

ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ АНАЛОГОВЫЙ УРОВНЕМЕР

Войтов А.Ю., 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)

Для разработки системы автоматического регулирования подачи насосов как дополнительной функции базовой аппаратуры автоматизации шахтной водоотливной установки необходима замена существующих дискретных электроконтактных датчиков уровня на аналоговый уровнемер, контролирующий уровень воды в приемном колодце в заданном технологическом диапазоне.

В качестве аналогового уровнемера предлагается устройство, состоящее из приемного (измерительного) узла и серийно выпускаемого дифференциального манометра сильфонного или мембранного типа (МС, МД) в комплекте с усилителем постоянного тока типа УП-20.

Конструктивная схема устройства приведена на рис. 1.

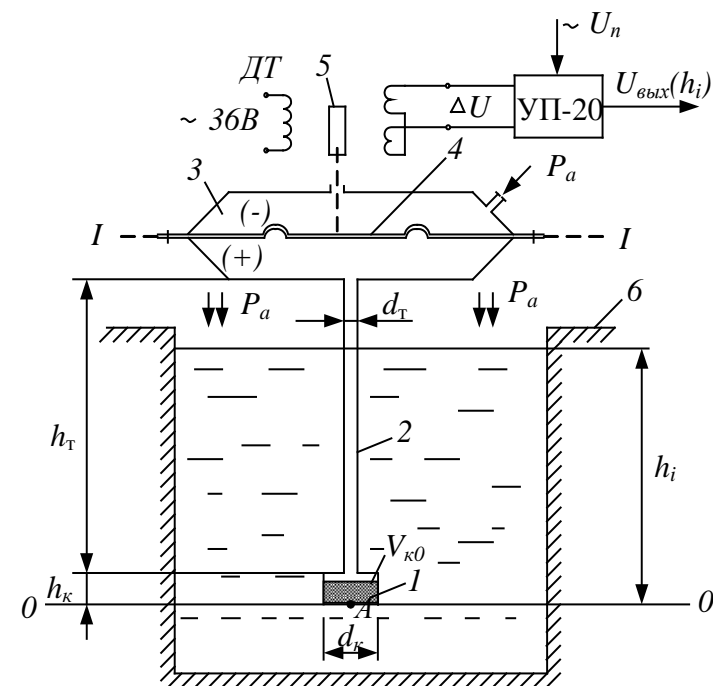


Рисунок 1. – Конструктивная схема уровнемера

Приемный узел уровнемера представляет собой коробку 1 с измерительной (импульсной) трубкой 2 для подсоединения узла к манометру 3, имеющему 2 камеры, разделенные упругим элементом 4 (круглой гофрированной мембраной в манометрах типа ДМ или сильфоном – в МС). Измерительная трубка приемного узла подведена к плюсовой камере манометра, а его минусовая камера сообщается с атмосферой. Таким образом устройство является дифференциальным, так как измеряет разность давлений P_a (атмосферного) и P_n (гидростатического). В центре упругого элемента, преобразующего давление в камере «+» (пропорциональное уровню воды в водосборнике 6) в линейное перемещение мембраны, жестко укреплен ферромагнитный сердечник

5, который перемещается внутри неподвижной катушки дифференциального измерительного трансформатора ДТ, состоящего из первичной обмотки и двух одинаковых встречно включенных вторичных обмоток. На выходе такого трансформатора появляется разность напряжения ΔU , пропорциональное перемещению сердечника. В связи с малой величиной перемещения сердечника (порядка 5 – 10 мм), обусловленной диапазоном применения закона Гука для упругих элементов подобных преобразователей, такой уровнемер имеет линейную выходную характеристику: $\Delta U = \kappa h_i$, в связи с чем он хорошо зарекомендовал себя при измерении уровней жидкостей, в том числе и сильно загрязненных взвешенными твердыми частицами, что характерно для шахтных вод.

Работа устройства заключается в следующем. При нижнем отключающем уровне воды в водосборнике измерительная коробка 1 не погружена в жидкость и объем воздуха, заключенный между плоскостями сравнения 0-0 и I-I и равный V_0 находится под атмосферным давлением P_0 . При этом давление в камерах «+» и «-» одинаковое, а перепад

$\Delta P = 0$. Ферромагнитный сердечник 5 занимает среднее положение относительно катушки ДТ и сигнал на выходе трансформатора $\Delta U = 0$. При наполнении водосборника водой уровень в нем растет и растет давление в точке А, пропорционально уровню: $P_a = P_0 + \rho g h_i$. Под действием этого давления начальный объем воздуха V_0 уменьшается за счет сжатия. Это давление передается в камеру «+» манометра, где на чувствительный элемент действует разность давлений:

$$P_a - P_0 = \Delta P = \rho g h_i.$$

Под действием этого перепада давления упругий элемент деформируется и перемещает сердечник 5 от среднего положения вверх, баланс сигналов на вторичных обмотках ДТ нарушается и на выходе возникает ЭДС рассогласования:

$$\Delta U = \kappa h_i,$$

где $\kappa = const$ – коэффициент пропорциональности, характеризующий упругие свойства воспринимающего элемента (мембраны, сильфона);

h_i – текущий уровень воды в водосборнике.

