

ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВКАХ.

Бессараб В.И. Федюн Р.В.

Донецкий государственный технический университет,
кафедра автоматики и телекоммуникаций

E-mail: bvi@fcita.dn.ua

Abstract

Bessarab V., Fedun R. Principles of simulations dynamic processes in multistage draining plant. *The questions of modeling of multistage draining plant are considered in clause. The analysis multistage draining as object of automation is carried out. Three-step draining of collieries acts by object of researches. The mathematical description and block diagrams of object of management are received. The method of space of parameters is applied to the description of dynamics of multistage draining plant. The universal multiply connection model multistage draining in space of parameters of a condition is received as a result of researches.*

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].

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.

В качестве объекта исследования рассматривается трехступенчатая водоотливная установка (Рис.1).

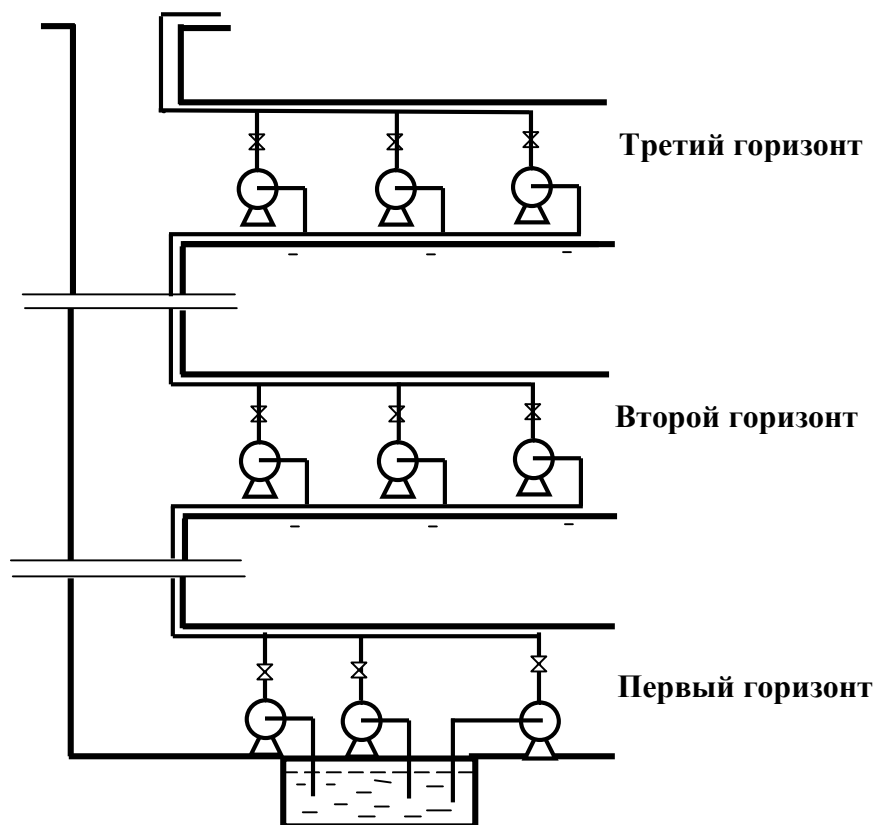


Рисунок 1.- Технологическая схема многоступенчатого водоотлива

Схема водоотлива "из насоса в насос" предполагает жёсткую гидравлическую взаимосвязь между ступенями, что приводит к влиянию рабочих параметров одной ступени на параметры других ступеней. Рабочий режим отдельной ступени водоотлива характеризуется комплексом переменных, который рассматривается как вектор в некотором пространстве, определяющий текущее состояние i -й ступени:

$$\bar{X}_i = |Q_i, H_i, H_{\text{П}}, H_{\Gamma}, N_i, h_i, r, Q_{\text{П}}, D_i, L_i, \alpha_i, i| \quad (1)$$

где Q_i - производительность i -й ступени водоотлива; H_i - напор i -й ступени водоотлива; $H_{\text{П}}$ - напор на входе в насосную станцию (подпор); H_{Γ} - геодезическая высота нагнетания i -й ступени; N_i - мощность i -й ступени водоотлива; η_i - коэффициент полезного действия i -й ступени водоотлива; $Q_{\text{П}}$ - часовой приток шахты; ρ - плотность жидкости; D_i - диаметр трубопровода i -й ступени; L_i - длина трубопровода i -й ступени; α_i - гидравлическое сопротивление

трубопровода i -й ступени; i - порядковый номер ступени.

