

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

К. Х. ОВСЕЯН, М. Г. ХАЧЯН

ПРИБОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ РАСХОДА ВОДЫ
ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ

При исследовании неустановившихся (нестационарных) процессов в гидроэнергосистемах в лабораторном и в натуральных условиях, наряду с измерением крутящего момента турбины и давлением в трубопроводе, очень важна задача о регистрации переменного по времени расхода воды, протекающей через турбину. В отличие от обычных приборов к таким устройствам предъявляются также и специальные требования, как например, электрический выход для записи на осциллограф, безынерционность, надежность измерений. Кроме этого, такое устройство не должно реагировать на повышение или понижение давления в трубопроводе. В настоящее время существует 3 класса безынерционных электрических расходомеров: калориметрические, термоанемометрические, индукционные.

Калориметрические расходомеры основаны на нагреве потока постоянным источником и измерении, при этом, изменения температуры потока при постоянном подводе тепла. На практике такие измерения осуществляются исключительно с помощью электрических термометров сопротивления.

Термоанемометрическими называются приборы, основанные на зависимости между количеством тепла, теряемого нагретым телом и скоростью потока, в котором это тело находится. Калориметрические и термоанемометрические расходомеры применяются только для измерения расхода газа, так как требуют сложную аппаратуру, которая приводит к искажению замеров.

Индукционные расходомеры, основанные на измерении зависящей от расхода воды электродвижущей силы, индуктированной в потоке электропроводностью жидкости под действием внешнего магнитного поля, несмотря на ряд достоинств, также не могут быть использованы. Участок трубопровода, где должен быть установлен индукционный расходомер, должен быть из немагнитного материала, а для измерения больших расходов (при больших диаметрах трубопроводов) трудно создать сильные магнитные поля.

В лаборатории моделирования Института энергетики и гидравлики был сконструирован и испытан электрический мембранный тензометрический расходомер, удовлетворяющий вышеназванным требованиям.

На трубопроводе до и после местного сопротивления или изменения диаметра, с помощью трубок присоединяется электрический

датчик переменного перепада (рис. 1). Указанный датчик, представляющий из себя дифференциальный тензометрический манометр, состоит из двух цилиндров, между которыми вставлена упругая мембрана. На мембрану с двух сторон приклеено по одному проволоочному тензометрическому сопротивлению (рис 2). Эти сопротивления являются двумя плечами измерительного моста, остальные два плеча которого находятся в измерительном усилителе.

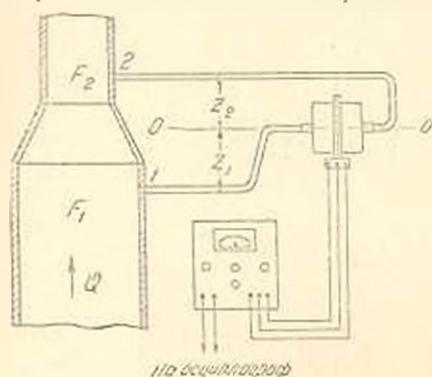


Рис. 1.

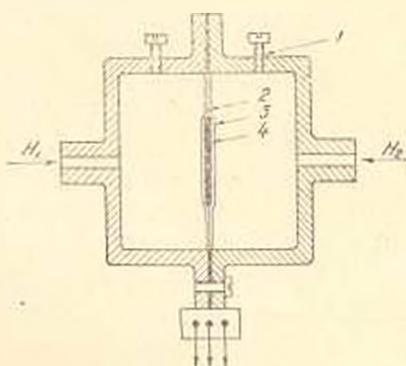


Рис. 2.

Если в трубопроводе нет расхода, то давления на мембрану с двух сторон равны, и измерительный мост находится в равновесном состоянии. С увеличением расхода воды увеличивается перепад давления в местах присоединения соединительных трубок. Мембрана изгибается, вследствие этого сопротивления тензодатчиков меняют свои значения, и измерительный мост выходит из своего равновесного состояния. Проявившийся в диагонали измерительного моста ток, как будет видно ниже, пропорционален перепаду давления, т. е. расходу. Этот ток после необходимого усиления подается на осциллограф для регистрации.

При быстром изменении расхода уравнение Бернулли в отношении горизонтальной оси 0—0 дифманометра расходомера будет

$$-z_1 - \frac{p_1}{\gamma} + \frac{Q^2}{2\alpha F_1^2} + \Delta h_1 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{Q^2}{2\alpha F_2^2} (\xi + 1) + \Delta h_2 \quad (1)$$

где $\frac{p_1}{\gamma}$, $\frac{p_2}{\gamma}$ — пьезометрические давления соответственно в точках 1 и 2;

Δh_1 и Δh_2 — изменение напора вследствие гидравлического удара, Q — расход воды в трубопроводе;

ξ — коэффициент сопротивления на участке 1—2.

Волна гидравлического удара, которая будет распространяться от конца трубопровода, от створа 2 до створа 1 через время $\Delta t = \frac{l}{a}$. Но ввиду малого расстояния l и большого значения ско-

рости распространения ударной волны a , можно принять, что Δh_1 и Δh_2 действуют одновременно. Однако, это запаздывание, как будет показано ниже, можно полностью компенсировать помощью соединительных трубок.

