

Лабораторная работа № 1

ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА УРОВНЯ ВОДЫ

Продолжительность работы — 2 ч

Цель работы: 1. Изучение стенда для экспериментальных исследований устройств и систем автоматического регулирования;
2. Изучение потенциометрического датчика уровня (назначение, устройство, характеристики);
3. Экспериментальное исследование характеристик датчика.

Материалы для выполнения работы: ГОСТ 8.417–2002 «Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин».

2.1. Теоретические сведения

Среди множества разнообразных элементов автоматики особое место занимают первичные преобразователи или датчики. Первичным это устройство называют потому, что датчик является первым из элементов в системах автоматического регулирования, получающим и перерабатывающим информацию о текущем состоянии объекта регулирования.

Датчики применяют для измерения параметров технологического процесса. Основная функция датчика – преобразование параметра процесса (регулируемой величины) в какой-либо сигнал – электрический, механический, гидравлический и др.

Датчик является составной частью регулятора. Иногда в системах автоматического регулирования используется не один, а несколько датчиков.

В настоящее время известны множество явлений, эффектов, видов преобразования свойств и энергии, которые используются в датчиках.

Основной характеристикой датчика является статическая характеристика, которая представляет собой зависимость между преобразуемой (входной) и преобразованной (выходной) величиной. Статическая характеристика датчика может представляться аналитическим выражением, графиком, таблицей.

В практике автоматизации технологических процессов достаточно распространенной является задача измерения линейных и угловых перемещений. Широкое применение при этом находят потенциометрические (реостатные) датчики, которые предназначены для преобразования механического (линейного или углового) перемещения в электрическую величину в виде напряжения.

Потенциометрический датчик представляет собой реостат, величина сопротивления которого изменяется при перемещении скользящего движка. Проводник реостата может представлять собой тонкую проволоку с высоким

удельным сопротивлением, намотанную на диэлектрический каркас, а может быть выполнен нанесением гальваническим способом или плазменным напылением на диэлектрическую пластину металлографического состава.

На рисунке 1.1 приведены схемы потенциометрического датчика уровня поплавкового типа (такой датчик установлен на стенде).

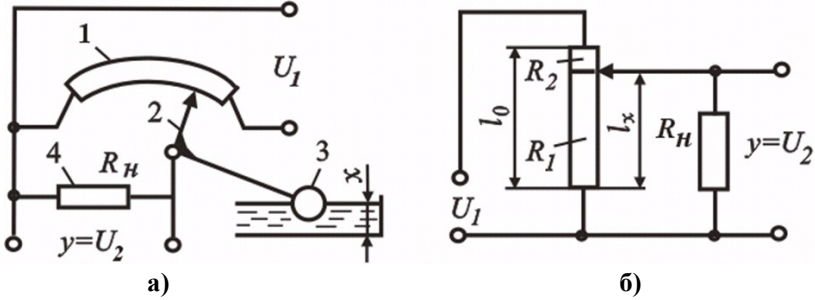


Рисунок 1.1 – Схемы потенциометрического датчика

а – датчик уровня поплавкового типа

б – расчетная электрическая схема преобразователя датчика

Чувствительным элементом датчика является поплавок 3. В датчике можно выделить два преобразующих элемента. Первый преобразует изменение положения поплавка x в отклонение движка 2 потенциометра 1, включенного в электрическую цепь с напряжением питания U_1 . При перемещении движка потенциометра изменяется напряжение U_2 на резисторе нагрузки 4. Следовательно, второй преобразующий элемент датчика преобразует сигнал перемещения движка в выходной сигнал датчика – напряжение U_2 . В результате датчик выдает унифицированный аналоговый электрический сигнал.

Схема электрического преобразователя поплавкового датчика показана на рисунке 1.1, б. Применяя законы Ома и Кирхгофа для соответствующих элементов электрической цепи, находим:

$$U_2 = \frac{R_1}{R_2} \frac{1}{1 + R_1 R_2 / (R_0 R_H)}. \quad (1.1)$$

где R_0 – полное сопротивление потенциометра, $R_0 = R_1 + R_2$;

R_1, R_2 – сопротивления плеч потенциометра, отделяемых его движком;

R_H – сопротивление резистора нагрузки.

Если выбрать сопротивление нагрузки R_H гораздо больше полного сопротивления потенциометра R_0 , то характеристика преобразователя будет практически линейной:

$$U_2 = U_1 \frac{R_1}{R_2} = U_1 \frac{l_x}{l_0}, \quad (1.2)$$

Где l_x – длина плеча потенциометра, соответствующая измеряемой величине

х;

l_0 – длина потенциометра.

Можно подобрать плечи рычага, связывающего поплавков с движком потенциометра так, чтобы в требуемом диапазоне измерения уровня жидкости х связь между l_x и х будет линейной: $l_x = k_1 x$, где k_1 – коэффициент передачи первого преобразующего элемента – двухплечего рычага. Статическая характеристика потенциометрического датчика уровня в этом случае будет линейной:

$$y = k x, \quad (1.3)$$

где $y=U_2$; $k=k_1 k_2$, здесь k_2 – коэффициент передачи второго преобразующего элемента – потенциометра.

Важной характеристикой датчика является чувствительность, которая представляет собой первую производную выходной величины (напряжения U_2) по перемещению поплавка х (входной величине), то есть

$$k_r = k_1 \frac{U_1}{l_0}. \quad (1.4)$$

Таким образом, чувствительность k_r можно рассматривать как коэффициент усиления датчика.

Рассмотренный потенциометрический датчик по принципу действия относится к параметрическим (под действием входного сигнала изменяется сопротивление потенциометра), а по физической природе элементов – к электромеханическим.

При проведении исследований потенциометрических датчиков часто одновременно со статической характеристикой $U_2=f_1(x)$ определяют его вольт-амперную характеристику (ВАХ), которая представляет собой зависимость $I=f_2(U_2)$, где I – ток в цепи нагрузки R_H . Следует отметить, что вольт-амперная характеристика является по сравнению со статической характеристикой менее информативной, поскольку зависимость $I=f_2(U_2)$ изменяется с изменением сопротивления нагрузки R_H , то есть для каждого значения R_H существует своя ВАХ.

Напряжение питания потенциометрического датчика (U_1) может быть как постоянным, так и переменным.

2.2 Экспериментальная установка

Стенд предназначен для проведения экспериментальных исследований двух основных видов систем автоматического регулирования (САР), применяемых в настоящее время в водоснабжении:

- 1 С регулированием по уровню;
- 2 С регулированием по давлению.

Кроме того, на стенде имеется возможность проводить исследования отдельных устройств, используемых при автоматизации водоснабжения. На стенде можно:

- 1 Определять характеристики потенциометрического датчика уровня (ДУ);
- 2 Определять характеристики электромагнитного реле;
- 3 Определять рабочие характеристики центробежного насоса;
- 4 Определять различными способами расход жидкости;
- 5 Изучать устройство реле давления и приборов для измерения температуры и давления, определять пороги срабатывания реле давления, проводить измерения температуры и давления.

Общий вид стенда представлен на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Общий вид стенда

Стенд состоит из следующих основных устройств:

- 1 – насосная установка, в состав которой входят центробежный насос (Н) и однофазный приводной электродвигатель;
- 2 – пневматический бак (ПБ);

- 3 – модуль гидравлического управления (МГУ);
- 4 – модуль электрического управления;
- 5 – гидробак верхний (Б2);
- 6 – потенциометрический датчик уровня (ДУ);
- 7 – указатель уровня воды в верхнем гидробаке (УУ);
- 8 – гидробак нижний (Б1);
- 9 – указатель уровня воды в нижнем гидробаке (заменен на трубчатый указатель);
- 10 – рама стенда.

(В скобках приведены обозначения устройств, принятые ниже на гидравлической схеме).

Номинальная мощность электродвигателя – 600 Вт. Тип насоса – КРМ 80.

Модули гидравлического и электрического управления, представляющие собой конструктивно законченные устройства, предназначены для управления, измерения регистрируемых величин и контроля за работой стенда.

На рисунке 1.3 приведена гидравлическая схема стенда (эта же схема показана на передней панели модуля гидравлического управления). В корпусе модуля гидравлического управления установлены все устройства, которые на гидравлической схеме (рисунок 1.3) изображены внутри прямоугольника, выделенного штрихпунктирной линией. Это следующие устройства:

- КО – клапан обратный;
- РД – реле давления;
- В1...В5 – вентили;
- П – имитатор потребителей воды;
- Т – датчик температуры;
- РА – расходомер;
- МН – манометр.

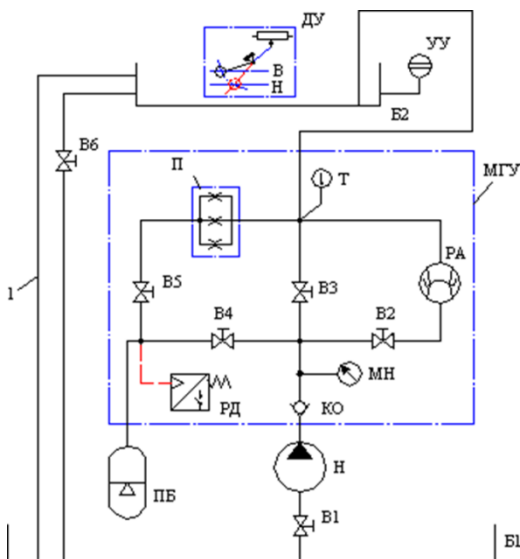


Рисунок 1.3 – Схема гидравлическая стенда

Обратный клапан в напорную линию насоса установлен с целью предотвращения утечек воды из пневматического бака ПБ через неработающий гидронасос Н в нижний гидробак Б1.

Вентиль В1 установлен во всасывающем трубопроводе, соединяющем нижний гидробак с насосом. Этот вентиль в процессе эксплуатации стенда всегда открыт. Закрывают вентиль при демонтаже насоса и проведении ремонтных работ. Вентиль В6 установлен в трубопроводе, соединяющем верхний и нижний гидробаки.

В дно верхнего гидробака вварена труба перелива (гидролиния 1 на рисунке 1.3) с большим внутренним диаметром. Перелив предусмотрен на высоте 0,26 м от дна верхнего гидробака. То есть максимальный уровень воды в верхнем гидробаке примерно 0,26 м. Вода из верхнего гидробака через трубу перелива перетекает в нижний гидробак. Благодаря этому при любых ситуациях, которые только могут возникнуть при работе стенда, в нижнем гидробаке всегда есть вода, что предотвращает выход из строя гидронасоса Н, так как работа насоса всухую невозможна.

Электрическая схема стенда приведена на рисунке 1.4 (эта же схема показана на передней панели модуля электрического управления). На схеме обозначено:

ДУ – потенциометрический датчик уровня (установлен в верхнем гидробаке, поз. 6 на рисунке 1.2);

ЭМР – электромагнитное реле;

РД – реле давления (установлено в корпусе модуля гидравлического управления);

ЭД – электродвигатель привода гидронасоса;

РН – сопротивление нагрузки;

А, V, W – амперметр, вольтметр, ваттметр соответственно; HL2 – лампочка световой индикации.

Напряжение питания электрической системы 220 В, ток переменный, 50 Гц. Напряжение питания потенциометрического датчика уровня – 12 В, ток постоянный.

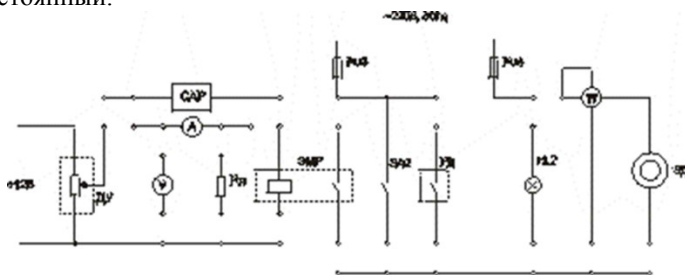


Рисунок 1.4 – Электрическая схема стенда

На передней панели стенда также установлен электронный секундомер:

- СЕК – цифровое табло секундомера (трехразрядное);
- Вкл., Счет, Сброс – кнопки управления секундомером (Вкл. – включение питания; Счет – включение и выключение секундомера; Сброс – сброс показаний цифрового табло).

Внимание: при работе секундомера (когда идет подсчет времени) запрещается нажимать кнопку “Сброс”.

В нижнем правом углу панели модуля электрического управления установлен прибор, регистрирующий температуру рабочей жидкости (Т, °С).

В линиях питания электрической системы стенда (на входе) установлены предохранители FU1, FU2, FU3 и FU4, а также предусмотрена световая индикация исправности электрической системы (HL1).

Структурирование электрической системы стенда, которое необходимо выполнять перед началом каждой новой лабораторной работы, осуществляется путем установки перемычек со штекерами в гнезда, установленные на передней панели модуля электрического управления. Установка перемычек производится в соответствии со схемой электрических соединений, приводимой в методических указаниях к каждой лабораторной работе. Места установки перемычек на схемах отмечены “жирной” штриховой линией.

Включение питания стенда осуществляется путем установки тумблера «СЕТЬ» в верхнее положение. Тумблер расположен в верхнем левом углу передней панели модуля электрического управления.

Перед началом работы на стенде необходимо:

- 1 Заправить нижний гидробак стенда водой. Для этого необходимо снять

крышку (с установленным на ней модулем электрического управления) верхнего гидробака и через трубу перелива заполнить нижний гидробак. Заправка бака осуществляется до верхней отметки указателя уровня, установленного в нижнем гидробаке (поз. 9, рисунок 1.2).

2 Заземлить корпус стенда.

2.3 Проведение испытаний

1.3.1 Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

1 С помощью перемычек со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рисунком 1.5 (на передней панели модуля электрического управления).

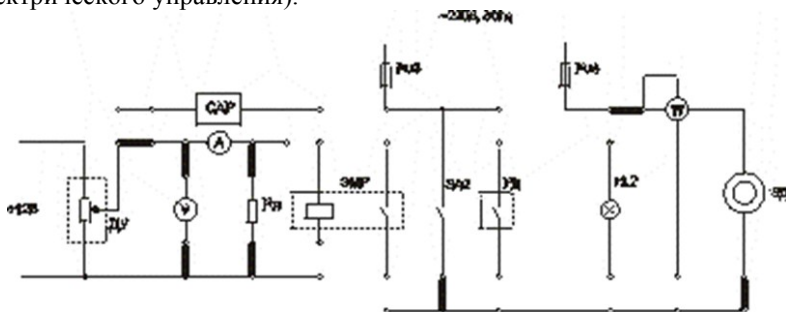


Рисунок 1.5 – Схема электрических соединений (к лабораторной работе №1)

2 Убедиться по указателю уровня 7 (рисунок 1.2), что в верхнем баке (поз. 5) отсутствует вода. Если верхний бак заполнен водой, то, открыв вентиль 6, необходимо слить воду из верхнего бака в нижний бак (поз. 8). Вентиль В6 открыт, когда рукоятка управления установлена параллельно оси трубопровода. После слива воды из верхнего гидробака вентиль 6 необходимо закрыть.

3 На модуле гидравлического управления вентиль В3 открыть, а вентили В2, В4 и В5 – закрыть (закрытие вентилей осуществляется путем вращения маховичка управления по часовой стрелке, а открытие – вращением против часовой стрелки). При управлении вентилями рекомендуется не прикладывать больших усилий).

2.3.2 Методика испытаний

После выполнения условий, описанных в п. 1.4.1, необходимо:

1 Включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение.

2 Провести экспериментальные исследования характеристик потенциометрического датчика при заполнении верхнего гидробака стенда. При этом, периодически включая и выключая насос с помощью выключателя SA2,

установленного на электродвигателе, заполнить верхний гидробак до уровня, при котором начнется перелив воды из верхнего гидробака в нижний. Во время выключения насоса необходимо фиксировать:

- координату x – уровень воды в верхнем баке (по шкале указателя уровня). Нижнее деление указателя уровня принять за нулевое;
- напряжение U_2 (по вольтметру);
- силу тока I (по амперметру).

Первое отключение насоса желательно выполнить в тот момент, когда уровень воды в стеклянной трубке совпадет с нулевым делением указателя. Дальнейшие отключения насоса производить примерно через каждые десять делений. Таким образом, при управлении насосом необходимо следить за уровнем воды в верхнем гидробаке.

Результаты измерений занести в таблицу 1.1.

3. После максимального заполнения верхнего гидробака отключить насос и, приоткрывая вентиль В6 и перепуская воду из верхнего бака в нижний, произвести исследования характеристик потенциометрического датчика, но уже не при заполнении, а при опорожнении верхнего гидробака. Измерения необходимо производить при закрытом вентиле В6. Результаты измерений занести в таблицу 1.2, которая отличается от таблицы 1.1 только названием и поэтому в методических указаниях не приводится (название таблицы

1.2 следующее: «Результаты исследований потенциометрического датчика при опорожнении бака»).

Таблица 1.1 – Результаты исследований потенциометрического датчика при заполнении бака

| Номер измерения | x – уровень воды в баке | | U_2 – напряжение на выходе датчика, В | I – сила тока в цепи нагрузки, мА |
|-----------------|---------------------------|---------------|---|-------------------------------------|
| | в делениях | в миллиметрах | | |
| 1 ... 6 | | | | |

После проведения всех измерений необходимо отключить электрическое питание стенда и снять перемычки со штекерами с модуля электрического управления.

2.4 Обработка результатов

Особой обработки результатов экспериментов в данной работе не требуется. Единственное, что необходимо учесть:

1 По указателю уровня воды в верхнем баке:

1 дел = 4,6 мм = 1 л (одно деление равно 4,6 миллиметрам или одному литру);

2 Предел измерения вольтметра равен 10 В, то есть, чтобы получить значение напряжения в вольтах, необходимо показание прибора умножить на 0,1;

3 Предел измерения амперметра – 1 мА.