Анализ вектора \bar{X} показывает, что ряд переменных определяются заранее и практически не изменяются в процессе эксплуатации: $L_i, H_{\Gamma i}, D_i, N_i, \eta_i$, i - условно-постоянные параметры. Переменные $Q_{\Gamma P}, \alpha_i$ и ρ являются возмущающими параметрами, которые в процессе эксплуатации изменяются случайно, плохо контролируются. Переменные $Q_i, H_i, H_{\Pi i}$ определяют рабочий режим i -й ступени многоступенчатого водоотлива, таким образом являются управляющими параметрами. Изменяя эти переменные в процессе работы можно поддерживать заданный режим откачки.

Определенный интерес представляют переходные режимы в многоступенчатой водоотливной установке. Динамическую модель такого объекта, с точки зрения структурного представления, наиболее целесообразно получать в виде взаимосвязанной структуры элементарных моделей отдельных ступеней [2]. Динамические процессы в ступени водоотлива можно отразить с использованием типовых четырехполюсников динамики [2]. С учетом относительно небольших длин трубопроводов ступеней водоотлива, доказано, что можно перейти от модели динамики с распределенными параметрами к модели с сосредоточенными параметрами [3].

Динамика изменения расхода и давления в начале и в конце трубопровода описывается следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} Q_2(p) &= W_{Q_2Q_1}(p)Q_1(p) - W_{Q_2P_1}(p)P_1(p) \\ P_2(p) &= -W_{P_2Q_1}(p)Q_1(p) + W_{P_2P_1}(p)P_1(p) \end{aligned} \quad (2)$$

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).

Аналитическое преобразование выражения (2) позволяет получить структуру модели трубопровода ступени при различных комбинациях

входных и выходных переменных. Наиболее приемлемым вариантом для описания структуры модели является структурная схема приведенная на рис.2.

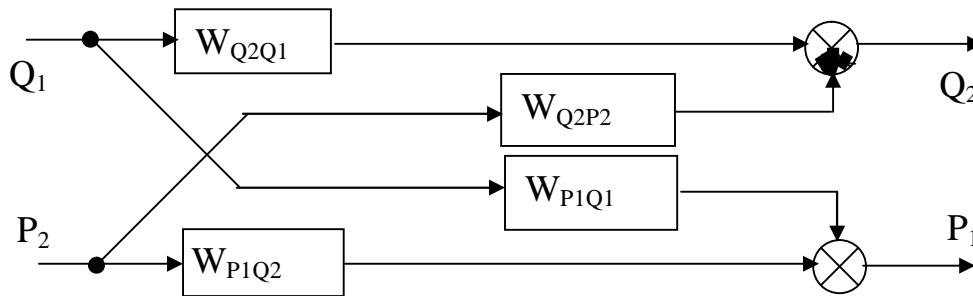


Рисунок 2.- Структурная схема ступени водоотлива

Структуру трёхступенчатой водоотливной установки можно представить в виде связи четырёхполюсников ступеней (Рис.3).

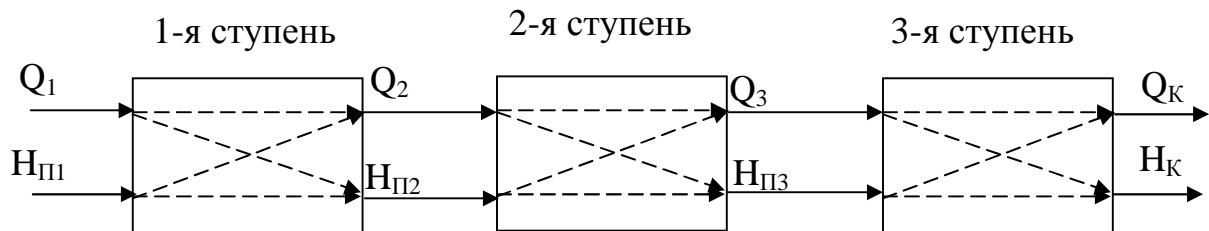


Рисунок 3.- Структура трёхступенчатой водоотливной установки.