Действующее на мембрану результирующее давление будет равно:

$$\Delta H = \left(-z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \Delta h_1 \right) - \left(z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \Delta h_2 \right) = \frac{Q^2}{2gF_1^2} \left(1 + \xi - \frac{F_2^2}{F_1^2} \right), \tag{2}$$

откуда

$$Q = k_1 \sqrt{\Delta H}, \tag{3}$$

где

$$k_1 = \sqrt{\frac{2gF_1^2}{\left(1 + \xi - \frac{F_2^2}{F_1^2} \right)}} \tag{4}$$

Квадратичная зависимость между расходом и перепадом является общим свойством дифференциальных манометров.

Конструктивное выполнение дифференциального манометра позволяет путем подбора диаметра и толщины мембраны получить связь между перепадом давления и выходным током электрической части в виде

$$I = k_2 \sqrt{\Delta H}, \tag{5}$$

где k_2 — постоянная для достаточно большого диапазона изменения перепада и определяется параметрами датчиков и мембраны. В результате совместной работы обоих элементов прибора получается линейная связь между расходом и выходным током в большом диапазоне изменения расхода. Из (4) и (5) имеем:

$$I = \frac{k_2}{k_1} Q$$

или

$$I = kQ. \tag{6}$$

Коэффициент k остается неизменным при статических и динамических режимах, так как k_1 и k_2 постоянные.

Это дает право произвести тарировку расходомера в статическом режиме после его установки.

Указанный расходомер требует специальной наладки, которая заключается в следующем: при гидравлическом ударе волны повышения или понижения давления от створов 1 и 2 достигают датчика одновременно и этим искажают замеры. Соответствующим, тщательным подбором длин соединительных трубок нужно добиваться того, чтобы волны гидравлического удара достигли мембраны датчика одновременно. Соединительные трубки дифманометра должны быть возможно короче, а сам датчик должен быть закреплен таким образом, чтобы вибрация трубопровода не передавалась ему.

После сборки электрической части схемы два отверстия дифманометра соединяют через тройник, и в обеих камерах одновременно давление воды постепенно повышается до величины, которая может быть при эксплуатации датчика. При этом во всем диапазоне изменения давления мембрана не должна деформироваться, т. е. электрическая схема не должна выходить из равновесного состояния.

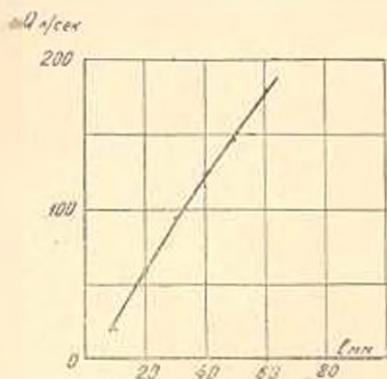


Рис. 3.

Корпуса датчиков делаются из антикоррозийного материала с внутренним диаметром 40 мм. На обеих половинах имеются специальные кранки для выпуска воздуха. Материал мембраны фосфористая бронза толщиной 0,3 мм. На мембрану приклеены с двух сторон проволочные тензодатчики длиной 20 мм и сопротивлением $R = 200$ ом. Проволочные сопротивления предохраняются от действия воды тонкой резиновой пленкой, которая накладывается прямо на мембрану с двух сторон. На рис. 3

представлена калибровочная кривая, из которой видно, что предлагаемый прибор очень удобен для регистрации расхода воды в трубопроводе, так как имеет почти прямолинейную шкалу в большом диапазоне изменения расхода.

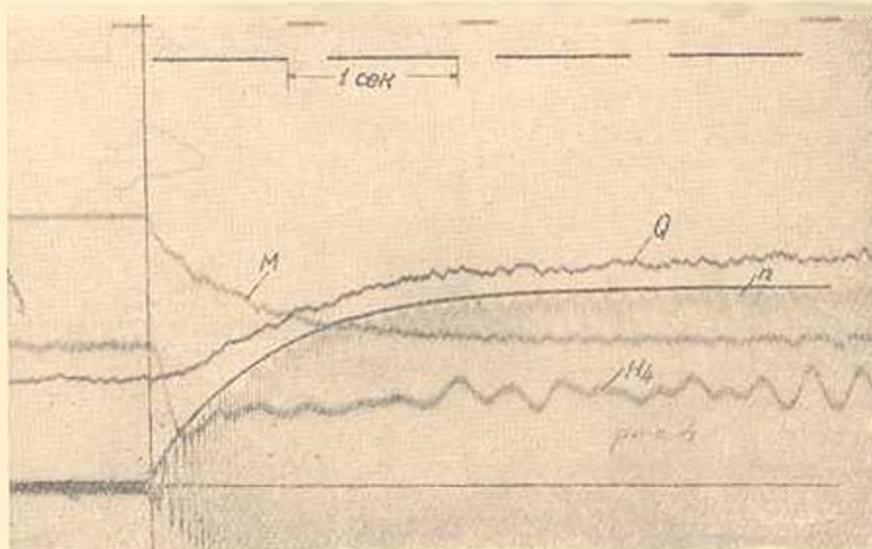


Рис. 4.

На рис. 4 представлен образец оциллограммы с записью расхода.