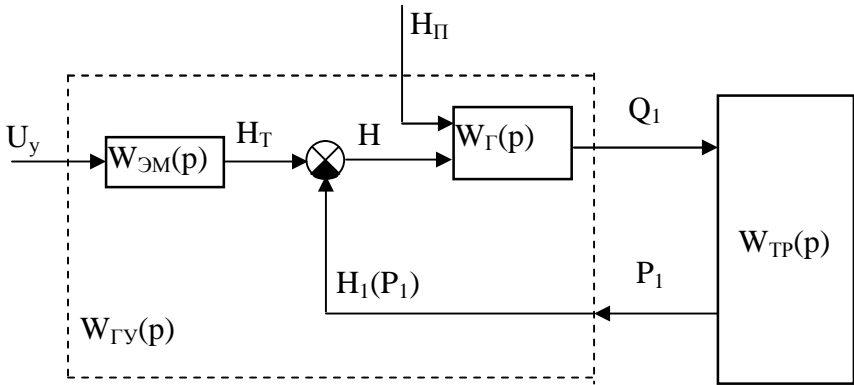


Рисунок 2- Структура модели граничных условий.

Эта схема (рис.2) позволяет сформировать модель граничных условий для исследования динамических процессов в многоступенчатых водоотливных установках.

Управляющее воздействие U_y подается на вход звена $W_{ЭМ}(p)$. Это звено описывает электромеханические свойства электродвигателя и насоса в режиме холостого хода. На выходе данного звена получается теоретический напор насосной установки H_T .

Рабочий режим насосной установки определяется с учетом влияния напорного трубопровода. Напорный трубопровод является нагрузкой насоса и оказывает влияние на насос через давление P_1 в его начальном сечении. Давление $P_1(H_1)$ через гидравлическую обратную связь воздействует на теоретический напор насоса H_T . В результате этого получается реальный напор насосной установки H .

Звено $W_{Г}(p)$ выражает динамику гидравлических процессов в насосной установке. В звене отражается преобразование напора насоса H в подачу Q_1 . Кроме этого, на данное звено оказывает возмущающее воздействие подпор на входе насоса

Нп. Таким образом, модель граничных условий, приведенная на рис.2 отражает динамические процессы в водоотливной установке, а также взаимное влияние динамических процессов в трубопроводе и насосной установке.

Используя модель трубопровода (рис.1) с граничными условиями (рис.2) можно исследовать динамические процессы в одноступенчатой водоотливной установке.

Модель многоступенчатой водоотливной установки можно получить из моделей трубопровода с граничными условиями. Для этого необходимо соединить требуемое количество моделей ступеней соответствующим образом с учетом всех связей. Схема водоотлива "из насоса в насос" предполагает жёсткую гидравлическую взаимосвязь между ступенями, что приводит к влиянию рабочих параметров одной ступени на параметры других ступеней. Это следует учитывать при разработке модели многоступенчатой водоотливной установки. Структурная схема трехступенчатой водоотливной установки приведена на рис.3. Под ступенью в этой схеме следует понимать совокупность трубопровода и его граничных условий.

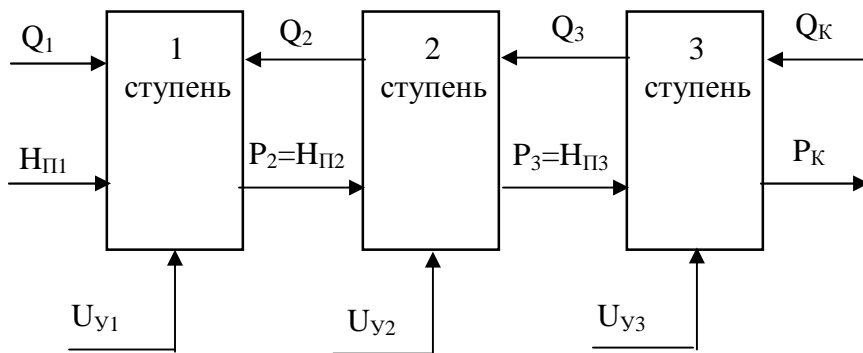


Рисунок 3- Структурная схема модели трехступенчатого водоотлива

Данная структурная схема отражает динамическую модель трехступенчатой водоотливной установки. Каждая ступень

состоит из насосного агрегата и трубопровода. Насосный агрегат является активным элементом ступени, с помощью которого можно управлять процессами в ступени водоотлива. Управляющее воздействие U_y вырабатывается системой управления и воздействует на активные элементы ступеней - насосы. Взаимосвязь между ступенями осуществляется через гидравлические параметры водоотливной установки: подачу каждой ступени Q , подпор H_{Π} и давление(напор) $P(H)$.

Такая модель многоступенчатого водоотлива дает возможность применения современной вычислительной техники не только для исследования динамических процессов, но также для синтеза и анализа системы автоматического управления.

Таким образом, многоступенчатый водоотлив с использованием вышеизложенных принципов может быть представлен универсальной многосвязной моделью. Это позволяет в зависимости от конкретных технологических параметров установки:

получить динамические характеристики объекта управления по требуемым каналам;

обосновать выбор критерия качества управления для объектов такого класса;

формализовать процесс синтеза системы управления многоступенчатыми водоотливными установками.

Список источников.

1. Мазуренко В.В. Исследование технологической схемы ступенчатого водоотлива глубоких шахт последовательно включенными насосами. В сб. "Водоотлив глубоких шахт". Труды Всесоюзного научно-технического семинара по водоотливу глубоких шахт. Москва, "Недра", 1967.- с.55-64.
2. Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах. :Пер. с англ.– М.: Энергоиздат, 1981.– 248 с.
3. Лямаев В.Ф., Небольсин Г.П., Нелюбов В.А. Стационарные и переходные процессы в сложных гидросистемах. Методы расчета на ЭВМ. Л. : Машиностроение. Ленинград. отд-ние, 1978 - 192с.
4. Чермак И., Петерка В., Заворка И. Динамика регулируемых систем в теплоэнергетике и химии. М.: Мир, 1972.– 624 с.