Наиболее универсальным методом описания динамики является математическая модель многоступенчатой водоотливной установки в пространстве параметров состояний [4]. В этом случае передаточные функции для i -й ступени водоотлива:

$$\begin{aligned}
 P_i(p) &= \frac{k_1}{T_i p + 1} Q_i(p) + \frac{k_2}{p} (Q_i(p) - Q_{i-1}(p)) \\
 H_{i+1}(p) &= \frac{k_1}{T_i p + 1} Q_i(p) + \frac{k_2}{p} (Q_{i-1}(p) - Q_i(p))
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

где P_i - давление в начале трубопровода ступени; H_{i+1} - давление в конце трубопровода ступени (подпор на входе $(i+1)$ ступени); Q_i и Q_{i+1} - расходы жидкости в начальном и конечном сечении ступени; T_i - постоянная времени, характеризующая инерционные свойства ступени; k_1 - коэффициент, устанавливающий связь между расходом и давлением в соответствующем сечении трубопровода; k_2 -

коэффициент, характеризующий интегрирующие свойства трубопровода.

Состояние ступени трубопровода в каждый момент времени полностью описывается значениями давления в различных точках трубопровода, которые могут быть приняты в качестве переменных состояния. Путем введения дополнительных переменных состояния, которые характеризуют аperiodические составляющие P_i' и H_{i+1}' в суммарном значении давления (подпора) i -я ступень водоотлива может быть описана системой:

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_i(t)}{dt} &= -\frac{1}{T} P_i'(t) + \left(\frac{k_1}{T} + k_2 \right) Q_1(t) + k_2 Q_2(t) \\
 \frac{dP_i'(t)}{dt} &= -\frac{1}{T} P_i'(t) + \frac{k_1}{T} Q_1(t) \\
 \frac{dH_{i+1}(t)}{dt} &= \frac{1}{T} H_{i+1}'(t) + k_2 Q_1(t) - \left(\frac{k_1}{T} + k_2 \right) Q_2(t) \\
 \frac{dH_{i+1}'(t)}{dt} &= -\frac{1}{T} H_{i+1}'(t) + \frac{k_2}{T} Q_2(t)
 \end{aligned} \tag{4}$$

Эта система уравнений характеризует динамику ступени во временной области представления. В качестве переменных состояния выступают координаты $P_i'(t)$, $H_{i+1}'(t)$, $P_i(t)$, $H_{i+1}(t)$, а в качестве управляющих координат - $Q_i(t)$ и $Q_{i+1}(t)$.