По результатам экспериментов необходимо построить графические зависимости: $U_2=f(x)$ и $I=f(U_2)$. Графические зависимости при за- полнении и опорожнении бака строить в одной системе координат с тем, чтобы выявить наличие гистерезиса в статических характеристиках датчика.

2.5 Контрольные вопросы

1. Стенд для экспериментальных исследований устройств и систем автоматического регулирования: назначение, схемы (гидравлическая и электрическая), информационно-измерительная система, устройство, управление.

2. Назначение датчиков, используемых в системах автоматического регулирования. Назначение и устройство потенциметрических датчиков.

3. Какие характеристики датчиков называют статическими? Какие статические характеристики у потенциметрического датчика уровня поплавкового типа? Назначение статических характеристик.

4. Методика определения статических и вольт-амперных характеристик потенциметрического датчика.

5. Чем объяснить наличие гистерезиса в статических характеристиках потенциметрического датчика?

Лабораторная работа № 2

ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАНОМЕТРА

Продолжительность работы — 2 ч

Цель работы: 1 Получение навыков работы с манометром давления.

2 Изучение устройства и исследование характеристик реле давления, расчет погрешности прибора.

Материалы для выполнения работы: описание лабораторной установки приводится дополнительно в зависимости от конкретного задания на выполняемый эксперимент. В качестве образцового манометра можно использовать датчик давления с классом точности 0,5 %.

4.1. Теоретические сведения

Давление - наиболее распространенный измеряемый параметр, одна из основных величин, определяющих термодинамическое состояние вещества.

Давлением называют отношение силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности. Давление как физическая величина определяется в виде энергии вещества (жидкость или газ), отнесенной к единице объема, и является наряду с температурой основным параметром его физического состояния. Воздействие давления вещества на внешний объект проявляется в виде силы F , действующей на единицу площади S , т. е. $P = F/S$.

Различают следующие виды давления: атмосферное; абсолютное; избыточное; вакуумметрическое (разрежение).

Атмосферное (барометрическое) давление $P_{\text{атм}}$ – это давление, создаваемое массой воздушного столба атмосферы.

Абсолютное давление $P_{\text{абс}}$ – давление, отсчитанное от абсолютного нуля. За начало отсчёта абсолютного давления принимают давление внутри сосуда, из которого полностью откачан воздух. Также под абсолютным давлением понимается полное давление, которое равно сумме атмосферного и избыточного: $P_{\text{абс}} = P_{\text{и}} + P_{\text{атм}}$.

Избыточное давление – разность между абсолютным и атмосферным давлением: $P_{\text{и}} = P_{\text{абс}} - P_{\text{атм}}$, - избыточное давление всегда выше атмосферного.

Вакуумметрическое (разрежение) - разность между атмосферным и абсолютным давлением: $P_{\text{в}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}}$, - вакуумметрическое давление всегда ниже атмосферного.

В международной системе единиц (СИ) за единицу давления принят Паскаль (Па) – давление, создаваемое силой в 1 Ньютон (Н), равномерно распределённой по поверхности площадью в один квадратный метр ($1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$) и направлена перпендикулярно к ней.

Широко применяют кратные единицы кПа и МПа.

Приборы измерения давления в зависимости от измеряемой величины разделяют на следующие типы:

1. Манометры (для измерения избыточного или абсолютного давления);
2. Барометры (для измерения атмосферного давления);
3. Вакуумметры (для измерения вакуумметрического давления);
4. Дифференциальные манометры (дифманометры), предназначенные для измерения разности давлений.

Манометры, предназначенные для измерения малых значений, имеют следующие названия:

1. Напоромеры - для измерения избыточных давлений до 40 кПа;
2. Тягомеры- для измерения малых вакуумметрических давлений до 40 кПа;
3. Тягонапоромеры - приборы давления, имеющие двустороннюю шкалу с пределами измерения ± 20 кПа (значение «ноль» на шкале соответствует атмосферному давлению).

По принципу действия чувствительного элемента приборы для измерения давления разделяют на:

1. Жидкостные - приборы, в которых измеряемое давление уравнивается весом столба жидкости, а изменение уровня жидкости в сообщающихся сосудах служит мерой давления, называются жидкостными;

2. Грузопоршневые - приборы, в которых измеряемое давление уравнивается усилием, создаваемым калиброванными грузами, воздействующими на свободно передвигающийся в цилиндре поршень;

3. Пружинные (деформационные) - приборы, в которых измеряемое давление уравнивается силами упругости пружины, деформация которой служит мерой давления;

4. Приборы с дистанционной передачей показаний (датчики) - приборы, в которых используются изменения тех или иных электрических свойств вещества (электрического сопротивления проводников, электрической емкости, возникновение электрических зарядов на поверхности кристаллических минералов и др.) под действием измеряемого давления.

По метрологическому назначению манометры делятся на образцовые и рабочие. Образцовыми измерительными приборами называются устройства, предназначенные для проверки других измерительных приборов.

Образцовые манометры имеют следующие классы точности: 0,05; 0,2 - грузопоршневые манометры; 0,16; 0,25; 0,4 — пружинные манометры. Рабочими измерительными приборами называются все измерительные приборы, служащие для непосредственных измерений.

Рабочие манометры имеют классы точности 0,4; 0,6; 1; 1,5; 2,5; 4. Метод и средства измерений давления выбирают в зависимости от значений требуемой точности, условий проведения измерений, диапазона измеряемых величин давлений, способов отбора давления и его подвода к измерительным приборам.

Исходя из надежности работы приборов, конечное значение их шкалы выбирают таким, чтобы оно превышало измеряемую величину при стабильном давлении в 1,5 раза, а при колеблющемся — в 2 раза. В обоих случаях минимальное измеряемое давление должно быть не меньше 1/3 диапазона шкалы прибора. Показания манометров с упругими чувствительными элементами зависят от температуры, поэтому их устанавливают так, чтобы исключить влияние температуры измеряемой и окружающей среды. Дополнительная погрешность этих манометров составляет 0,4 % на каждые 10 °С.

Манометры применяют для прямого измерения давления с отображением его значения непосредственно на шкале, табло или индикаторе первичного измерительного прибора. Стрелочные деформационные манометры. В настоящем стенде применены пружинные деформационные манометры, различающиеся классом точности: манометр 1 (M1) классом точности 0,6 % и манометр 2 (M2) классом точности 1,0 %. Манометры установлены на лицевой панели стенда и подключены к ресиверу измерений. Устройство манометра представлено на рис. 4.1:

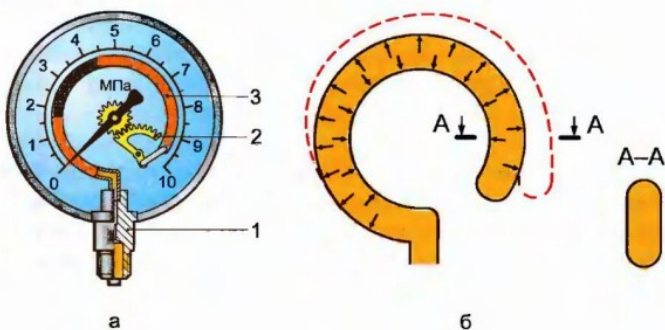


Рис. 4.1. Конструкция манометра с трубкой Бурдона

1 – штуцер, 2 – зубчатый сектор, 3 – тонкостенная трубка Бурдона

Чувствительным элементом пружинных манометров является трубка Бурдона (3) - полая латунная трубка эллиптического или овального сечения, согнутая по дуге и запаянная с одного конца. С другого конца трубка приварена к штуцеру (1), к которому подводится измеряемое давление. Запаянный (свободный) конец пружины шарнирно соединен с поводком. Давление действует на внутреннюю поверхность трубки Бурдона. Из-за разности площадей, на которые воздействует давление среды, трубка будет стремиться распрямиться. Получается, что при увеличении давления латунная трубка разгибается (рис. 4.1), ее свободный конец перемещается относительно первоначального положения. При перемещении свободного конца пружины поводок поворачивает зубчатый сектор (2), который в свою очередь вращает шестерню, на одной оси с которой закреплена показывающая стрелка. Величина смещения пропорциональна величине приложенного давления и по положению стрелки на градуированной шкале может быть считана. Класс точности манометра – это отраженная в процентах наибольшая допустимая относительная погрешность, приведенная к его диапазону измерений.

Важнейшей характеристикой манометра является класс точности (указывается на циферблате). Промышленные манометры бывают следующих классов точности: 0,6; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Допустимую погрешность измерения давления манометром определяют из следующего выражения:

$$\delta = \frac{K \Pi}{100}, \quad (4.1)$$

где K – класс точности манометра;

Π – верхний предел измерения давления.

Датчики давления тензорезистивного типа

Основной принцип преобразования давления в датчиках давления (ДД) – тензометрический. Чувствительным элементом является «мост Уитстона» из тензорезисторов, напыленных на мембрану из различного материала. Под действием измеряемого давления мембрана деформируется, тензорезисторы меняют величину своего сопротивления, нормирующий преобразователь преобразует разбалансировку «моста» в выходной сигнал с заданной погрешностью.

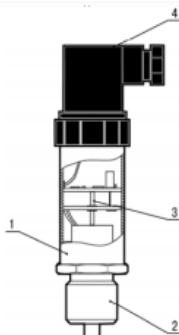


Рис. 4.2. Внешний вид датчика давления тензорезистивного типа

1 – корпус, 2 – штуцер, 3 – нормирующий преобразователь, 4 – кабельный ввод.

В описанном датчике использован сенсор КНК в корпусе из нержавеющей стали (рис. 4.2, 4.3). Технология КНК («кремний-на-кремнии») основана на изготовлении сенсора из монокристалла кремния с нанесенным на него методом диффузии тензорезистивным мостом.



Сенсор КНК с мембраной из нержавеющей стали

Рис. 4.3. Внешний вид сенсора КНК и место ее установки в датчике

ДД обеспечивают непрерывное преобразование измеряемого давления (абсолютного, избыточного, дифференциального, разрежения,

гидростатического и избыточного - вакуумметрического) нейтральных и неагрессивных (по отношению к контактирующим с ними материалам) сред в унифицированный токовый выходной сигнал 4-20 мА (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Место установки датчиков давления на трубопроводе

Датчики давления, имеющие вторичные преобразователи контактного типа, по сути, являются реле давления. Под реле давления обычно понимают устройства, выдающие информацию или в виде механического перемещения выходного звена или в виде электрического сигнала при достижении в гидрелинии заданного давления. Обычно реле давления выполняют в виде устройства, содержащего миниатюрный гидродвигатель с поступательным движением ведомого звена (гидроцилиндр, мембрана или сильфон), который в одну сторону перемещается под действием давления жидкости или газа, а в другую возвращается под действием возвратной пружины. Ведомое звено гидродвигателя очень часто управляет электрическими контактами.

На рисунке 4.5 показана схема реле давления, используемого на стенде для управления электродвигателем насосной установки.

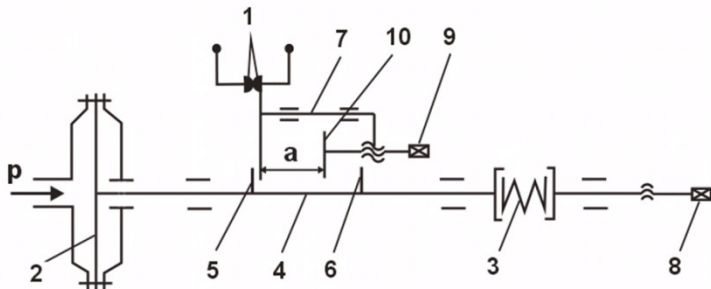


Рисунок 5.5 – Схема реле давления

Реле давления имеет постоянно замкнутые контакты 1. При увеличении давления p до давления, равного верхнему порогу срабатывания $p_{верх}$, диафрагма 2 перемещается вправо, сжимая пружину 3, и размыкает контакты 1, установленные в цепи управления электродвигателем, что приводит к отключению насосной установки. Воздействие от диафрагмы на пружину 3 и контакты 1 передается через толкатель 4 и упор 5, закрепленный на толкателе. При уменьшении давления p диафрагма 2 с толкателем 4 под действием пружины 3 перемещаются влево, однако это не приводит к замыканию контактов 1 до тех пор, пока давление p не достигнет нижнего значения $p_{ниж}$ (при этом упор 6, действуя на верхнюю рычажную систему 7, замкнет контакты 1, что приведет к включению насосной установки).

При воздействии на винт 8 и изменении усилия пружины 3 изменяется $p_{верх}$ – давление, при котором отключается насосная установка. При воздействии на винт 9 и перемещении упора 10 изменяется $p_{ниж}$ – давление, при котором включается насосная установка. Причем, при уменьшении размера a снижается $p_{ниж}$.

4.2. Экспериментальная часть

Описание экспериментальной установки приведено в подразделе 2.3.

Объектом испытаний является реле давления, которое используется на стенде для управления однофазным электродвигателем. Исследуемое реле давления установлено внутри модуля гидравлического управления.

4.3 Проведение испытаний

4.3.1 Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

1. С помощью переключателей со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рисунком 4.6 (на передней панели модуля электрического управления).

| | | | | |
|---|--|--|--|--|
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |

Необходимо также зафиксировать температуру воды t (предел измерения прибором температуры – 100 °С).

После проведения всех опытов необходимо отключить электрическое питание стенда и снять перемычки со штекерами с модуля электрического управления.

4.4. Обработка результатов

1. Используя результаты измерения давления, необходимо определить средние арифметические значения верхнего $p_{\text{верх}}^{\text{ср}}$ и нижнего $p_{\text{ниж}}^{\text{ср}}$ порогов срабатывания реле давления.

2. Необходимо также, используя выражение (5.2), определить допустимую погрешность измерения давления манометром, установленным на стенде.

4.5. Контрольные вопросы

1. Классификация, устройство, принцип действия, достоинства и недостатки, области применения датчиков для измерения температуры.

2. Классификация, устройство, принцип действия, достоинства и недостатки, области применения датчиков для измерения давления.

3. Назначение и устройство реле давления.

4. Методика экспериментальных исследований реле давления.

Лабораторная работа № 3

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ 30 ИЗМЕРЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ

Продолжительность работы — 2 ч

Цель работы: изучить характеристики качества измерений и простейшие способы их оценивания при выполнении многократных измерений с применением разных методик выполнения измерений в различных лабораториях. Получить серию из 30 измерений указанной преподавателем величины, провести статистическую обработку полученных результатов.

Материалы для выполнения работы: описание лабораторной установки приводится дополнительно в зависимости от конкретного задания на выполняемый эксперимент.

5.1. Теоретические сведения

Измерение физической величины – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде)

измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины. Для описания точности метода измерений в современной метрологической практике применяется серия стандартов СТБ ИСО 5725 (часть 1-6), во всех частях которых применяются два термина: «правильность» и «прецизионность».

«Правильность» касается близости между средним арифметическим значением большого числа результатов испытаний и истинным или принятым эталонным значением. «Прецизионность» касается близости между результатами испытаний.

Необходимость принятия во внимание «прецизионности» возникает из-за того, что испытания или измерения, выполняемые на предположительно идентичных материалах при предположительно идентичных обстоятельствах, обычно не дают тождественно равных результатов. Это дает основания говорить о неопределенности измерительной информации.

Неопределенность информации, полученной при измерении конкретной физической величины с многократными наблюдениями, зависит от множества объективных и субъективных причин. На неопределенность измерений оказывают влияние:

- использованные технические ресурсы (средства измерений, меры и др.);

- операторы;

- условия окружающей среды (температура, влажность, напряжение питающей сети и т. д.);

- число наблюдений в серии;

- выбор гипотез о «законах распределения», выбор критериев согласия, уровней значимости при проверке гипотез по критериям согласия;

- выбор методов исключения наблюдений с явно выраженными грубыми погрешностями, выбор критериев статистического анализа «подозрительных» наблюдений и уровней значимости при проверке гипотез по этим критериям;

- выбор значения доверительной вероятности для описания результата измерений.

Для оценки качества измерений и получения его дифференцированных количественных оценок в метрологии часто используют такие свойства, как точность, правильность, прецизионность, повторяемость и воспроизводимость измерений. В лабораторной работе используем терминологию, применяемую в серии стандартов СТБ ИСО 5725 (часть 1–6).

Точность результата измерений (точность измерений) – одна из характеристик качества измерения, отражающая близость к нулю погрешности результата измерения.

Правильность измерений – близость среднего значения, полученного на основании большой серии результатов испытаний, к принятому эталонному значению величины. Является характеристикой качества измерений, отражающей близость к нулю систематических погрешностей в результатах.

Прецизионность – близость между независимыми результатами измерений,

полученными при определенных принятых условиях. Прецизионность зависит только от распределения случайных погрешностей и не связана ни с истинным значением, ни с заданным значением. Показатель прецизионности обычно выражают в терминах рассеяния и вычисляют как стандартное отклонение результатов испытаний. В международной практике и стандартах под термином «стандартное отклонение» понимается среднее квадратическое отклонение (СКО).

Повторяемость – прецизионность в условиях повторяемости. Условия повторяемости – условия, при которых независимые результаты испытаний получены одним методом на идентичных образцах испытаний в одной лаборатории одним оператором с использованием одного оборудования и за короткий интервал времени.

Стандартное отклонение повторяемости – стандартное отклонение результатов испытаний, полученных в условиях повторяемости. Предел повторяемости r – такое значение, что абсолютная разность между двумя результатами испытаний, полученными в условиях повторяемости, будет ожидаться меньше его или равной ему с вероятностью 95%.

Воспроизводимость – прецизионность в условиях воспроизводимости. Условия воспроизводимости – условия, при которых результаты испытаний получены одним методом на идентичных образцах испытаний в различных лабораториях, разными операторами с использованием различного оборудования. Стандартное отклонение воспроизводимости – стандартное отклонение результатов испытаний, полученных в условиях воспроизводимости.

