

ВСАСЫВАЮЩАЯ ЛИНИЯ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ КАК ЗВЕНО СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Перлик Л.А., студент; Никулин Э.К., доц., к.т.н., с.н.с.; Неежмаков С.В., доц., к.т.н.
(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)

Всасывающая линия насосной установки во многом определяет пропускную способность системы шахтного водоотлива и безаварийные режимы работы насосов и трубопроводной сети.

Всасывающая линия включает в свой состав приемный колодец, гидравлически соединенный с водосборниками, и всасывающий трубопровод, подключенный ко всасывающему патрубку насоса [1].

1. Приемный колодец.

Приемный колодец с водосборником служит для аккумуляции шахтного притока, поступающего из горных выработок, и организации циклической работы насосной установки в зависимости от уровня наполнения колодца, контролируемого электроконтактными датчиками, установленными на разных отметках относительно пола приемного колодца. Цикл работы насосной установки состоит из двух периодов: рабочего, при котором насос работает на номинальной подаче и периода паузы, при котором насос отключен от электропитающей сети. В течение рабочего периода осуществляется откачка воды из водосборника и снижение уровня до отключающей отметки ОУ, а в течение паузы происходит наполнение водосборника и повышение уровня до верхней отметки ВУ. Таким образом моменты начала и конца упомянутых периодов определяются соответствующими уровнями воды в приемном колодце. Объем воды, заключенный между отметками ОУ и ВУ, (см. рис 1.) является регулировочной емкостью W_p , в пределах которой происходит изменение уровня во времени согласно дифференциальному уравнению вида

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{Q_n(t) - Q_h(t)}{F}, \quad (1)$$

где $h(t)$ – текущий уровень в приемном колодце, м;

F – площадь зеркала воды, m^2 ;

$Q_n(t), Q_h(t)$ – соответственно текущие значения шахтного притока и подачи насоса, m^3/c .

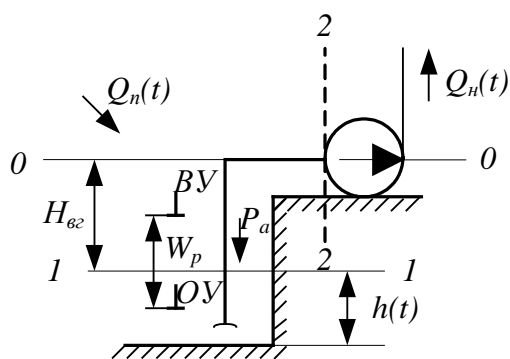


Рисунок 1. – Расчетная гидравлическая схема всасывающей линии насосной установки

Обозначив разность величин $Q_n(t)$ и $Q_h(t)$ через $\Delta Q(t)$, уравнение (1) запишем в виде

$$F \frac{dh(t)}{dt} = \Delta Q(t) \quad (2)$$

Перейдя к Лапласовому изображению, исходное уравнение представим в виде

$$F \cdot Ph(p) = \Delta Q(p) \quad (3)$$

Откуда получим передаточную функцию рассматриваемого звена в виде

$$W_1(p) = \frac{h(p)}{\Delta Q(p)} = \frac{\kappa_1}{p}, \quad (4)$$

где $\kappa_1 = \frac{1}{F}$, m^{-2} .

Таким образом в динамическом отношении приемный колодец водоотливной установки представляет собой интегрирующее звено.

2. Всасывающий трубопровод.

Всасывающий трубопровод является неотъемлемой частью насосной установки и во многом определяет ее экономичность и безаварийность эксплуатации.

Для оценки динамических свойств всасывающего трубопровода как звена системы автоматического регулирования составим основное дифференциальное движение жидкости по трубопроводу под действием приложенных движущих гидродинамических сил. Для этого рассмотрим расчетную схему, приведенную на рис. 1, и для выбранных сечений 1-1, 2-2 составим уравнение Бернулли относительно плоскости сравнения 0-0:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + Z_2 + \Delta H_{nom1-2}, \quad (5)$$

где P_1 и P_2 – полные давления в сечениях 1-1 и 2-2, Па;

V_1 и V_2 – средние скорости жидкости соответственно понижения (повышения) уровня в приемной емкости и движения воды в трубопроводе (сечение 2-2), м/с;

Z_1 и Z_2 – расстояние центров тяжести соответственно сечений 1-1 и 2-2 относительно плоскости сравнения 0-0, м;

ΔH_{nom1-2} – потеря напора во всасывающем трубопроводе на участке, заключенном между сечениями 1-1 и 2-2, м;

α_1 и α_2 – коэффициенты Кориолиса в соответствующих сечениях.