Система уравнений, описывающих динамику трёхступенчатого водоотлива, может быть представлена в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_1(t)}{dt} &= -\frac{1}{T_1} P_1^1(t) + \left(\frac{k_1^1}{T_1} + k_2^1 \right) Q_1(t) + k_2^1 Q_2(t) \\
 \frac{dP_1^1(t)}{dt} &= -\frac{1}{T_1} P_1^1(t) + \frac{k_1^1}{T_1} Q_1(t) \\
 \frac{dH_2(t)}{dt} &= \frac{1}{T_1} H_2^1(t) + k_2^1 Q_1(t) - \left(\frac{k_1^1}{T_1} + k_2^1 \right) Q_2(t) \\
 \frac{dH_2^1(t)}{dt} &= -\frac{1}{T_1} H_2^1(t) + \frac{k_2^1}{T_1} Q_2(t) \\
 \frac{dP_2(t)}{dt} &= -\frac{1}{T_2} P_2^1(t) + \left(\frac{k_1^2}{T_2} + k_2^2 \right) Q_2(t) + k_2^2 Q_3(t)
 \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}\frac{dP_2^1(t)}{dt} &= -\frac{1}{T_2}P_2^1(t) + \frac{k_1^2}{T_2}Q_2(t) \\ \frac{dH_3(t)}{dt} &= \frac{1}{T_2}H_3^1(t) + k_2^2Q_2(t) - \left(\frac{k_1^2}{T_2} + k_2^2\right)Q_3(t) \\ \frac{dH_3^1(t)}{dt} &= -\frac{1}{T_2}H_3^1(t) + \frac{k_2^2}{T_2}Q_3(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} &= -\frac{1}{T_3}P_3^1(t) + \left(\frac{k_1^3}{T_3} + k_2^3\right)Q_3(t) + k_2^3Q_3(t) \\ \frac{dP_3^1(t)}{dt} &= -\frac{1}{T_3}P_3^1(t) + \frac{k_1^3}{T_3}Q_3(t)\end{aligned}$$

Система (5) в стандартной векторно-матричной форме имеет вид:

$$\dot{X} = AX + BU \quad (6)$$

где X - матрица состояния системы; U - вектор управляющих воздействий; A - матрица динамики объекта; B - матрица управляющих воздействий.

$$X = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_1^1 \\ H_2 \\ H_2^1 \\ P_2 \\ P_2^1 \\ H_3 \\ H_3^1 \\ P_3 \\ P_3^1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \frac{k_1^1}{T_1} + k_2^1 & k_2^1 & 0 \\ k_2^1 & 0 & 0 \\ -k_2^1 & k_2^1 - \frac{k_1^1}{T_1} & 0 \\ k_2^1 & -k_2^1 & 0 \\ 0 & \frac{k_1^2}{T_2} + k_2^2 & k_2^2 \\ 0 & k_2^2 & -k_2^2 \\ 0 & -k_2^2 & k_2^2 - \frac{k_1^2}{T_2} \\ 0 & k_2^2 & -k_2^2 \\ 0 & 0 & \frac{k_1^3}{T_3} + k_2^3 \\ 0 & 0 & -k_2^3 \end{bmatrix} \quad U = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix}$$

Матрица $A = \|a_{ij}\|$ размерности (10×10) имеет такие коэффициенты:

$$\begin{aligned}a_{12} &= -\frac{1}{T_1} & a_{22} &= -\frac{1}{T_1} & a_{34} &= \frac{1}{T_1} & a_{44} &= -\frac{1}{T_1} & a_{56} &= -\frac{1}{T_2} \\ a_{66} &= -\frac{1}{T_2} & a_{76} &= \frac{1}{T_2} & a_{88} &= -\frac{1}{T_2} & a_{910} &= -\frac{1}{T_3} & a_{1010} &= -\frac{1}{T_3}\end{aligned}$$

Все остальные коэффициенты матрицы A равны нулю.

Таким образом, многоступенчатый водоотлив с использованием

вышеизложенных принципов может быть представлен универсальной многосвязной моделью в пространстве параметров состояния. Это позволяет в зависимости от конкретных технологических параметров установки:

- получить динамические характеристики объекта управления по требуемым каналам;
- исследовать объект на предмет управляемости и наблюдаемости;
- обосновать выбор критерия качества управления для объектов такого класса;
- формализовать процесс синтеза системы управления многоступенчатыми водоотливными установками.

Литература.

- 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.Чермак И., Петерка В., Заворка И. Динамика регулируемых систем в теплоэнергетике и химии. Перевод с чешского под ред. Н.С. Райбмана. Москва, "Мир", 1972.- 623с.
- 3.Тимошенко Г.М. Научные основы проектирования и эксплуатации насосных установок в переходных режимах. Киев; Донецк: Вища шк. Головное изд-во, 1986.- 127с.
- 4.Стрейц В. Метод пространства состояний в теории дискретных линейных систем управления./Перевод с англ. под ред. Я.З. Цыпкина.- Москва, Наука, 1985.-296с.