Предел воспроизводимости R – такое значение, что абсолютная разность между двумя результатами испытаний, полученными в условиях воспроизводимости, будет ожидаться меньше его или равной ему с вероятностью 95 %. В соответствии с РМГ 29-99 применяется несколько другое определение воспроизводимости, которое не искажает сути понятия, а также используется такая характеристика качества измерений, как сходимость.

Сходимость результатов измерений – близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

Воспроизводимость результатов измерений – близость результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными методами, разными средствами, разными операторами, в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям измерений (температуре, давлению, влажности и др.).

Воспроизводимость измерений в разных сериях следует оценивать близостью средних значений, учитывая рассеяния (размахи результатов наблюдений или значения средних квадратических либо средних

арифметических погрешностей).

5.2. Определение воспроизводимости с использованием значений размахов результатов многократных измерений R'

При использовании значений размахов результатов многократных измерений R' для оценки сходимости нескольких серий измерений, параметр R'_i для каждой серии рассчитывают по формуле

$$R' = X_{max} - X_{min}. \quad (5.1)$$

Геометрическое представление размаха R' результатов измерений можно получить на точечной диаграмме результатов многократных измерений физической величины, которая строится в системе координат «номера наблюдений n_i – результаты наблюдений при измерениях X_i » (рисунок 6.1).

Идеальная точечная диаграмма (рисунок 5.1 а) представляет собой множество точек на одной высоте, соответствующей истинному значению измеряемой физической величины. Поскольку отсутствуют какие-либо тенденции изменения результатов – все точки лежат на прямой, параллельной оси абсцисс, можно говорить об отсутствии переменных систематических погрешностей. Отсутствие отклонений точек от этой прямой свидетельствует об отсутствии случайных погрешностей.

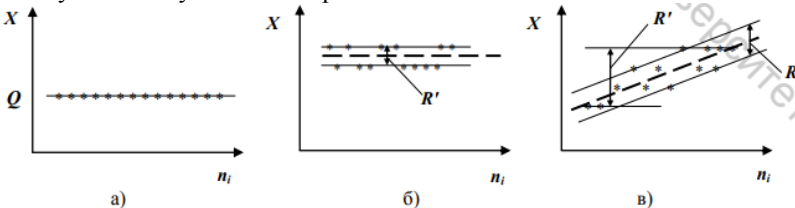


Рис 5.1 Точечные диаграммы результатов измерений с многократными наблюдениями

На рисунках 5.1 б, 5.1 в приведены диаграммы, отличающиеся от идеальных наличием погрешностей, которые ограничивают определенность измерительной информации. В качестве первичных оценок неопределенностей можно использовать размахи результатов в сериях. На рисунке 5.1 б очевидно отсутствует сходимость результатов в серии. Заметное рассеяние результатов наблюдений относительно возможной горизонтальной аппроксимирующей прямой (штриховая линия) можно оценить размахом R' .

Наличие устойчивой тенденции изменения (увеличения) результатов измерений на рисунке 5.1 в свидетельствует о влиянии на результаты измерений некоторых закономерно изменяющихся факторов, вызывающих систематические погрешности в серии (имеется очевидное нарушение правильности измерений).

На этой точечной диаграмме проведена наклонная аппроксимирующая

прямая (штриховая линия), соответствующая наблюдаемой тенденции. На диаграмме показаны два размаха результатов – общий размах R' , вызванный комплексным влиянием систематических и случайных воздействий, и размах R , определяемый случайными отклонениями результатов от аппроксимирующей линии (последний характеризует рассеяние, свободное от влияния систематических воздействий).

Выполнение нескольких серий измерений одной и той же физической величины с использованием разных методик выполнения измерений (МВИ) позволяет оценить воспроизводимость измерений.

На рисунке 5.2 представлены точечные диаграммы двух серий измерений, полученные при использовании двух разных МВИ. Диаграммы построены в одной координатной сетке с одинаковым масштабом, что позволяет непосредственно сопоставлять их размахи. На рисунке видно, что наблюдается низкая воспроизводимость измерений, поскольку не совпадают ни средние значения, ни размахи в сериях.

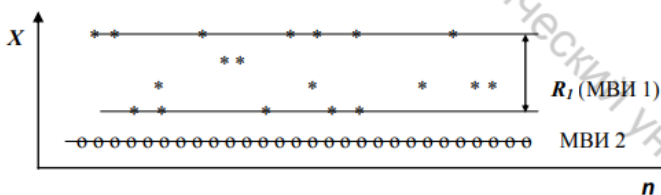


Рис 5.2 точечные диаграммы двух серий многократных измерений

5.3. Определение показателей воспроизводимости методом статистического анализа

При анализе точности выполненных измерений в различных лабораториях в первую очередь рассчитывают следующие оценки:

среднее значение каждой лаборатории (МВИ) \bar{y} и общее среднее $\bar{\bar{y}}$ между ними;

внутрилабораторная дисперсия (или дисперсия каждой МВИ) S_w^2 ,

$$S_w^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{y})^2}{n-1}, \quad (5.2)$$

где x_i - единичный результат измерения; n - количество результатов измерений в лаборатории (по МВИ);

дисперсия повторяемости S_r^2 – среднее арифметическое значений S_w^2 ;

межлабораторная дисперсия, отражающая изменчивость между МВИ (или операторами) S_L^2 ,

$$S_L^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (\bar{y} - \bar{\bar{y}})^2}{m-1}, \quad (5.3)$$

| | | | | | | | | | |
|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| МВИ2 | | | | | | | | | |
| МВИ3 | | | | | | | | | |

4. По результатам измерений постройте точечные диаграммы (можно совместить на одной диаграмме, обозначая результаты измерения каждой МВИ разными маркерами) в координатах «номер наблюдений n – результат измерения X_i и проведите анализ каждой серии и совместный анализ точечных диаграмм. По оси ординат диаграммы предпочтительно откладывать не результаты измерений, а отклонения результатов от среднего значения. Масштаб желательно выбрать таким, чтобы размах R' на диаграмме можно было оценить двумя значащими цифрами. Анализ результатов каждой отдельной серии включает оценку размахов результатов измерений и оценку наличия тенденции изменения. При наличии явно выраженной тенденции оценивают размах результатов R' (общий размах), затем на диаграмму наносят аппроксимирующую линию и оценивают размах отклонений от аппроксимирующей линии R , складывая по модулю максимальные отклонения от нее с противоположными знаками. Результаты анализа запишите в произвольной форме под соответствующими диаграммами. Оцените расхождение средних значений. Воспроизводимость измерений в трех сериях оцените по степени совпадения размахов и аппроксимирующих линий. При наличии в сериях отличающихся тенденций воспроизводимость, как правило, низкая, даже если результаты будут практически равномерно рассеянными ($R3 \approx R2 \approx R1$).

5. Рассчитайте необходимые оценки дисперсий.

6. Определите пределы повторяемости и воспроизводимости. Проведите анализ критических разностей результатов, полученных по МВИ2 и МВИ3. Сравните эти результаты с эталонным значением, в качестве которого принят результат, полученный с использованием МВИ1. Сделайте выводы о воспроизводимости результатов.

5.6. Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по данной работе должен содержать:

1. Результаты серий многократных измерений давления, как в таблице 5.1.
2. Совместную точечную диаграмму трех серий измерений с необходимыми обозначениями.
3. Результаты анализа воспроизводимости с применением метода графического анализа размахов и сделанные выводы.
4. Результаты вычисления дисперсий повторяемости и воспроизводимости, стандартных отклонений повторяемости и воспроизводимости, пределов повторяемости и воспроизводимости.
5. Результаты анализа и выводы о воспроизводимости результатов,

полученные методом статистической обработки.

Лабораторная работа № 4

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ДАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОМПРЕССОРА (ГИДРОАККУМУЛЯТОРА)

Продолжительность работы — 2 ч

Цель работы: 1 Изучение систем автоматического регулирования, используемых в водоснабжении, с принципом регулирования по давлению;

2 Экспериментальные исследования САР.

Материалы для выполнения работы: описание лабораторной установки приводится дополнительно в зависимости от конкретного задания на выполняемый эксперимент.

6.1 Теоретические сведения

Системы автоматического регулирования по уровню в водоснабжении применяются в основном в сельской местности. Основным отличительным признаком такого типа систем является наличие водонапорной башни.

САР с регулированием по давлению находят применение, в основном, в городах. В этом случае резервуары с водой не возвышаются над зданиями, как это имеет место в САР с регулированием по уровню, а, как правило, их располагают ниже уровня поверхности земли. Для создания избыточного давления используются компрессоры, с помощью которых нагнетается воздух в резервуары с водой.

В последнее время САР с регулированием по давлению находят также применение в водоснабжении отдельных потребителей (коттеджей, дачных участков и т.д.). Естественно, что в этом случае САР имеют небольшие размеры.

6.2. Экспериментальная установка

Функциональная схема исследуемой в работе системы представлена на рисунке 7.1.

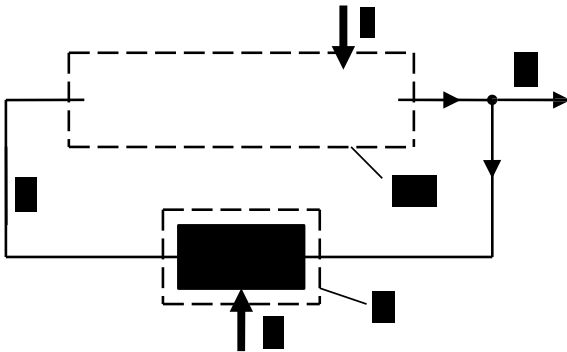


Рис. 6.1. Функциональная схема САР с регулированием по давлению

Как видно из рисунка 7.1, САР состоит из объекта регулирования ОР и регулятора Р. Основными устройствами, входящими в объект регулирования, являются пневматический бак ПБ (резервуар с водой) и насосная установка НУ, включающая центробежный насос с приводным однофазным электродвигателем.

Регулятором в данном случае является реле давления РД, схема которого приведена на рисунке 5.5. Реле давления управляет контактами, замыкающими и размыкающими электрическую цепь управления электродвигателем насосной установки.

Возмущающим воздействием z является расход воды потребителями.

Задающим воздействием x являются воздействия, направленные на регулирование верхнего и нижнего порогов срабатывания реле давления.

Пневматический бак представляет собой резервуар, разделенный водонепроницаемой упругой диафрагмой, по одну сторону которой находится вода, а по другую – воздух под давлением. Предусмотрена возможность изменения давления воздуха, для чего в корпус пневмобака установлен ниппель с золотником, имеющий такие же присоединительные размеры, как и ниппель с золотником автомобильного колеса (место установки ниппеля с золотником закрыто резиновой заглушкой).

Расход воды из пневматического бака на стенде осуществляется в верхний бак Б2 через трубопровод, в котором установлен вентиль. С помощью вентиля имеется возможность изменения сопротивления сети потребителей. Таким образом, с помощью трубопровода с установленным в нем вентилем и верхнего бака на стенде имитируется система потребления воды. Из верхнего бака вода затем перетекает в нижний бак, откуда затем всасывается насосом. Следует отметить, что гидравлическая схема стенда позволяет реализовывать различные варианты соединения пневматического бака с верхним гидробаком. При одном из вариантов соединения вода из пневматического бака поступает в верхний гидробак через расходомер РА.

6.3. Проведение испытаний

6.3.1. Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

1. С помощью перемычек со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рисунком 6.2 (на передней панели модуля электрического управления).

2. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В3 и В5 (закрытие вентилей осуществляется путем вращения маховичка управления по часовой стрелке). Вентиль В4 полностью открыть, также целесообразно открыть вентиль В6 (при этом рукоятка управления вентилем В6 должна быть установлена параллельно оси трубопровода).

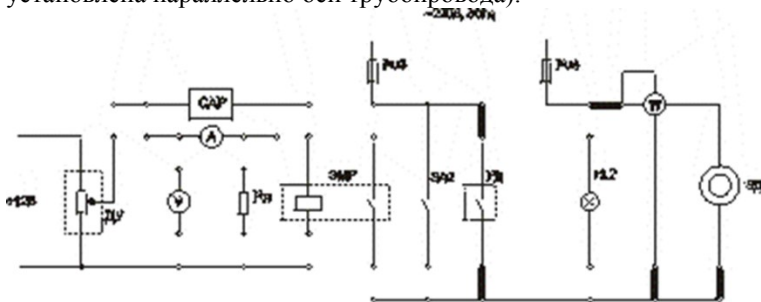


Рис. 6.2 – Схема электрических соединений

6.4.2 Методика испытаний

После выполнения условий, описанных в п. 7.4.1, необходимо:

1. Закрыть вентиль В2 и включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение. Насос начнет подавать воду в пневматический бак. При достижении давлением в баке значения, равного верхнему порогу срабатывания реле давления $r_{верх.i}$ насосная установка отключится. Необходимо зафиксировать по манометру значение $p_{верх.i}$, а также показание расходомера $V_{нач.i}$. Затем следует приоткрыть вентиль В2, при этом начнется процесс опорожнения пневматического бака в верхний бак и давление (см. по манометру) будет уменьшаться. При достижении давлением нижнего порога срабатывания реле давления $p_{ниж.i}$ насосная установка включится. В момент включения насосной установки необходимо зафиксировать $p_{ниж.i}$, а также показание расходомера $V_{кон.i}$. Результаты измерений необходимо занести в таблицу 7.1 и отключить электрическое питание стенда.

Опыты по п.1 необходимо повторить трижды.

2. Определить зависимость затрат электрической энергии от расхода воды потребителями. Для этого необходимо включить на модуле электрического управления питание электронного секундомера (нажать кнопку “Вкл”) и провести два опыта при различных степенях открытия вентилей В2. В первом

опыте вентиль В2 необходимо полностью открыть. Продолжительность каждого опыта рекомендуется ограничить пятью включениями (срабатываниями) насосной установки.

Таблица 7.1. Результаты исследований по определению параметров регулирования

| i – номер опыта | Пороговые значения давлений, кгс/см ² | | Показания расходомера, м ³ | | V _{пв.и} – объем пневматического бака, заполняемый водой, м ³ | V _{пв.ср} – среднее значение | Средние пороговые значения давлений, кгс/см ² | |
|-----------------|--|--------------------|---------------------------------------|--------------------|---|---------------------------------------|--|---------------------|
| | P _{верх.и} | P _{ниж.и} | V _{нач.и} | V _{кон.и} | | | P _{верх.ср} | P _{ниж.ср} |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |

3. Зафиксировать начальное показание скоростного расходомера (РА) $V_{нач}$. Тумблер на модуле электрического управления необходимо установить в положение “Пуск”. При этом насосная установка начнет подавать воду в пневматический бак и одновременно в верхний бак (к потребителям). Система будет работать в автоматическом режиме. Одновременно с включением насосной установки необходимо начать с помощью электронного секундомера отсчет времени, для чего следует нажать кнопку “Счет”. Опыт закончить в момент включения в шестой раз насосной установки. При этом следует, нажав кнопку “Пуск”, остановить секундомер и зафиксировать время проведения опыта $t_{он}$ и показание скоростного расходомера $V_{кон}$. Также при каждом срабатывании насосной установки необходимо (не останавливая секундомера) фиксировать время $t_{рк}$, в течение которого работает насосная установка, а также мощность $W_{эл.к}$, подаваемую на вход электродвигателя (для получения мощности в ваттах показания ваттметра W необходимо умножать на 10).

Результаты испытаний занести в таблицу 7.2

Таблица 7.2 – Результаты исследований САР

| Номер опыта | k – порядковый номер срабатывания насосной установки | $t_{р.к}$ – время работы насосной установки | $W_{эл.к}$ – потребляемая электродвигателем мощность, Вт | Показания расходомера | | $t_{оп}$ – продолжительность опыта, с | $Q_{ср}$ – средний расход воды, м ³ /с | A – потребляемая в течение опыта энергия, кВт·час |
|-------------|--|---|--|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| | | | | $V_{нач}$ – начальное, м ³ | $V_{кон}$ – конечное, м ³ | | | |
| 1 | 1 | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | |
| 2 | 1 | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | |

6.5 Обработка результатов

Объем пневматического бака, заполняемый водой

Объем пневматического бака, заполняемый водой

$$V_{пб.i} = V_{кон.i} - V_{нач.i}.$$

Среднее значение объема бака, заполняемого водой

$$V_{пб.ср} = \sum_{i=1}^3 V_{пб.i} / 3.$$

Средние пороговые значения давлений:

$$P_{верх.ср} = \sum_{i=1}^3 P_{верх.i} / 3;$$

$$P_{ниж.ср} = \sum_{i=1}^3 P_{ниж.i} / 3.$$

Средний расход воды (расход, подаваемый насосом в бак Б2, равен потребляемому расходу), то есть

$$Q_{ср} = \frac{V_{кон} - V_{нач}}{t_{оп}}.$$

Потребляемая в течении опыта энергия

$$A = \sum_{i=1}^3 W_{эл.к} t_{p.к}.$$

При вычислении A необходимо значение $W_{эл.к}$ подставлять в кВт, а $t_{p.к}$ – в часах.

Результаты вычислений необходимо занести в таблицу 7.2, а затем построить графическую зависимость $A = f(Q_{ср})$.

6.6 Контрольные вопросы

- 1 Какие устройства входят в состав объекта регулирования и регулятора?
- 2 Какие возмущающие и управляющие воздействия действуют на САР?

По какому параметру осуществляется регулирование?

3 Поясните методику экспериментальных исследований по определению параметров САР: пороговых значений давлений срабатывания, объема пневматического бака, заполняемого водой.

4 Как изменится объем пневматического бака, заполняемый водой, при увеличении и уменьшении давления воздуха в баке?

5 Поясните методику экспериментальных исследований САР по определению зависимости потребления энергии насосной установкой от расхода воды потребителями.