Конструктивной особенностью таких уровнемеров является недопущение захода столба жидкости в импульсную трубку 2. Так как в противном случае, последняя постепенно засоряется илистыми отложениями, находящимися в воде, что приводит к потере функционального назначения прибора в целом. С этой целью приемный узел проектируется с таким расчетом, чтобы при максимальном сжатии начального объема воздуха V_k в измерительной коробке оставался бы объем V_{k0} , не занятый водой.

Считая, что сжатие начального объема воздуха происходит изотермически, основным расчетным уравнением в этом случае служит известное соотношение:

$$P_0 V_0 = P_A V_1, \quad (1)$$

где P_0, P_A – начальное и конечное давление: $P_0 = P_a$; $P_A = P_a + P(h)$;

V_0, V_1 – начальный и конечный объем воздуха в устройстве: $V_0 = V_k + V_{mp} + V_m$,

$V_1 = K_v V_k + V_{mp} + V_m$;

V_k, V_{mp}, V_m – соответственно объемы приемной коробки, импульсной трубки и «+» камеры манометра;

K_v – запас по объему: $K_v = 0,15 \dots 0,2$.

С учетом принятых соотношений, уравнение (1) запишем в виде

$$P_0 (V_k + V_{mp} + V_m) = P_A (K_v V_k + V_{mp} + V_m).$$

После преобразований последнего уравнения и решения относительно V_k имеем:

$$V_k = \frac{P_A - P_0}{P_0 - K_v P_A} (V_{mp} + V_m). \quad (2)$$

Поскольку $P_A - P_0 \approx \Delta P$; $P_A = P_0 + \Delta P$, то уравнение (2) приводим к виду

$$V_k = \frac{(V_{mp} + V_m)}{\left[\frac{P_0}{\Delta P} (1 - K_v) - K_v \right]}, \quad (3)$$

где V_m – объем «+» камеры уровнемера (для дифманометра ДМ: $V_m = 0,0005 \text{ м}^3$, для дифманометра МС: $V_m = 0,0001 \text{ м}^3$);

P_0 – атмосферное давление на отметке расположения уровнемера, которое можно рассчитать, используя основное уравнение равновесия газов, которое для условий шахт имеет вид [1]:

$$P_0 = P_a \left(1 + \frac{\alpha H}{T_0} \right)^{3,4}, \quad (4)$$

где P_0 – атмосферное давление в шахте на глубине H ;
 P_a – нормальное атмосферное давление на поверхности шахты;
 $\alpha = 0,01$ К/м – температурный градиент для «сухих» стволов;
 T_0 – нормальная абсолютная температура на поверхности шахты.

Объем импульсной трубки определим из формулы

$$V_{mp} = \frac{\pi d_T^2}{4} \cdot l_T, \quad (5)$$

где d_T – внутренний диаметр импульсной трубки, м ($d_T = 0,0125$ м);

l_T – монтажная длина трубки, м. Определяется диапазоном измерения уровня и превышением над перекрытием зумпфовой части водосборника:

$$l_T = H_{пред} + \Delta l.$$

Здесь $H_{пред} = K_p h_{i\max}$ – предельный измеряемый уровень, м;

$h_{i\max}$ – максимальный уровень, м (см. рис. 1);

K_p – коэффициент запаса по измеряемому уровню воды в водосборнике. Определяется типом применяемого насоса. Например для насоса типа ЦНС – 300-600 $K_p = 1,33$;

Δl – превышение места установки дифференциального манометра над перекрытием зумпфа, м. Обычно эта величина составляет $\Delta l = 1,0 \dots 1,5$ м

Аналогично определяется объем приемной коробки:

$$V_k = \frac{\pi d_k^2}{4} h_k \quad (6)$$

где d_k и h_k – соответственно диаметр и высота приемной коробки.

Приняв из конструктивных соображений $h_k = d_k$, из (6) найдем:

$$h_k = d_k = \sqrt[3]{\frac{4V_k}{\pi}}, \quad (7)$$

где величина V_k определяется из уравнения (3).

Вывод.

В результате исследований получены новые расчетные формулы для определения основных параметров гидростатического аналогового уровнемера: l_T , h_k , d_k в зависимости от типа насоса его всасывающей способности, высоты водоподъема и технологических ограничений: $K_v = 0,2$ и $K_p = 1,33$.

Перечень ссылок

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