В рассматриваемом случае величины в уравнении (5) принимают следующие значения:

$$V_1=0; \quad \alpha_1 = \alpha_2; \quad Z_1=H_{\text{вз}}; \quad Z_2=0; \quad P_1 = P_a; \quad P_2 = P_a + P_{\text{в}}; \quad \Delta H_{nom1-2} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = a_{\text{в}} Q^2, \quad \text{где } P_a -$$

атмосферное давление; $a_{\text{в}}$ – сопротивление всасывающего трубопровода, $\text{с}^2/\text{м}^5$; $a_{\text{в}} Q^2$ – общие потери напора во всасывающем трубопроводе, м; Q – подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; $P_{\text{в}}$ – вакуумметрическое давление, развиваемое насосом, Па.

После подставлений значений величин в уравнение (5) получим

$$\frac{P_a}{\rho g} + 0 - H_{\text{вз}} = \frac{P_a}{\rho g} + \frac{P_{\text{в}}}{\rho g} + 0 + a_{\text{в}} Q^2, \quad \text{откуда}$$

$$P_{\text{в}} = -\rho g (H_{\text{вз}} + a_{\text{в}} Q^2) \quad (6)$$

Под действием вакуумметрического давление, определяемого по формуле (6), происходит движение жидкости по всасывающему трубопроводу. Динамика этого движения описывается уравнением механики

$$m \frac{dv}{dt} = F, \quad (7)$$

где F – движущая сила, Н;

m – масса движущего потока: $m = \rho L \omega$, кг;

ρ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$;

l – строительная длина рассматриваемого трубопровода, м;

ω – площадь проходного сечения трубопровода: $\omega = \frac{\pi d_{\text{в}}^2}{4}$, м^2 ;

$d_{\text{в}}$ – внутренний диаметр трубопровода, м;

v – средняя скорость потока по сечению трубопровода: $v = \frac{Q}{\omega}$, м/с.

Для нашего случая движущая сила F связана с порождающим ее вакуумметрическим давлением $P_{\text{в}}$ уравнением:

$$F = P_g \cdot \omega \quad (8)$$

С учетом найденных соотношений уравнение (7) запишем в виде

$$\frac{\rho l \omega}{\omega} \frac{dQ}{dt} = -\rho g \omega (H_{ez} + a_g Q^2)$$

После соответствующих преобразований окончательно получим

$$\frac{l}{g \omega} \frac{dQ}{dt} = -(H_{ez} + a_g Q^2) \quad (9)$$

Уравнение (9) нелинейно относительно параметра Q . С целью его линеаризации разложим нелинейный член $a_g Q^2$ в ряд Тейлора:

$$a_g Q^2 = a_g Q_0^2 + 2a_g Q_0(Q - Q_0) = 2a_g Q_0 Q - a Q_0^2 = \kappa_1 Q - \kappa_2,$$

где $\kappa_1 = 2a_g Q_0$, $\kappa_2 = a_g Q_0^2$;

Q_0 - подача насоса в точке разложения : $Q_0 = Q_H = const$;

$Q = f(t)$ – текущее значение подачи в данный момент времени t .

После подстановки значения линеаризованного члена $a_g Q^2$ в (9) и соответствующих преобразований получаем линеаризованное дифференциальное уравнение движения жидкости во всасывающем трубопроводе насосной установки:

$$T \frac{dQ(t)}{dt} + Q(t) - Q_0' = -\kappa_0 H_{ez}(t), \quad (10)$$

где $Q_0' = \frac{\kappa_2}{\kappa_1} = const$; $\kappa_0 = \frac{l}{\kappa_1}$; $Q = Q(t)$; $H_{ez} = H_{ez}(t)$; $T = \frac{l}{g \omega \kappa_1}$ - постоянная времени рассматриваемого динамического звена.

Перейдя к Лапласовому изображению, получим

$$TpQ(p) + Q(p) = -\kappa_0 H_{ez}(p). \quad (11)$$

На основании (11) передаточную функцию рассматриваемого звена запишем в виде

$$W_2(p) = \frac{Q(p)}{H_{ez}(p)} = -\frac{\kappa_0}{Tp + 1}. \quad (12)$$

Таким образом, в динамическом отношении всасывающий трубопровод представляет собой аperiodическое звено. Знак минус в выражении (12) может быть опущен, так как он указывает на то, что с увеличением подачи насоса, его геометрическая высота всасывания уменьшается.

Вывод.

В результате проведенных исследований были получены передаточные функции звеньев всасывающей линии, необходимые для дальнейшей разработки системы автоматического регулирования подачи насоса шахтной водоотливной установки.

Перечень ссылок

1. Гейер В.Г., Тимошенко Г.М. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1987. – 270 с.