Лабораторная работа № 5

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В НАПОРНОМ БАКЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ 30 ЦИКЛОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Продолжительность работы — 2 ч

Цель работы: 1 Изучение системы автоматического регулирования с регулированием по уровню;

- 2 Экспериментальные исследования САР.

Материалы для выполнения работы: описание лабораторной установки приводится дополнительно в зависимости от конкретного задания на выполняемый эксперимент.

10.1 Теоретические сведения

Системой автоматического регулирования (САР) называют совокупность взаимодействующих в процессе работы элементов, предназначенных для поддержания значения регулируемой величины (координаты) в заданных пределах.

Автоматическое регулирование является разновидностью автоматического управления.

На рисунке 10.1 представлена функциональная схема САР с регулированием

по отклонению. САР состоит из объекта регулирования ОР и регулятора Р.6.2.

Функциональная схема исследуемой в работе системы представлена на рисунке 10.1.

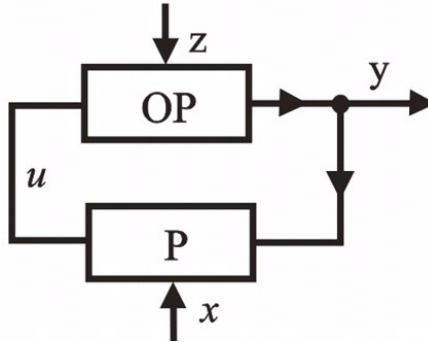


Рис. 10.1. Функциональная схема САР с регулированием по уровню

Все воздействия, приложенные к элементам системы, можно разделить на внешние и внутренние.

Внешние воздействия, в свою очередь, делятся на возмущающие z и задающие x . Возмущающие воздействия приложены к объекту регулирования ОР. Внешние воздействия на САР часто называют входными величинами.

Величину, по которой осуществляется регулирование, называют регулируемой или выходной величиной (обозначена на рисунке 10.1 буквой “ y ”).

Воздействия, передаваемые от одного элемента системы к другому, являются внутренними воздействиями системы. Примером внутреннего воздействия в системе на рисунке 6.1 является управляющее воздействие u , вырабатываемое регулятором Р под влиянием задающего воздействия x и регулируемой величины y .

Если к системе приложена одна входная величина, а регулирование осуществляется по одной выходной (регулируемой) величине, то такую САР называют одномерной.

В приведенной схеме САР реализуется принцип регулирования по отклонению, так как алгоритм регулирования формируется в зависимости от отклонения регулируемой величины y относительно заданного ее значения x . Управляющее воздействие формируется только при условии $\Delta = x - y \neq 0$, то есть при возникновении отклонения Δ . В этом случае

$$u = f(x - y). \quad (10.1)$$

Для измерения отклонения Δ и формирования управляющего воздействия u в схему (рисунок 10.1) введена обратная связь. Если в обратную связь включен регулятор (как это имеет место в рассматриваемом случае), то такую обратную

связь называют главной. В рассматриваемой САР обратная связь является отрицательной, поскольку, как видно из формулы (10.1), регулируемая величина y и управляющее воздействие u – величины, противоположные по знаку.

Преимуществом принципа регулирования по отклонению является то, что управляющее воздействие формируется независимо от того, какая причина вызвала отклонение регулируемой величины. В этом случае нет необходимости анализировать возмущающие воздействия и выяснять, какое из них привело к отклонению.

Недостатком регулирования по отклонению является то, что управляющее воздействие формируется только после того, как возникнет ошибка $\Delta = x - y$ в выполнении заданного алгоритма функционирования системы.

На стенде имеется возможность проводить экспериментальные исследования двух типов наиболее распространенных в водоснабжении САР с регулированием по отклонению (уровня и давления).

10.3 Экспериментальная установка

Описание экспериментальной установки приведено в подразделе 2.2.

Объектом исследования в данной лабораторной работе является САР с регулированием по уровню.

Объектом регулирования (ОР) является верхний гидробак стенда Б2, который имитирует водонапорную башню (см. рисунки 2.2 и 2.3). При открытии вентиля В6 вода начинает перетекать из верхнего бака Б2 в нижний Б1, тем самым имитируется забор воды из водонапорной башни потребителями. Расход воды из верхнего бака является возмущающим воздействием (z), которое приводит к отклонению регулируемой величины (y) – уровня воды в баке. Процесс подачи воды в верхний бак механизирован, так как для этого используется насосная установка. Таким образом, основными устройствами объекта регулирования являются верхний гидробак (водонапорная башня) и насосная установка.

Применение в обратной связи (см. рисунок 10.1) объекта регулирования (ОР) регулятора (Р) позволяет автоматизировать процесс управления объектом. В состав регулятора входят потенциометрический датчик уровня поплавкового типа (ДУ), установленный в верхнем баке и электромагнитное реле (ЭМР).

Управляющее воздействие u представляет собой электрический сигнал, подаваемый на электродвигатель насосной установки.

10.4 Проведение испытаний

10.4.1 Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

1. С помощью перемычек со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рисунком 10.2 (на передней панели модуля электрического управления)

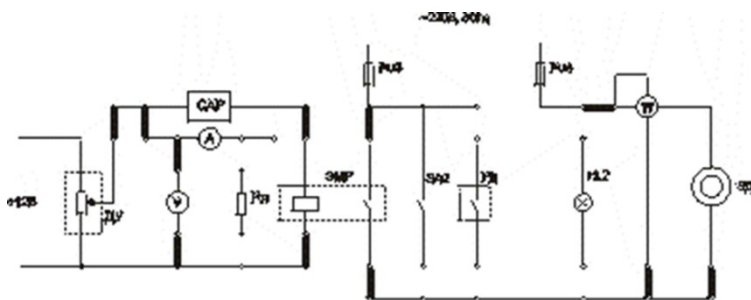


Рисунок 10.2 – Схема электрических соединений

2. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В3, В4 и В5 (закрытие вентиля осуществляется путем вращения маховичка управления по часовой стрелке). Вентиль В2 необходимо открыть, при этом при работе насоса вода из нижнего бака будет подаваться в верхний бак через расходомер РА.

3. Включить на модуле электрического управления питание электронного секундомера (нажать кнопку “ВКЛ”).

10.4.2 Методика испытаний

После выполнения условий, описанных в п. 10.4.1, необходимо:

1. Провести два опыта при различных степенях открытия вентиля В6. В первом опыте вентиль В6 открыть почти полностью (при этом рукоятку управления вентилем необходимо установить почти параллельно оси трубопровода).

2. Зафиксировать начальное показание скоростного расходомера (РА) – $V_{нач}$.

3. Включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение. При этом насосная установка начнет подавать воду в верхний бак и в дальнейшем будет работать в автоматическом режиме. Одновременно с включением насосной установки необходимо начать с помощью электронного секундомера отсчет времени, для чего следует нажать кнопку “Счет”. Опыт закончить сразу же после десятого срабатывания насосной установки. При этом следует, нажав кнопку “Пуск”, остановить секундомер и зафиксировать время проведения опыта t_{on} и показание скоростного расходомера $V_{кон}$. Также при каждом срабатывании насосной установки необходимо (не останавливая секундомера) фиксировать время $t_{p i}$, в течение которого работает насосная установка, а также мощность $W_{эл i}$, подаваемую на вход электродвигателя (для получения мощности в ваттах показания ваттметра W необходимо умножить на 100).

4. Во время выключения насоса необходимо фиксировать: напряжение U_2 (по вольтметру);

Результаты испытаний занести в таблицу 10.1.

| | | | | | | | | |
|--|-----|--|--|--|--|--|--|--|
| | 3 | | | | | | | |
| | ... | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | |
| | 1 | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | |
| | ... | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | |

10.6. Алгоритм обработки результатов наблюдений

Обработку результатов наблюдений проводят в соответствии с ГОСТ 8.736 «ГСИ. Измерения прямые с многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения».

10.6.1 Определение точечных оценок закона распределения

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}}$$

10.6.2. Построение экспериментального закона распределения результатов многократных наблюдений

а) в таблицу 3.2 записать вариационный ряд результатов многократных наблюдений x_i ;

б) определить число интервалов группирования по формуле $m = 3,3 \lg(n) + 1$, (для $n = 20$, $m = (5 - 6)$);

в) вычислить интервал группирования вариационный ряд на интервалы; $h = \frac{x_{max} - x_{min}}{m}$ и разбить границы первого интервала $m_1: (x_{min}; x_{min}+h)$; граница второго интервала равна $m_2: (x_{min}+h; x_{min}+h+h)$ и т. д.;

г) вычислить относительные частоты

$$\bar{n}_j = \frac{n_j}{n},$$

Где $j=1, \dots, m$; n_j – число значений x из вариационного ряда, попавших в j -й интервал группирования;

– число значений x из вариационного ряда, попавших в j -й интервал группирования;

д) построить гистограмму, пример представлен на рис. 3.1.

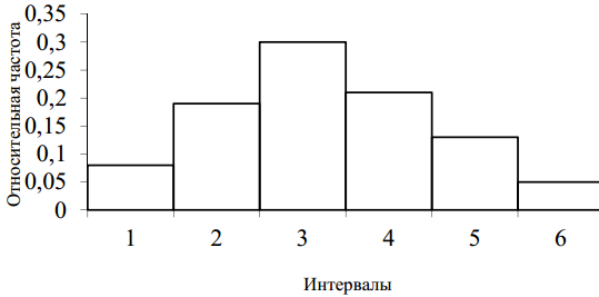


Рисунок 10.3 Гистограмма

При малых $n < 15$ гистограмма позволяет оценить тип экспериментального распределения только качественно, и оценка соответствия выборочного распределения теоретическому распределению не производится. Данная в примере гистограмма позволяет предположить нормальный характер распределения результатов многократных наблюдений.

10.6.3. Определение доверительных границ случайной погрешности а) задать доверительную вероятность из ряда $Pd = 0,9; 0,95; 0,99$;

б) определить доверительные границы случайной погрешности по формуле

$$\Delta^{\circ} = \pm t_p S_{\bar{x}},$$

где t_p – коэффициент Стьюдента для данного уровня доверительной вероятности Pd и объема выборки n (по табл. Г.1 приложения Г).

10.6.4. Определение границ неисключенной систематической погрешности

Неисключенная систематическая погрешность определяется погрешностью метода, субъективной погрешностью, основными погрешностями СИ (вольтметра, генератора), дополнительными погрешностями. Они определяются нестатистическими методами. Суммарные границы неисключенной систематической погрешности определяются по формуле:

$$\theta = \left\{ \begin{array}{l} \pm k \sqrt{\sum_{i=1}^N \theta_i^2}, \text{ при } N > 4 \\ \pm \sum_{i=1}^N |\theta_i|, \text{ при } N \leq 3 \end{array} \right\}$$

где N – количество составляющих неисключенной систематической погрешности.

10.6.5. Определение доверительных границ погрешности оценки измеряемой величины

Доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины Δ (без учета знака) вычисляют, как показано в п. 3.4.

10.6.6. Записать результат измерения в виде с указанием $x = \bar{x} \pm \Delta$

единиц измерения (правила записи результата измерений приведены в приложении Д).

10.7. Программа работы

10.7.1. Заполнить для используемых средств измерений (СИ) табл. 10.2.

Таблица 10.2 Классификационные признаки средств измерений

| | |
|---|------------------|
| Классификационный признак | Вольтметр В7-22А |
| Вид СИ | |
| Тип выходной величины | |
| Форма представления информации | |
| Назначение | |
| Метрологическое назначение | |
| Нормируемые метрологические характеристики СИ | |

10.7.3. Произвести ряд независимых многократных наблюдений ФВ – x (U_2 -напряжение при остановке насосной установки). Результаты записать в таблицу 10.3 (графы 1, 2) с указанием наименования ФВ и единицы измерения:

Таблица 10.3

| n_i | x_i | $\Delta x = x_i - \bar{x}$ | $x^i - \bar{x}$ | Вариационный ряд | n_j | \bar{n}_j |
|-------|--|----------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | x_1 | $x_1 - \bar{x}$ | $(x_1 - \bar{x})^2$ | Δx_{\min} | | |
| 2 | x_2 | $x_2 - \bar{x}$ | $(x_{21} - \bar{x})^2$ | | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | | |
| 19 | x_{19} | $x_{19} - \bar{x}$ | $(x_{19} - \bar{x})^2$ | | | |
| 30 | x_{30} | $x_{30} - \bar{x}$ | $(x_{30} - \bar{x})^2$ | Δx_{\max} | | |
| | $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ | | $\sum_{i=1}^{30} (x_i - \bar{x})^2$ | | | |

Количество независимых равноточных измерений – $n > 20$.

10.7.4. Провести обработку результатов многократных наблюдений в

соответствии с методикой ГОСТ 8.736 и заполнить табл. 10.3.

10.7.5. Записать результат измерения ФВ с указанием пределов и доверительной вероятности с соблюдением правил округления.

10.7.6. Оформить отчет о проделанной лабораторной работе.

6.6 Контрольные вопросы

1 Преимущества, назначение и структура систем автоматического регулирования.

2 В чем достоинства и недостатки принципа регулирования по отклонению?

3 Что представляют собой объект регулирования и регулятор в исследуемой САР?

4 Какие возмущающие и управляющие воздействия действуют на САР? По какому параметру осуществляется регулирование?

5 Поясните методику экспериментальных исследований САР.

6 Как зависит энергия, потребляемая САР, от расхода воды?

7. Какими погрешностями определяется систематическая составляющая погрешности измерений и какими случайная составляющая?

8. Что такое неисключенная систематическая погрешность и как ее определить?

9. Что такое доверительные границы погрешности результата измерений?

10. Как определяются доверительные границы суммарной погрешности результата измерений?

Лабораторная работа № 6

ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКА УРОВНЯ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО И СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ.

Продолжительность работы — 2 ч

Цель работы: 1. Изучение стенда для экспериментальных исследований устройств и систем автоматического регулирования;

2. Изучение потенциометрического датчика уровня (назначение, устройство, характеристики);

3. Экспериментальное исследование характеристик датчика.

Материалы для выполнения работы: Стенд для проведения экспериментальных исследований двух основных видов систем автоматического регулирования.

2.1. Теоретические сведения

Среди множества разнообразных элементов автоматики особое место занимают первичные преобразователи или датчики. Первичным это устройство называют потому, что датчик является первым из элементов в системах автоматического регулирования, получающим и перерабатывающим информацию о текущем состоянии объекта регулирования.

Датчики применяют для измерения параметров технологического процесса. Основная функция датчика – преобразование параметра процесса (регулируемой величины) в какой-либо сигнал – электрический, механический, гидравлический и др.

Датчик является составной частью регулятора. Иногда в системах автоматического регулирования используется не один, а несколько датчиков.

В настоящее время известны множество явлений, эффектов, видов преобразования свойств и энергии, которые используются в датчиках.

Основной характеристикой датчика является статическая характеристика, которая представляет собой зависимость между преобразуемой (входной) и преобразованной (выходной) величиной. Статическая характеристика датчика может представляться аналитическим выражением, графиком, таблицей.

В практике автоматизации технологических процессов достаточно распространенной является задача измерения линейных и угловых перемещений. Широкое применение при этом находят потенциметрические (реостатные) датчики, которые предназначены для преобразования механического (линейного или углового) перемещения в электрическую величину в виде напряжения.

Потенциметрический датчик представляет собой реостат, величина сопротивления которого изменяется при перемещении скользящего движка. Проводник реостата может представлять собой тонкую проволоку с высоким удельным сопротивлением, намотанную на диэлектрический каркас, а может быть выполнен нанесением гальваническим способом или плазменным напылением на диэлектрическую пластину металлографического состава.

На рисунке 1.1 приведены схемы потенциометрического датчика уровня поплавкового типа (такой датчик установлен на стенде).

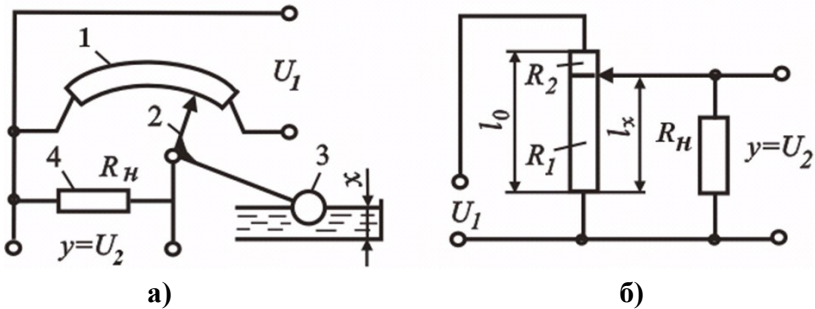


Рисунок 1.1 – Схемы потенциометрического датчика
 а – датчик уровня поплавкового типа
 б – расчетная электрическая схема преобразователя датчика

Чувствительным элементом датчика является поплавок 3. В датчике можно выделить два преобразующих элемента. Первый преобразует изменение положения поплавка x в отклонение движка 2 потенциометра 1, включенного в электрическую цепь с напряжением питания U_1 . При перемещении движка потенциометра изменяется напряжение U_2 на резисторе нагрузки 4. Следовательно, второй преобразующий элемент датчика преобразует сигнал перемещения движка в выходной сигнал датчика – напряжение U_2 . В результате датчик выдает унифицированный аналоговый электрический сигнал.

Схема электрического преобразователя поплавкового датчика показана на рисунке 1.1, б. Применяя законы Ома и Кирхгофа для соответствующих элементов электрической цепи, находим:

$$U_2 = \frac{R_1}{R_2} \frac{1}{1 + R_1 R_2 / (R_0 R_H)} \quad (1.1)$$

где R_0 – полное сопротивление потенциометра, $R_0 = R_1 + R_2$;

R_1, R_2 – сопротивления плеч потенциометра, отделяемых его движком;

R_H – сопротивление резистора нагрузки.

Если выбрать сопротивление нагрузки R_H гораздо больше полного

сопротивления потенциометра R_0 , то характеристика преобразователя будет практически линейной:

$$U_2 = U_1 \frac{R_1}{R_2} = U_1 \frac{l_x}{l_0}, \quad (1.2)$$

Где l_x – длина плеча потенциометра, соответствующая измеряемой величине x ;

l_0 – длина потенциометра.

Можно подобрать плечи рычага, связывающего поплавков с движком потенциометра так, чтобы в требуемом диапазоне измерения уровня жидкости x связь между l_x и x будет линейной: $l_x \propto k_l x$, где k_l – коэффициент передачи первого преобразующего элемента – двуплечего рычага. Статическая характеристика потенциометрического датчика уровня в этом случае будет линейной:

$$y = k x, \quad (1.3)$$

где $y=U_2$; $k=k_1 k_2$, здесь k_2 – коэффициент передачи второго преобразующего элемента – потенциометра.

Важной характеристикой датчика является чувствительность, которая представляет собой первую производную выходной величины (напряжения U_2) по перемещению поплавка x (входной величине), то есть

$$k_r = k_1 \frac{U_1}{l_0}. \quad (1.4)$$

Таким образом, чувствительность k_r можно рассматривать как коэффициент усиления датчика.

Рассмотренный потенциометрический датчик по принципу действия относится к параметрическим (под действием входного сигнала изменяется сопротивление потенциометра), а по физической природе элементов – к электромеханическим.

При проведении исследований потенциометрических датчиков часто одновременно со статической характеристикой $U_2=f_1(x)$ определяют его вольт-амперную характеристику (ВАХ), которая представляет собой зависимость $I=f_2(U_2)$, где I – ток в цепи нагрузки R_H . Следует отметить, что вольт-амперная характеристика является по сравнению со статической характеристикой менее информативной, поскольку

зависимость $I=f_2(U_2)$ изменяется с изменением сопротивления нагрузки R_H , то есть для каждого значения R_H существует своя ВАХ.

Напряжение питания потенциометрического датчика (U_I) может быть как постоянным, так и переменным.

2.2 Экспериментальная установка

Стенд предназначен для проведения экспериментальных исследований двух основных видов систем автоматического регулирования (САР), применяемых в настоящее время в водоснабжении:

- 1 С регулированием по уровню;
- 2 С регулированием по давлению.

Кроме того, на стенде имеется возможность проводить исследования отдельных устройств, используемых при автоматизации водоснабжения.

На стенде можно:

- 1 Определять характеристики потенциометрического датчика уровня (ДУ);
- 2 Определять характеристики электромагнитного реле;
- 3 Определять рабочие характеристики центробежного насоса;
- 4 Определять различными способами расход жидкости;
- 5 Изучать устройство реле давления и приборов для измерения температуры и давления, определять пороги срабатывания реле давления, проводить измерения температуры и давления.

Общий вид стенда представлен на рисунке 1.2.

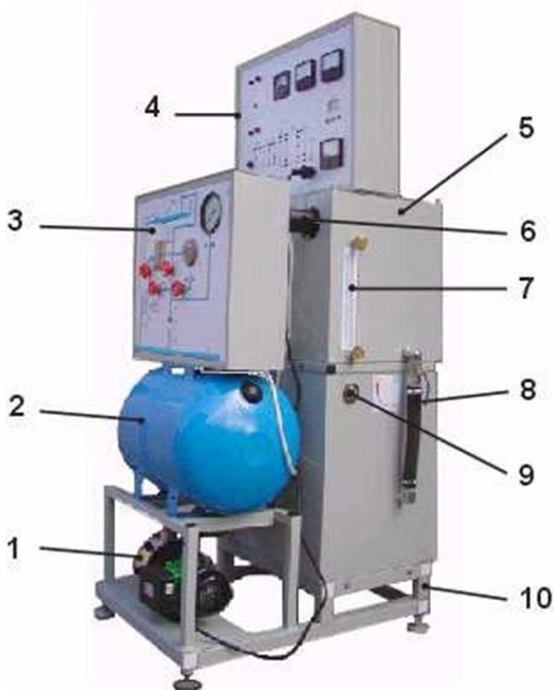


Рисунок 1.2 – Общий вид стенда

Стенд состоит из следующих основных устройств:

- 1 – насосная установка, в состав которой входят центробежный насос (Н) и однофазный приводной электродвигатель;
- 2 – пневматический бак (ПБ);
- 3 – модуль гидравлического управления (МГУ);
- 4 – модуль электрического управления;
- 5 – гидробак верхний (Б2);
- 6 – потенциметрический датчик уровня (ДУ);
- 7 – указатель уровня воды в верхнем гидробаке (УУ);
- 8 – гидробак нижний (Б1);
- 9 – указатель уровня воды в нижнем гидробаке (заменен на трубчатый указатель);

10 – рама стенда.

(В скобках приведены обозначения устройств, принятые ниже на гидравлической схеме).

Номинальная мощность электродвигателя – 600 Вт. Тип насоса – КРМ 80.

Модули гидравлического и электрического управления, представляющие собой конструктивно законченные устройства, предназначены для управления, измерения регистрируемых величин и контроля за работой стенда.

На рисунке 1.3 приведена гидравлическая схема стенда (эта же схема показана на передней панели модуля гидравлического управления). В корпусе модуля гидравлического управления установлены все устройства, которые на гидравлической схеме (рисунок 1.3) изображены внутри прямоугольника, выделенного штрихпунктирной линией. Это следующие устройства:

КО – клапан обратный;

РД – реле давления;

В1...В5 – вентили;

П – имитатор потребителей воды;

Т – датчик температуры;

РА – расходомер;

МН – манометр.

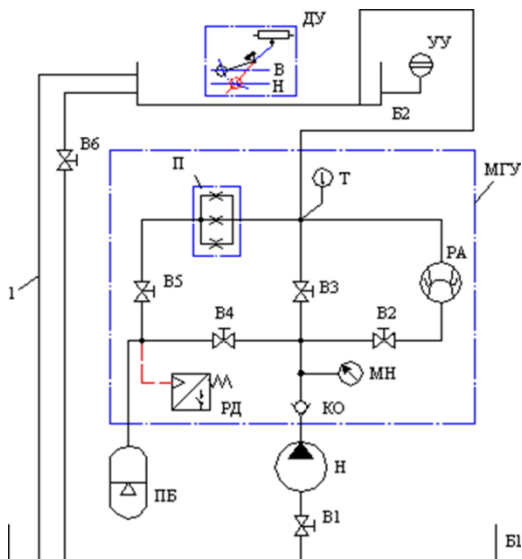


Рисунок 1.3 – Схема гидравлическая стенда

Обратный клапан в напорную линию насоса установлен с целью предотвращения утечек воды из пневматического бака ПБ через неработающий гидронасос Н в нижний гидробак Б1.

Вентиль В1 установлен во всасывающем трубопроводе, соединяющем нижний гидробак с насосом. Этот вентиль в процессе эксплуатации стенда всегда открыт. Закрывают вентиль при демонтаже насоса и проведении ремонтных работ. Вентиль В6 установлен в трубопроводе, соединяющем верхний и нижний гидробаки.

В дно верхнего гидробака вварена труба перелива (гидролиния 1 на рисунке 1.3) с большим внутренним диаметром. Перелив предусмотрен на высоте 0,26 м от дна верхнего гидробака. То есть максимальный уровень воды в верхнем гидробаке примерно 0,26 м. Вода из верхнего гидробака через трубу перелива перетекает в нижний гидробак. Благодаря этому при любых ситуациях, которые только могут возникнуть при работе стенда, в нижнем гидробаке всегда есть вода, что предотвращает выход из строя гидронасоса Н, так как работа насоса

всухую невозможна.

Электрическая схема станда приведена на рисунке 1.4 (эта же схема показана на передней панели модуля электрического управления). На схеме обозначено:

ДУ – потенциометрический датчик уровня (установлен в верхнем гидробаке, поз. 6 на рисунке 1.2);

ЭМР – электромагнитное реле;

РД – реле давления (установлено в корпусе модуля гидравлического управления);

ЭД – электродвигатель привода гидронасоса;

РН – сопротивление нагрузки;

A, V, W – амперметр, вольтметр, ваттметр соответственно; HL2 – лампочка световой индикации.

Напряжение питания электрической системы 220 В, ток переменный, 50 Гц. Напряжение питания потенциометрического датчика уровня – 12 В, ток постоянный.

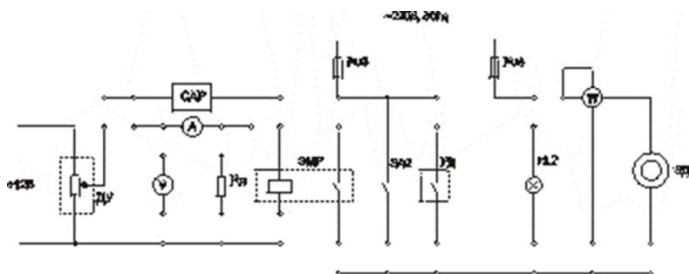


Рисунок 1.4 – Электрическая схема станда

На передней панели станда также установлен электронный секундомер:

- СЕК – цифровое табло секундомера (трехразрядное);

- Вкл., Счет, Сброс – кнопки управления секундомером (Вкл. – включение питания; Счет – включение и выключение секундомера; Сброс – сброс показаний цифрового табло).

Внимание: при работе секундомера (когда идет подсчет времени) запрещается нажимать кнопку “Сброс”.

В нижнем правом углу панели модуля электрического управления установлен прибор, регистрирующий температуру рабочей жидкости (Т, °С).

В линиях питания электрической системы стенда (на входе) установлены предохранители FU1, FU2, FU3 и FU4, а также предусмотрена световая индикация исправности электрической системы (HL1).

Структурирование электрической системы стенда, которое необходимо выполнять перед началом каждой новой лабораторной работы, осуществляется путем установки перемычек со штекерами в гнезда, установленные на передней панели модуля электрического управления. Установка перемычек производится в соответствии со схемой электрических соединений, приводимой в методических указаниях к каждой лабораторной работе. Места установки перемычек на схемах отмечены “жирной” штриховой линией.

Включение питания стенда осуществляется путем установки тумблера

«СЕТЬ» в верхнее положение. Тумблер расположен в верхнем левом углу передней панели модуля электрического управления.

Перед началом работы на стенде необходимо:

- 1 Заправить нижний гидробак стенда водой. Для этого необходимо снять крышку (с установленным на ней модулем электрического управления) верхнего гидробака и через трубу перелива заполнить нижний гидробак. Заправка бака осуществляется до верхней отметки указателя уровня, установленного в нижнем гидробаке (поз. 9, рисунок 1.2).

- 2 Заземлить корпус стенда.

2.3 Проведение испытаний

1.3.1 Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

- 1 С помощью перемычек со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рисунком 1.5 (на передней панели модуля электрического управления).

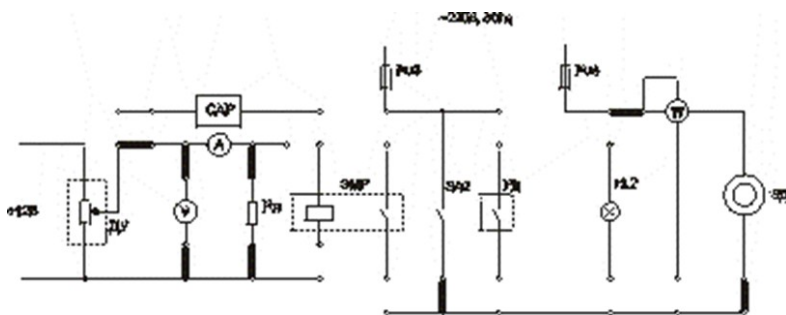


Рисунок 1.5 – Схема электрических соединений (к лабораторной работе №1)

2 Убедиться по указателю уровня 7 (рисунок 1.2), что в верхнем баке (поз. 5) отсутствует вода. Если верхний бак заполнен водой, то, открыв вентиль 6, необходимо слить воду из верхнего бака в нижний бак (поз. 8). Вентиль В6 открыт, когда рукоятка управления установлена параллельно оси трубопровода. После слива воды из верхнего гидробака вентиль 6 необходимо закрыть.

3 На модуле гидравлического управления вентиль В3 открыть, а вентили В2, В4 и В5 – закрыть (закрытие вентилей осуществляется путем вращения маховичка управления по часовой стрелке, а открытие – вращением против часовой стрелки. При управлении вентилем рекомендуется не прикладывать больших усилий).

2.3.2 Методика испытаний

После выполнения условий, описанных в п. 1.4.1, необходимо:

1 Включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение.

2 Провести экспериментальные исследования характеристик потенциометрического датчика при заполнении верхнего гидробака стенда. При этом, периодически включая и выключая насос с помощью выключателя SA2, установленного на электродвигателе, заполнить верхний гидробак до уровня, при котором начнется перелив воды из верхнего гидробака в нижний. Во время выключения насоса необходимо фиксировать:

- координату x – уровень воды в верхнем баке (по шкале указателя уровня). Нижнее деление указателя уровня принять за нулевое;
- напряжение U_2 (по вольтметру);
- силу тока I (по амперметру).

Первое отключение насоса желательно выполнить в тот момент, когда уровень воды в стеклянной трубке совпадет с нулевым делением указателя. Дальнейшие отключения насоса производить примерно через каждые десять делений. Таким образом, при управлении насосом необходимо следить за уровнем воды в верхнем гидробаке.

Результаты измерений занести в таблицу 1.1.

3. После максимального заполнения верхнего гидробака отключить насос и, приоткрывая вентиль В6 и перепуская воду из верхнего бака в нижний, произвести исследования характеристик потенциметрического датчика, но уже не при заполнении, а при опорожнении верхнего гидробака. Измерения необходимо производить при закрытом вентиле В6. Результаты измерений занести в таблицу 1.2, которая отличается от таблицы 1.1 только названием и поэтому в методических указаниях не приводится (название таблицы

1.2 следующее: «Результаты исследований потенциметрического датчика при опорожнении бака»).

Таблица 1.1 – Результаты исследований потенциметрического датчика при заполнении бака

| Номер измерения | x – уровень воды в баке | | U_2 – напряжение на выходе датчика, В | I – сила тока в цепи нагрузки, мА |
|-----------------|---------------------------|---------------|---|-------------------------------------|
| | в делениях | в миллиметрах | | |
| 1 ... 6 | | | | |

После проведения всех измерений необходимо отключить электрическое питание стенда и снять перемычки со штекерами с модуля электрического управления.

2.4 Обработка результатов

Особой обработки результатов экспериментов в данной работе не требуется. Единственное, что необходимо учесть:

1 По указателю уровня воды в верхнем баке:

1 дел = 4,6 мм = 1 л (одно деление равно 4,6 миллиметрам или одному литру);

2 Предел измерения вольтметра равен 10 В, то есть, чтобы получить значение напряжения в вольтах, необходимо показание прибора умножить на 0,1;

3 Предел измерения амперметра – 1 мА.

По результатам экспериментов необходимо построить графические зависимости: $U_2=f(x)$ и $I=f(U_2)$. Графические зависимости при заполнении и опорожнении бака строить в одной системе координат с тем, чтобы выявить наличие гистерезиса в статических характеристиках датчика.

2.5 Контрольные вопросы

1. Стенд для экспериментальных исследований устройств и систем автоматического регулирования: назначение, схемы (гидравлическая и электрическая), информационно-измерительная система, устройство, управление.

2. Назначение датчиков, используемых в системах автоматического регулирования. Назначение и устройство потенциометрических датчиков.

3. Какие характеристики датчиков называют статическими? Какие статические характеристики у потенциометрического датчика уровня поплавкового типа? Назначение статических характеристик.

4. Методика определения статических и вольт-амперных характеристик потенциометрического датчика.

5. Чем объяснить наличие гистерезиса в статических характеристиках потенциометрического датчика?

Лабораторная работа № 7

ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКА УРОВНЯ ГЕРКОНОВОГО ТИПА И СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ.

Продолжительность работы — 2 ч

Цель работы: 1. Ознакомиться с методами измерения уровня жидкостей и принципом действия наиболее распространенных уровнемеров жидкостей. 2. Изучить устройство и принцип действия уровнемера герконового типа.

3. Определить основные метрологические характеристики уровнемера герконового типа.

Материалы для выполнения работы: Стенд для проведения экспериментальных исследований двух основных видов систем автоматического регулирования.

Общие сведения

Наиболее распространенные методы измерения уровня жидкостей, реализованные в промышленном оборудовании, показаны на рис. 14.1.

3.1. теоретические сведения

Наиболее распространенные методы измерения уровня жидкостей, реализованные в промышленном оборудовании, показаны на рис. 3.1.

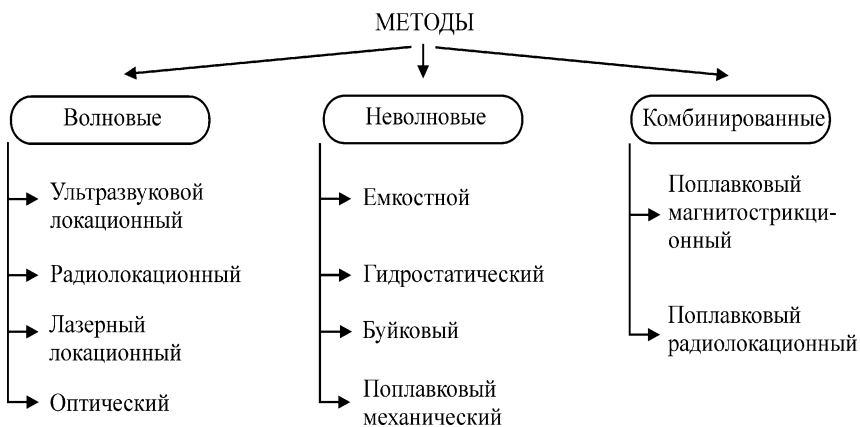


Рис. 3.1. Методы измерения уровня жидкостей

В волновых измерителях уровня используются эффекты, связанные с распространением электромагнитных или акустических волн в жидкости, парогазовой смеси либо в конструктивных элементах (волноводах, звуководных трубах), контактирующих со средами.

В неволновых измерителях уровня используются иные принципы измерения уровня, основанные на изменении емкости конструктивного конденсатора, давления столба жидкости, выталкивающей силы, действующей на погруженное в жидкость тело.

Комбинированные измерители уровня сочетают в себе элементы волновых и неволновых. В магнитострикционном уровнемере уровень фиксируется поплавком, определение положения которого производится с помощью механических колебаний в звукопроводе. В АПК в настоящее время наиболее широко используются не волновые уровнемеры: поплавковые, буйковые, емкостные и гидростатические.

Гидростатические уровнемеры. Измерение уровня гидростатическими уровнемерами сводится к измерению гидростатического давления P , создаваемого столбом жидкости h постоянной плотности ρ , согласно равенству

$$P = \rho gh \quad (3.1)$$

где g – ускорение свободного падения.

Измерение гидростатического давления может осуществляться:

- 1) манометром, подключаемым на высоте, соответствующей нижнему предельному значению уровня (в открытых емкостях – рис. 14.6, а, б);
- 2) дифференциальным манометром, подключаемым одним входом к резервуару на высоте, соответствующей нижнему предельному значению уровня, и вторым входом к газовому пространству над жидкостью (в закрытых емкостях – рис. 14.6, в).

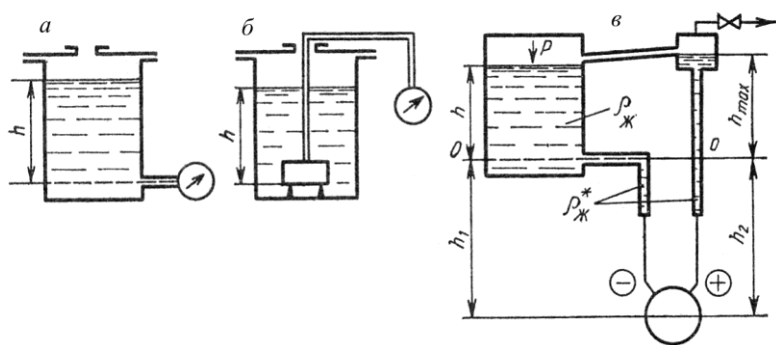
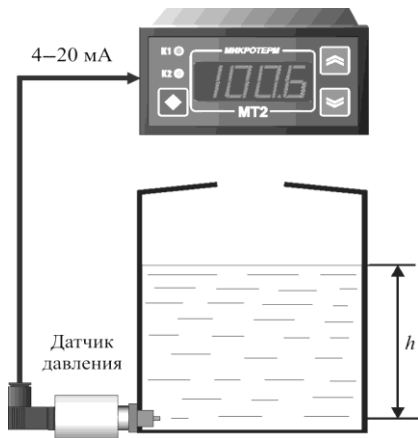


Рис. 3.2 Схемы гидростатических уровнемеров

В настоящей лабораторной работе рассматривается гидростатический уровнемер, состоящий из измерительного преобразователя (датчика) избыточного давления «Сенсор-М-122-t1» и измерителя- регулятора



MT2 (рис. 3.3).

Рис. 3.3. Гидростатический уровнемер

Измерительный преобразователь (датчик) избыточного давления «Сенсор-М-122-t1» преобразует гидростатическое давление столба жидкости h в унифицированный линейный токовый сигнал, изменяющийся в диапазоне 4-20 мА, а измеритель-регулятор МТ2 преобразует его в цифровой отсчет значения уровня.

Буйковые уровнемеры. В буйковых уровнемерах (рис. 14.4) применяется неподвижный погруженный в жидкость буюк. Принцип действия буйковых уровнемеров основан на том, что на погруженный буюк действует со стороны жидкости выталкивающая сила. По закону Архимеда эта сила равна весу жидкости, вытесненной буюком. Количество вытесненной жидкости зависит от глубины погружения буюка, т. е. от уровня жидкости в емкости. Таким образом, в буйковых уровнемерах измеряемый уровень преобразуется в пропорциональную ему выталкивающую силу. Поэтому зависимость выталкивающей силы от измеряемого уровня линейная. В буйковых уровнемерах буюк передает усилие на рычаг промежуточного преобразователя.

Принцип действия буйковых уровнемеров позволяет в широких пределах изменять их диапазон измерения. Это достигается как заменой буюка, так и изменением передаточного отношения рычажного механизма промежуточного преобразователя.

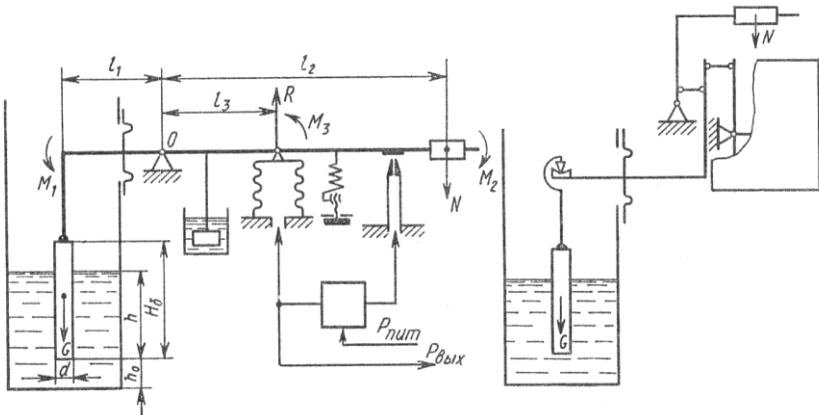


Рис. 3.4. Буйковые уровнемеры

Емкостные уровнемеры. Работа таких уровнемеров (рис. 14.5) основана на различии диэлектрической проницаемости жидкостей и воздуха. Простейший первичный преобразователь емкостного прибора представляет собой электрод (металлический стержень или провод), расположенный в вертикальной металлической трубке. Стержень вместе с трубкой образуют конденсатор. Емкость такого конденсатора зависит от уровня жидкости, так как при его изменении от нуля до максимума диэлектрическая проницаемость будет изменяться от диэлектрической проницаемости воздуха до диэлектрической проницаемости жидкости. Роль второй обкладки конденсатора может играть металлическая стенка емкости. В случае проводящей жидкости стержень покрывается изолятором, обычно фторопластом.

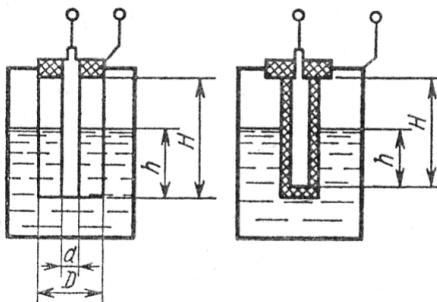


Рис. 3.5. Емкостные уровнемеры

Поплавковые уровнемеры. В поплавковых уровнемерах (рис. 14.2) имеется плавающий на поверхности жидкости поплавок, в результате чего измеряемый уровень преобразуется в перемещение поплавка. В таких приборах используется легкий поплавок, изготовленный из коррозионностойкого материала. Показывающее устройство прибора соединено с поплавком тросом или с помощью рычагов.

Поплавок может быть снабжен магнитом и заключен в измерительную трубу либо скользить по направляющему стержню. Магнит может влечь за собой ползунок реостата. Изменение сопротивления преобразуется в электрический выходной сигнал, что дает помимо визуального контроля возможность дистанционной передачи показаний и включения в систему автоматизации.

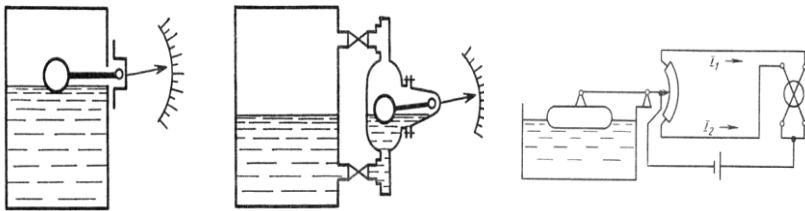


Рис. 3.6. Примеры поплавковых уровнемеров

Поплавковые уровнемеры могут содержать в теле направляющего стержня цепочку герконов, замыкаемых движущимся магнитом и резистивную матрицу (рис. 14.3). Дискретность измерения уровня таких приборов составляет (6–12) мм.

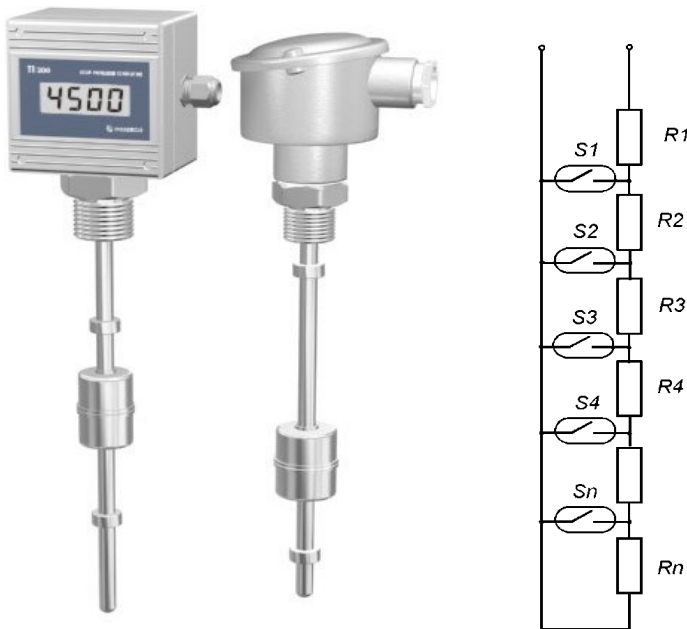


Рис. 3.7. Поплавковый уровнемер с резистивной матрицей и герконовыми реле

В электромагнитных реле обычного исполнения наиболее ненадежным элементом являются контакты, подвергающиеся воздействиям окружающей среды (окисление, пыль, влажность, газы и т.п.).

Герметизация контактов в значительной мере повышает надежность работы реле в целом.

Геркон (герметизированный контакт) представляет собой (рис. 7.8) две пластинки из пермаллоя 1, впаянные в стеклянный баллон 2. Эти пластинки выполняют роль магнитопровода и контактных пружин, а их позолоченные концы 3 являются контактами. Пространство внутри баллона заполнено каким-либо инертным газом, азотом высокой чистоты или водородом. К наружным концам 4 пластинок припаиваются провода.

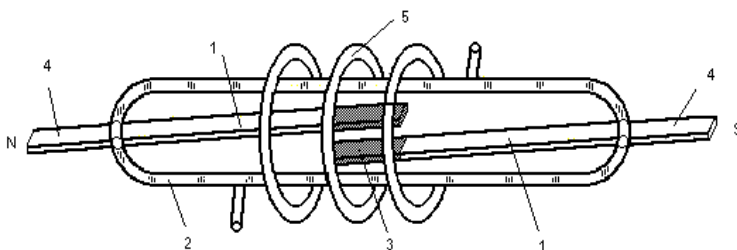


Рис. 3.8. Конструкция геркона

Если геркон поместить в магнитное поле, направленное вдоль пластинок, то в зазоре между контактными пружинами возникает электромагнитное усилие. Контакты замкнутся, если это усилие больше механических сил упругости пластинок. Магнитное поле, управляющее герконом, создается током в обмотке 5, представляющей собой соленоид, внутри которого помещен геркон.

Одной из важных характеристик герконов является износоустойчивость контактных пружин (максимальное число срабатываний), которая зависит от коммутируемой мощности и режимов нагрузки на контакты. Так как отвод тепла в герконах ограничен, их нельзя использовать для коммутации токов выше допустимого по ТУ (КЭМ-1 0,5 А, КЭМ-2 0,25 А). При коммутации цепей, содержащих индуктивность, необходимо использование схем искрогашения.

3.2. Описание лабораторной установки

Конструктивно стенд состоит из объекта автоматизации и стенда управления.

Объект автоматизации представляет собой напольную конструкцию в

виде рамной стойки с размещенным на ней оборудованием:



Рис. 3.9. Общий вид лабораторного стенда

1. насосная установка, в состав которой входят центробежный насос (Н) и однофазный приводной электродвигатель;
2. пневматический бак (ПБ);
3. кран шаровый (В1...В3);
4. сервопривод, контролирующий открытие и закрытие задвижки по командам логического программируемого контроллера ПЛК S7-1200 (СВ);
5. гидробак верхний (В2);
6. реле уровня герконового типа (ДУГ);
7. указатель уровня воды в верхнем гидробаке (УУ);
8. клапан электромагнитный, выполняющий функции обратного клапана (КЭМ);
9. указатель уровня воды в верхнем гидробаке;
- 10 – рама стенда;
- 11 – импульсный расходомер (РА).
- 12 – электронагреватель;
- 13 – датчик давления (РД);
- 14 – датчик температуры (Т);
- 15 – манометр (М).

Номинальная мощность электродвигателя – 600 Вт. Тип насоса – КРМ 80.

Модули гидравлического и электрического управления, представляющие собой конструктивно законченные устройства, предназначены для управления, измерения регистрируемых величин и контроля за работой стенда.

Стенд управления выполнен в виде алюминиевого основания с размещенными в нем блоком питания, блоком ввода и панелью управления. На панель управления нанесена общая схема управления объектом автоматизации и расположены элементы схемы управления:

ПЛК, реле управления, элементы управления и коммутационные гнезда.

На рисунке 3.10 приведена гидравлическая схема станда (эта же схема показана на передней панели станда управления). В корпусе объекта регулирования установлены все устройства, которые на гидравлической схеме (рисунок 3.10) изображены внутри прямоугольника (верхняя часть).

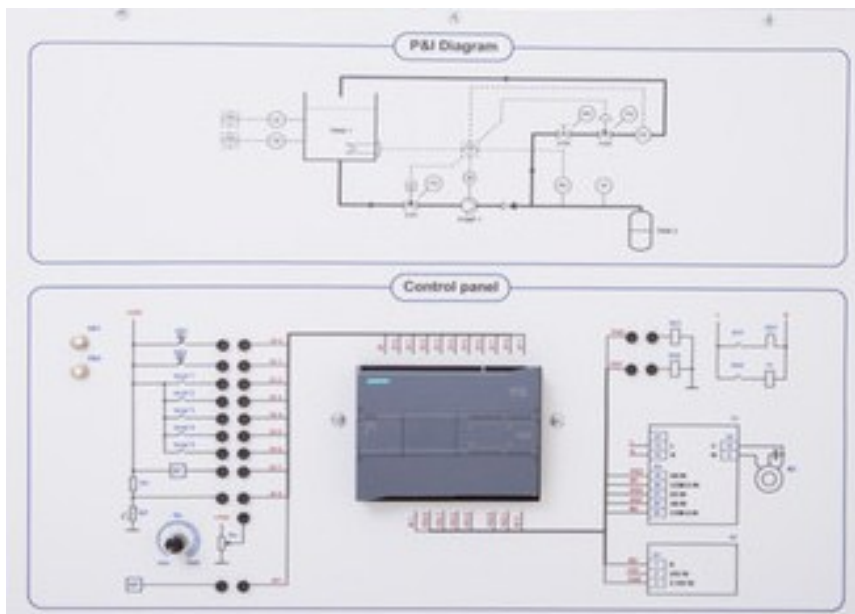


Рис. 3.10. Гидравлическая и электрическая схемы подключения

Программируемый логический контроллер (ПЛК) S7-1200 обеспечивает гибкость и поставляет достаточную мощность для управления широким кругом устройств, поддерживающих ваши потребности в автоматизации. Компактная конструкция, гибкая конфигурация и мощный набор команд, делают S7-1200 прекрасным решением для управления широким спектром приложений.

Обратный клапан встроен в напорную линию насоса с целью предотвращения утечек воды из верхнего бака Б2 через неработающий гидронасос Н. Вентиль В1 установлен в напорном трубопроводе, соединяющем пневматический бак с насосом. Этот вентиль в процессе эксплуатации станда всегда открыт. Закрывают вентиль при демонтаже насоса и проведении ремонтных работ. Вентиль В2 установлен во

всасывающем трубопроводе, соединяющем верхний гидробак с насосом.

Вентиль ВЗ установлен в трубопроводе с сервоприводом, контролирующим открытие и закрытие задвижки, соединяющим пневматический бак с верхним гидробаком.

В верхнюю часть гидробака установлен датчик уровня герконового типа. Электрическая схема стенда приведена на рисунке 3.10 (эта же схема показана на передней панели модуля электрического управления).

Напряжение питания электрической системы 220 В, ток переменный, 50 Гц. Напряжение питания потенциометрического датчика уровня – 12 В, ток постоянный.

В нижнем правом углу панели стенда электрического управления, в линиях питания электрической системы стенда (на входе) установлен предохранитель FU1, а также предусмотрена световая индикация исправности электрической системы (HL1).

Структурирование электрической системы стенда, которое необходимо выполнять перед началом каждой новой лабораторной работы, осуществляется путем установки перемычек со штекерами в гнезда, установленные на передней панели модуля электрического управления. Установка перемычек производится в соответствии со схемой электрических соединений, приводимой в методических указаниях к каждой лабораторной работе. Места установки перемычек на схемах отмечены “жирной” штриховой линией.

Включение питания стенда осуществляется путем установки тумблера

«СЕТЬ» в верхнее положение. Тумблер расположен в нижнем правом углу передней панели стенда электрического управления.

Перед началом работы на стенде необходимо:

1. Заправить верхний гидробак стенда водой. Для этого необходимо снять крышку (с установленным на ней модулем электрического управления) верхнего гидробака и через трубу перелива заполнить нижний гидробак. Заправка бака осуществляется до верхней отметки указателя уровня, установленного в нижнем гидробаке (поз. 9, рисунок 1.2).

2. Заземлить корпус стенда.

3.3 Проведение испытаний

3.3.1 Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

1. С помощью перемычек со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рисунком 3.10 (на передней панели стенда электрического управления).

2. Регулирование уровня воды производить между $ДУ_{\min}$ и $ДУ_{\max}$.

3. На стенде объекта регулирования убедиться по указателю уровня 9 (рисунок 3.10), что в верхнем баке присутствует вода. Если верхний бак заполнен водой, то, открыв вентиль В2, необходимо обеспечить поступление воды из верхнего бака к насосу. Вентиль В2 открыт, когда рукоятка управления установлена параллельно оси трубопровода.

4. На стенде объекта регулирования вентиль В1 открыть, а вентиль В3 закрыть (закрытие вентиля осуществляется путем вращения маховичка управления по часовой стрелке, а открытие – вращением против часовой стрелки. При управлении вентилями рекомендуется не прикладывать больших усилий).

3.3.2 Методика испытаний

После выполнения условий, описанных в п. 3.4.1, необходимо:

1. Включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на стенде электрического управления необходимо установить в верхнее положение.

3. Заполнить пневматический бак до давления, после чего электродвигатель остановится.

4. Приоткрыть вентиль В3, обеспечив отбор воды потребителями. Вода из пневмобака начнет поступать в верхний бак.

5. При достижении $ДУ_{\min}$ насос включится и будет подавать воду в пневматический бак, из пневматического бака вода будет поступать в верхний бак до уровня $ДУ_{\max}$ после чего электродвигатель остановится.

6. Провести экспериментальные исследования датчика уровня герконового типа и системы контроля уровня в верхнем гидробаке стенда. Во время выключения и включения насоса необходимо фиксировать:

- координату x_{\min} , x_{\max} – уровень воды в верхнем баке (по шкале указателя уровня). Нижнее деление указателя уровня принять за нулевое;

- давление в пневмобаке (по манометру).

7. Результаты измерений занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты исследований датчика уровня при заполнении бака

| Номер измерения | x – уровень воды в баке, мм | | P – давление в пневмобаке, МПа | t – время, с |
|-----------------|-------------------------------|-------------|----------------------------------|----------------|
| | DU_{\min} | DU_{\max} | | |
| 1 ... 6 | | | | |

После проведения всех измерений необходимо отключить электрическое питание стенда и снять перемычки со штекерами с модуля электрического управления.

3.4 Обработка результатов

Особой обработки результатов экспериментов в данной работе не требуется.

По результатам экспериментов необходимо построить графические зависимости включения и выключения электродвигателя, урони воды DU_{\max} , DU_{\min} по времени. Графические зависимости при заполнении и опорожнении бака строить в одной системе координат с тем, чтобы выявить наличие гистерезиса в статических характеристиках датчика.

3.5 Контрольные вопросы

1. Какие методы измерения уровня жидкости вам известны?
2. Поясните принцип действия поплавковых уровнемеров.
3. Поясните принцип действия буйковых уровнемеров.
4. Поясните принцип действия емкостных уровнемеров.
5. Поясните принцип действия гидростатических уровнемеров.
6. Стенд для экспериментальных исследований технических средств автоматизации: назначение, схемы (гидравлическая и электрическая), информационно-измерительная система, устройство, управление.
7. Назначение датчиков, используемых в системах автоматизации. Назначение и устройство герконовых датчиков.
8. Чем объяснить наличие гистерезиса в статических характеристиках потенциометрического датчика?

Лабораторная работа № 8

ИЗУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ДАТЧИКОВ И РЕЛЕ ДАВЛЕНИЯ

Продолжительность работы — 2 ч

Цель работы: 1 Получение навыков работы с манометром давления.

2 Изучение устройства и исследование характеристик реле давления, расчет погрешности прибора.

Материалы для выполнения работы: описание лабораторной установки приводится дополнительно в зависимости от конкретного задания на выполняемый эксперимент. В качестве образцового манометра можно использовать датчик давления с классом точности 0,5 %.

4.1. Теоретические сведения

Давление - наиболее распространенный измеряемый параметр, одна из основных величин, определяющих термодинамическое состояние вещества. Давлением называют отношение силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности. Давление как физическая величина определяется в виде энергии вещества (жидкость или газ), отнесенной к единице объема, и является наряду с температурой основным параметром его физического состояния. Воздействие давления вещества на внешний объект проявляется в виде силы F , действующей на единицу площади S , т. е. $P = F/S$.

Различают следующие виды давления: атмосферное; абсолютное; избыточное; вакуумметрическое (разрежение).

Атмосферное (барометрическое) давление $P_{\text{атм}}$ — это давление, создаваемое массой воздушного столба атмосферы.

Абсолютное давление $P_{\text{абс}}$ — давление, отсчитанное от

абсолютного нуля. За начало отсчёта абсолютного давления принимают давление внутри сосуда, из которого полностью откачан воздух. Также под абсолютным давлением понимается полное давление, которое равно сумме атмосферного и избыточного: $P_{\text{абс}} = P_{\text{и}} + P_{\text{атм}}$.

Избыточное давление – разность между абсолютным и атмосферным давлением: $P_{\text{и}} = P_{\text{абс}} - P_{\text{атм}}$, - избыточное давление всегда выше атмосферного.

Вакуумметрическое (разрежение) - разность между атмосферным и абсолютным давлением: $P_{\text{в}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}}$, - вакуумметрическое давление всегда ниже атмосферного.

В международной системе единиц (СИ) за единицу давления принят Паскаль (Па) – давление, создаваемое силой в 1 Ньютон (Н), равномерно распределённой по поверхности площадью в один квадратный метр ($1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$) и направлена перпендикулярно к ней.

Широко применяют кратные единицы кПа и МПа.

Приборы измерения давления в зависимости от измеряемой величины

разделяют на следующие типы:

1. Манометры (для измерения избыточного или абсолютного давления);
2. Барометры (для измерения атмосферного давления);
3. Вакуумметры (для измерения вакуумметрического давления);
4. Дифференциальные манометры (дифманометры), предназначенные для измерения разности давлений.

Манометры, предназначенные для измерения малых значений, имеют следующие названия:

1. Напоромеры - для измерения избыточных давлений до 40 кПа;
2. Тягомеры- для измерения малых вакуумметрических

давлений до 40 кПа;

3. Тягонапоромеры - приборы давления, имеющие двустороннюю шкалу с пределами измерения ± 20 кПа (значение «ноль» на шкале соответствует атмосферному давлению).

По принципу действия чувствительного элемента приборы для измерения давления разделяют на:

1. Жидкостные - приборы, в которых измеряемое давление уравнивается весом столба жидкости, а изменение уровня жидкости в

сообщающихся сосудах служит мерой давления, называются жидкостными;

2. Грузопоршневые - приборы, в которых измеряемое давление уравнивается усилием, создаваемым калиброванными грузами, воздействующими на свободно передвигающийся в цилиндре поршень;

3. Пружинные (деформационные) - приборы, в которых измеряемое давление уравнивается силами упругости пружины, деформация которой служит мерой давления;

4. Приборы с дистанционной передачей показаний (датчики) - приборы, в которых используются изменения тех или иных электрических свойств вещества (электрического сопротивления проводников, электрической емкости, возникновение электрических зарядов на поверхности кристаллических минералов и др.) под действием измеряемого давления.

По метрологическому назначению манометры делятся на образцовые и рабочие. Образцовыми измерительными приборами называются устройства, предназначенные для поверки других измерительных приборов.

Образцовые манометры имеют следующие классы точности: 0,05; 0,2 - грузопоршневые манометры; 0,16; 0,25; 0,4 — пружинные манометры. Рабочими измерительными приборами называются все измерительные приборы, служащие для непосредственных измерений.

Рабочие манометры имеют классы точности 0,4; 0,6; 1; 1,5; 2,5; 4. Метод и средства измерений давления выбирают в зависимости от значений требуемой точности, условий проведения измерений, диапазона измеряемых величин давлений, способов отбора давления и его подвода к измерительным приборам.

Исходя из надежности работы приборов, конечное значение их шкалы выбирают таким, чтобы оно превышало измеряемую величину при стабильном давлении в 1,5 раза, а при колеблющемся — в 2 раза. В обоих случаях минимальное измеряемое давление должно быть не меньше 1/3 диапазона шкалы прибора. Показания манометров с упругими чувствительными элементами зависят от температуры, поэтому их устанавливают так, чтобы исключить влияние температуры измеряемой и окружающей среды. Дополнительная погрешность этих манометров составляет 0,4 % на каждые 10 °С.

Манометры применяют для прямого измерения давления с отображением его значения непосредственно на шкале, табло или индикаторе первичного измерительного прибора. Стрелочные деформационные манометры. В настоящем стенде применены пружинные деформационные манометры, различающиеся классом точности: манометр 1 (М1) классом точности 0,6 % и манометр 2 (М2) классом точности 1,0 %. Манометры установлены на лицевой панели стенда и подключены к ресиверу измерений. Устройство манометра представлено на рис. 4.1:

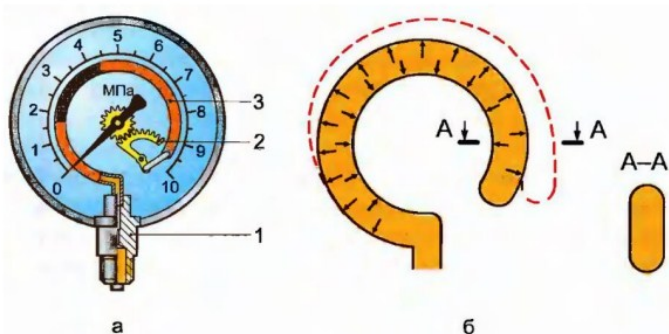


Рис. 4.1. Конструкция манометра с трубкой Бурдона
 1 – штуцер, 2 – зубчатый сектор, 3 – тонкостенная трубка Бурдона

Чувствительным элементом пружинных манометров является трубка Бурдона (3) - полая латунная трубка эллиптического или овального сечения, согнутая по дуге и запаивая с одного конца. С другого конца трубка приварена к штуцеру (1), к которому подводится измеряемое давление. Запаиванный (свободный) конец пружины шарнирно соединен с поводком. Давление действует на внутреннюю поверхность трубки Бурдона. Из-за разности площадей, на которые воздействует давление среды, трубка будет стремиться распрямиться. Получается, что при увеличении давления латунная трубка разгибается (рис. 4.1), ее свободный конец перемещается относительно первоначального положения. При перемещении свободного конца пружины поводок поворачивает зубчатый сектор (2), который в свою очередь вращает шестерню, на одной оси с которой закреплена показывающая стрелка. Величина смещения пропорциональна величине приложенного давления и по положению стрелки на градуированной шкале может быть считана. Класс точности манометра – это отраженная в процентах наибольшая допускаемая относительная погрешность, приведенная к его диапазону

измерений.

Важнейшей характеристикой манометра является класс точности (указывается на циферблате). Промышленные манометры бывают следующих классов точности: 0,6; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Допустимую погрешность измерения давления манометром определяют из следующего выражения:

$$\delta = \frac{K P}{100}, \quad (4.1)$$

где K – класс точности манометра;

P – верхний предел измерения давления.

Датчики давления тензорезистивного типа

Основной принцип преобразования давления в датчиках давления (ДД) – тензометрический. Чувствительным элементом является «мост Уитстона» из тензорезисторов, напыленных на мембрану из различного материала. Под действием измеряемого давления мембрана деформируется, тензорезисторы меняют величину своего сопротивления, нормирующий преобразователь преобразует разбалансировку «моста» в выходной сигнал с заданной погрешностью.

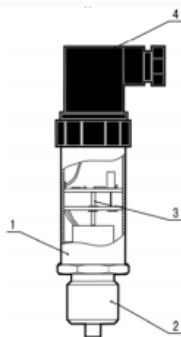


Рис. 4.2. Внешний вид датчика давления тензорезистивного типа

1 – корпус, 2 – штуцер, 3 – нормирующий преобразователь, 4 – кабельный ввод.

В описанном датчике использован сенсор КНК в корпусе из нержавеющей стали (рис. 4.2, 4.3). Технология КНК («кремний-на-кремнии») основана на изготовлении сенсора из монокристалла кремния с нанесенным на него методом диффузии тензорезистивным мостом.



Рис. 4.3. Внешний вид сенсора КНК и место ее установки в датчике

ДД обеспечивают непрерывное преобразование измеряемого давления (абсолютного, избыточного, дифференциального, разрежения, гидростатического и избыточного - вакуумметрического) нейтральных и неагрессивных (по отношению к контактирующим с ними материалам) сред в унифицированный токовый выходной сигнал 4-20 мА (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Место установки датчиков давления на трубопроводе

Датчики давления, имеющие вторичные преобразователи контактного типа, по сути, являются реле давления. Под реле давления обычно понимают устройства, выдающие информацию или в виде механического перемещения выходного звена или в виде электрического сигнала при достижении в гидрелинии заданного давления. Обычно реле давления выполняют в виде устройства, содержащего миниатюрный гидродвигатель с поступательным движением ведомого звена (гидроцилиндр, мембрана или сильфон), который в одну сторону перемещается под действием давления жидкости или газа, а в другую возвращается под действием возвратной пружины. Ведомое звено гидродвигателя очень часто управляет электрическими контактами.

На рисунке 4.5 показана схема реле давления, используемого на стенде для управления электродвигателем насосной установки.

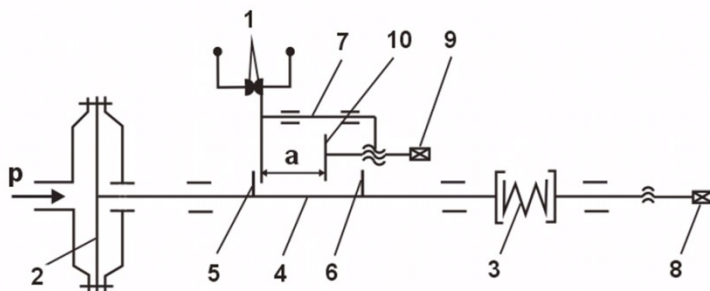


Рисунок 5.5 – Схема реле давления

Реле давления имеет постоянно замкнутые контакты 1. При увеличении давления p до давления, равного верхнему порогу срабатывания $p_{верх}$, диафрагма 2 перемещается вправо, сжимая пружину 3, и размыкает контакты 1, установленные в цепи управления электродвигателем, что приводит к отключению насосной установки. Воздействие от диафрагмы на пружину 3 и контакты 1 передается через толкатель 4 и упор 5, закрепленный на толкателе. При уменьшении давления p диафрагма 2 с толкателем 4 под действием пружины 3 перемещаются влево, однако это не приводит к замыканию контактов 1 до тех пор, пока давление p не достигнет нижнего значения $p_{ниж}$ (при этом упор 6, воздействуя на верхнюю рычажную систему 7, замкнет контакты 1, что приведет к включению насосной установки).

При воздействии на винт 8 и изменении усилия пружины 3 изменяется $p_{верх}$ – давление, при котором отключается насосная установка. При воздействии на винт 9 и перемещении упора 10 изменяется $p_{ниж}$ – давление, при котором включается насосная установка. Причем, при уменьшении размера a снижается $p_{ниж}$.

4.2. Экспериментальная часть

Описание экспериментальной установки приведено в подразделе 2.3.

4.3.2 Методика испытаний

После выполнения условий, описанных в п. 5.4.1, необходимо:

2. Включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение.

2. Провести экспериментальные исследования по определению порогов срабатывания реле давления. При этом необходимо 5 раз по манометру МН зафиксировать давления $p_{верх}$ (при котором отключается насосная установка) и $p_{ниж}$ (при котором включается насосная установка). При проведении опытов насосная установка будет работать в автоматическом режиме.

Результаты измерений необходимо занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты исследований

| № опыта | $p_{верх}$ -верхний порог срабатывания кгс/см ² | $p_{ниж}$ -нижний порог срабатывания кгс/см ² | $p_{верх}^{cp}$ кгс/см ² | $p_{ниж}^{cp}$ кгс/см ² | t- температура воды, °С |
|---------|--|--|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |

Необходимо также зафиксировать температуру воды t (предел измерения прибором температуры – 100 °С).

После проведения всех опытов необходимо отключить электрическое питание стенда и снять перемычки со штекерами с модуля электрического управления.

4.4. Обработка результатов

1. Используя результаты измерения давления, необходимо определить средние арифметические значения верхнего $p_{верх}^{cp}$ и нижнего $p_{ниж}^{cp}$ порогов срабатывания реле давления.

2 Необходимо также, используя выражение (5.2), определить допустимую погрешность измерения давления манометром, установленным на стенде.

4.5. Контрольные вопросы

1 Классификация, устройство, принцип действия, достоинства и недостатки, области применения датчиков для измерения температуры.

2 Классификация, устройство, принцип действия, достоинства и недостатки, области применения датчиков для измерения давления.

3 Назначение и устройство реле давления.

4 Методика экспериментальных исследований реле давления.

Лабораторная работа № 9

ИЗУЧЕНИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА И АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ

Продолжительность работы — 2 ч

Цель работы: 1 Изучение системы автоматического регулирования с регулированием по уровню;

2 Экспериментальные исследования САР.

Материалы для выполнения работы: описание лабораторной установки приводится дополнительно в зависимости от конкретного задания на выполняемый эксперимент.

5.1 Теоретические сведения

Системой автоматического регулирования (САР) называют совокупность взаимодействующих в процессе работы элементов, предназначенных для поддержания значения регулируемой величины (координаты) в заданных пределах.

Автоматическое регулирование является разновидностью

автоматического управления.

На рисунке 10.1 представлена функциональная схема САР с регулированием по отклонению. САР состоит из объекта регулирования ОР и регулятора Р.6.2.

Функциональная схема исследуемой в работе системы представлена на рисунке 10.1.

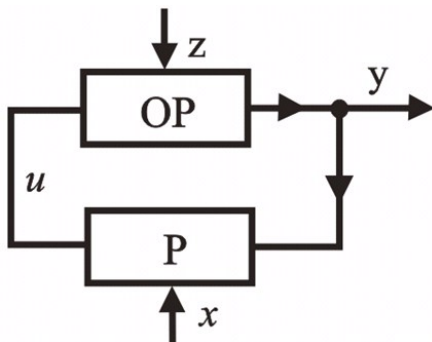


Рис. 5.1. Функциональная схема САР с регулированием по уровню

Все воздействия, приложенные к элементам системы, можно разделить на внешние и внутренние.

Внешние воздействия, в свою очередь, делятся на возмущающие z и задающие x . Возмущающие воздействия приложены к объекту регулирования ОР. Внешние воздействия на САР часто называют входными величинами.

Величину, по которой осуществляется регулирование, называют регулируемой или выходной величиной (обозначена на рисунке 10.1 буквой “ y ”).

Воздействия, передаваемые от одного элемента системы к другому, являются внутренними воздействиями системы. Примером внутреннего воздействия в системе на рисунке 6.1 является управляющее воздействие u , вырабатываемое регулятором Р под влиянием задающего воздействия x и регулируемой величины y .

Если к системе приложена одна входная величина, а регулирование осуществляется по одной выходной (регулируемой) величине, то такую САР называют одномерной.

В приведенной схеме САР реализуется принцип регулирования по отклонению, так как алгоритм регулирования формируется в зависимости от отклонения регулируемой величины y относительно заданного ее значения x . Управляющее воздействие формируется только при условии $\Delta = x - y \neq 0$, то есть при возникновении отклонения Δ . В этом случае

$$u = f(x - y). \quad (10.1)$$

Для измерения отклонения Δ и формирования управляющего воздействия u в схему (рисунок 10.1) введена обратная связь. Если в обратную связь включен регулятор (как это имеет место в рассматриваемом случае), то такую обратную связь называют главной. В рассматриваемой САР обратная связь является отрицательной, поскольку, как видно из формулы (10.1), регулируемая величина y и управляющее воздействие u – величины, противоположные по знаку.

Преимуществом принципа регулирования по отклонению является то, что управляющее воздействие формируется независимо от того, какая причина вызвала отклонение регулируемой величины. В этом случае нет необходимости анализировать возмущающие воздействия и выяснять, какое из них привело к отклонению.

Недостатком регулирования по отклонению является то, что управляющее воздействие формируется только после того, как возникнет ошибка $\Delta = x - y$ в выполнении заданного алгоритма функционирования системы.

На стенде имеется возможность проводить экспериментальные исследования двух типов наиболее распространенных в водоснабжении САР с регулированием по отклонению (уровня и давления).

5.2 Экспериментальная установка

Описание экспериментальной установки приведено в подразделе 2.2.

Объектом исследования в данной лабораторной работе является САР с регулированием по уровню.

Объектом регулирования (ОР) является верхний гидробак стенда Б2, который имитирует водонапорную башню (см. рисунки 2.2 и 2.3). При открытии вентиля В6 вода начинает перетекать из верхнего бака Б2 в нижний Б1, тем самым имитируется забор воды из водонапорной башни потребителями. Расход воды из верхнего бака является возмущающим воздействием (z), которое приводит к отклонению регулируемой величины (y) – уровня воды в баке. Процесс подачи воды в верхний бак механизирован, так как для этого используется насосная установка. Таким образом, основными устройствами объекта регулирования являются верхний гидробак (водонапорная башня) и насосная установка.

Применение в обратной связи (см. рисунок 10.1) объекта регулирования (ОР) регулятора (Р) позволяет автоматизировать процесс управления объектом. В состав регулятора входят потенциометрический датчик уровня поплавкового типа (ДУ), установленный в верхнем баке и электромагнитное реле (ЭМР).

Управляющее воздействие u представляет собой электрический сигнал, подаваемый на электродвигатель насосной установки.

5.3 Проведение испытаний

5.3.1 Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

2. С помощью перемычек со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рисунком 10.2 (на передней панели модуля электрического управления)

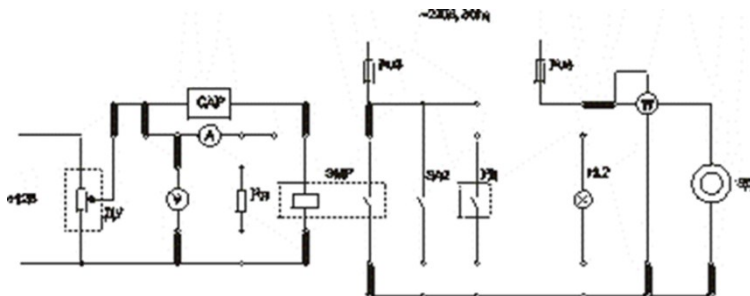


Рисунок 10.2 – Схема электрических соединений

2. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В3, В4 и В5 (закрытие вентиля осуществляется путем вращения маховичка управления по часовой стрелке). Вентиль В2 необходимо открыть, при этом при работе насоса вода из нижнего бака будет подаваться в верхний бак через расходомер РА.

3. Включить на модуле электрического управления питание электронного секундомера (нажать кнопку “ВКЛ”).

5.3.2 Методика испытаний

После выполнения условий, описанных в п. 10.4.1, необходимо:

1. Провести два опыта при различных степенях открытия вентиля В6. В первом опыте вентиль В6 открыть почти полностью (при этом рукоятку управления вентилем необходимо установить почти параллельно оси трубопровода).

2. Зафиксировать начальное показание скоростного расходомера (РА) – $V_{нач}$.

3. Включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение. При этом насосная установка начнет подавать воду в верхний бак и в дальнейшем будет работать в автоматическом режиме. Одновременно с включением насосной установки необходимо начать с помощью электронного секундомера отсчет времени, для чего следует нажать кнопку “Счет”. Опыт закончить сразу же после десятого

срабатывания насосной установки. При этом следует, нажав кнопку “Пуск”, остановить секундомер и зафиксировать время проведения опыта $t_{оп}$ и показание скоростного расходомера $V_{кон}$. Также при каждом срабатывании насосной установки необходимо (не останавливая секундомера) фиксировать время $t_{p i}$, в течение которого работает насосная установка, а также мощность $W_{эл i}$, подаваемую на вход электродвигателя (для получения мощности в ваттах показания ваттметра W необходимо умножать на 100).

Результаты испытаний занести в таблицу 5.1.

4. Далее при работающей САР прикрыть вентиль В6 и добиться заметного уменьшения расхода воды из верхнего бака в нижний, что будет соответствовать уменьшению забора воды потребителями (осуществляя настройку вентиля, необходимо следить за скоростью уменьшения уровня в трубке, установленной на верхнем баке). Затем необходимо выключить питание стенда и дождаться полного опорожнения верхнего бака, а также нажать кнопку “Сброс” секундомера.

5. После подготовки стенда к новому опыту необходимо повторно выполнить пункты 2,3 и 4.

6. После проведения двух опытов необходимо отключить электрическое питание стенда и снять перемычки со штекерами с модуля электрического управления.

5.4 Обработка результатов

Средний расход воды (расход, подаваемый насосом в бак Б2, примерно равен потребляемому расходу), то есть

$$Q_{ср} = \frac{V_{кон} - V_{нач}}{t_{оп}}$$

Потребляемая в течение опыта энергия

$$A = \sum_{i=1}^5 W_{эл i} t_{p i}.$$

При вычислении A необходимо значение $W_{эл i}$ подставлять в кВт,

5.5 Контрольные вопросы

1. Преимущества, назначение и структура систем автоматического регулирования.
2. В чем достоинства и недостатки принципа регулирования по отклонению?
3. Что представляют собой объект регулирования и регулятор в исследуемой САР?
4. Какие возмущающие и управляющие воздействия действуют на САР? По какому параметру осуществляется регулирование?
5. Поясните методику экспериментальных исследований САР.
6. Как зависит энергия, потребляемая САР, от расхода воды?

Лабораторная работа № 10

ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКОВ РАСХОДА ВОДЫ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА

Продолжительность работы — 4 ч

Цель работы: 1. Ознакомление с физической сущностью расхода, единицами и методами его измерения; 2. Классификация и устройство расходомеров; 3. Изучение методики измерения расхода.

Материалы для выполнения работы: описание лабораторной установки приводится дополнительно в зависимости от конкретного задания на выполняемый эксперимент.

6.1 Теоретические сведения

Расход – это количество жидкости (газа), проходящей через живое сечение потока в единицу времени. Расход – важнейшая в гидравлике величина.

Различают объемный (Q), весовой (Q_g) и массовый (Q_m) расходы. Единицы измерения этих расходов в системе СИ следующие: Q – м³/с; Q_g – Н/с; Q_m – кг/с.

Чаще всего при выполнении расчетов используют объемный расход. Для измерения объемного расхода на практике иногда используется внесистемная единица – л/мин.

Весовой и массовый расходы связаны с объемным следующими зависимостями:

$$Q_g = \gamma Q; \quad Q_m = \rho Q \quad (6.1)$$

Где γ и ρ – удельный вес и плотность жидкости (газа) соответственно.

Наиболее простым способом измерения расхода (он используется в данной лабораторной работе) является объемный с помощью мерного бака. Суть его заключается в том, что измеряется время t прохождения через систему определенного объема жидкости W , которая поступает в мерный бак. Зная W и t , затем вычисляют объемный расход, который равен:

$$Q = \frac{W}{t}. \quad (6.2)$$

Измерение расхода может осуществляться с помощью сужающихся расходомеров. В качестве устройств, сужающих поток и создающих перепад давления, используются диафрагмы, сопла, трубы Вентури и др.

Средство измерения (прибор учета, расходомер) — техническое средство, предназначенное для измерений. Имеет нормированные метрологические характеристики, умеет хранить и/или воспроизводить некую измеренную физическую величину в пределах установленной погрешности. В данном случае основным значением измерения является объем протекающей жидкости.

Первичный преобразователь расхода — составная часть средства измерения, обеспечивающая первичное измерение параметров протекающей жидкости и передающая их на вторичный преобразователь.

Вторичный преобразователь расхода — составная часть средства измерения, принимающая информацию о параметрах протекающей жидкости от первичных преобразователей и вычисляющая непосредственно расход. Именно вторичный преобразователь хранит и/или воспроизводит информацию об объеме протекающей жидкости.

Рассмотрим наиболее распространенные методы измерения напорных потоков.

Для определения расхода в напорных потоках достаточно измерять один параметр протекающей жидкости — скорость. Площадь сечения

всегда известна и ограничена стенками водовода. Расход определяется путем перемножения скорости потока жидкости на площадь проходного сечения.

Тахометрический метод.

Метод переменного перепада давления. Ультразвуковой времяимпульсный метод. Электромагнитный (магнитоиндукционный) метод.

Ультразвуковой времяимпульсный метод — зачастую называют просто «ультразвуковой», хотя это не совсем верно, поскольку ультразвуковых методов измерения расхода несколько. Как правило, в водовод монтируется минимум два пьезоэлектрических преобразователя друг напротив друга под углом 45° , которые попеременно работают как излучатель и приемник. Принцип действия данного метода основан на измерении скорости прохождения ультразвукового сигнала от излучателя до приемника, при этом скорость прохождения сигнала по потоку жидкости выше, чем против потока. Возможно исполнение как с врезными в стенки водовода датчиками, так и с накладными датчиками.

Преимущества: относительная универсальность - устанавливаются в водоводы диаметром от 15мм до 5000мм;

возможно измерение агрессивных сред при использовании накладных датчиков;

возможна высокая точность при измерении однородной среды без взвесей и пузырьков.

Недостатки: высокие требования к обслуживанию врезных датчиков, периодическая очистка; высокие требования к обслуживанию накладных датчиков — периодическая замена акустического геля и очистка внутреннего сечения водовода измерительного участка; погрешность: $\pm 0,5\%$ — $\pm 2\%$.

6.2 Экспериментальная установка

Стенд имеет сборно-сварную конструкцию на основе стальной сварной рамы с установленной на нее столешницей из постформинга. К столешнице крепится сборный каркас из алюминиевого профиля с отсеком для размещения электрооборудования стенда. На фронтальной плоскости каркаса установлена стальная перфорированная панель на которой закреплен блок гидроаппаратуры.

Общий вид стенда представлен на рис.1

На лицевой панели отсека электрооборудования расположены автоматические выключатели, цифровое табло контрольного расходомера, клавишные выключатели насоса, компрессора и

нагревателя, сигнальные индикаторы, терморегулятор «Овен» и дополнительные розетки «~220В» для подключения при необходимости компьютера и др.

За лицевой панелью расположены платы автоматики, пускатели, блок питания, электронные платы контрольного расходамера.

Блок гидроаппаратуры включает:

наборное поле с установленными на ней исследуемыми расходомерами;

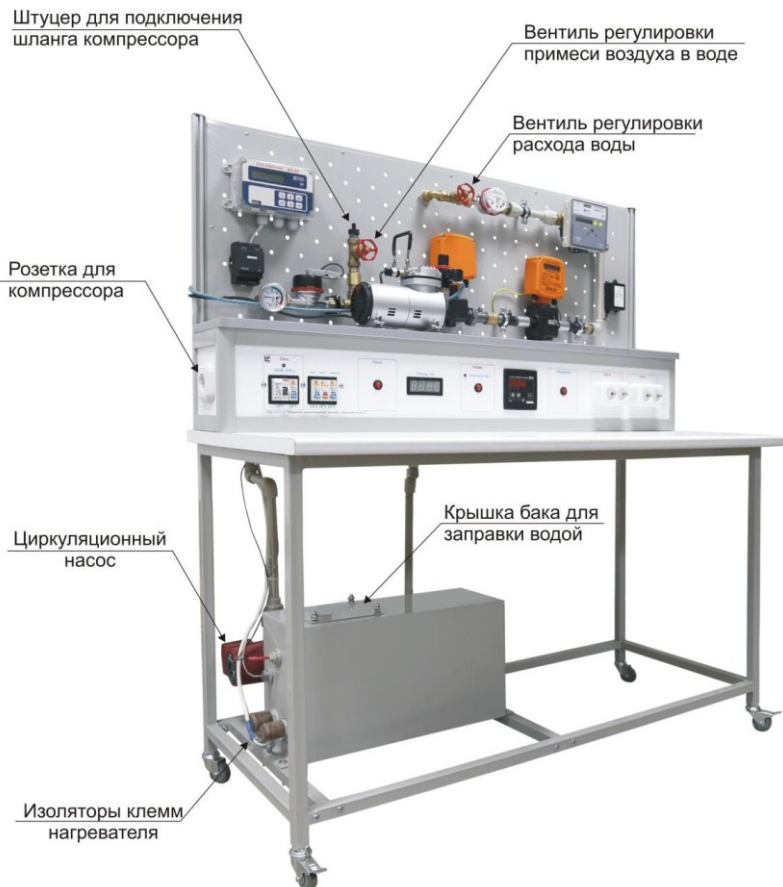
насос, трубопровод и арматуру; измерительную аппаратуру; водяной бак с подогревом; выносной воздушный компрессор.

Перед началом работы тщательно изучить «Руководство по эксплуатации терморегулятора ОВЕН ТРМ-1» и руководство по эксплуатации «Блока индикации БИ-03» и компрессора. Подготовку изделия к работе произвести в указанной последовательности.

Наполнить водяной бак до верхней отметки уровня (около 20л). Для чего снять на нем верхнюю крышку, закрепленную четырьмя декоративными гайками.

При первом запуске полностью открыть верхний вентиль регулировки расхода воды. Убедиться, что переключатель производительности циркуляционного насоса установлен на максимум (III). Проверить состояние вентиля подачи воздуха (регулировки примеси воздуха в воде) – он должен быть закрыт.

Вилку кабеля питания включить в розетку электросети 220В, 50Гц. Включить автоматические выключатели QF1 и QF2 на панели стенда. При этом включится терморегулятор водяного бака (это позволяет произвести его настройку без включения силовой цепи нагревателя).



Убедиться в наличии достаточного объема воды в баке(визуально - по указателю уровня и по индикации на панели - не горит светодиод «Низкий уровень воды»).

Включить автоматический выключатель QF3 «НАСОС» на панели стенда. Включение циркуляционного насоса производится клавишным выключателем «Насос». Клавишные выключатели имеют встроенную подсветку, которая включается при переходе выключателя во включенное состояние.

Дать насосу прокачать систему до удаления воздуха из трубопровода. На индикаторах расходомеров отобразятся величины расхода воды. Регулировка расхода воды осуществляется верхним вентилем.

Для проведения работы воздушными примесями в потоке воду, необходимо установить на удобном месте на столе или верхней крышке

отсека электрооборудования выносной компрессор. Подсоединить шланг компрессора к штуцеру над вентилем подачи воздуха с одной стороны и непосредственно к выходу компрессора с другой стороны. Сетевой кабель компрессора подключить в его розетку, размещенную на левой торцевой стенке отсека электрооборудования. На компрессоре имеется собственный выключатель питания. Установить его во включенное состояние. Включить автоматический выключатель QF5 «Компрессор». Включение компрессора производится клавишным выключателем

«Компрессор». Допускается управление компрессором собственным выключателем и его включение в дополнительные розетки.

При проведении работ с использованием подогретой воды, необходимо убедившись в наличии достаточного объема воды в баке (визуально - по указателю уровня и по индикации на панели

- не горит светодиод «Низкий уровень воды» включить автоматический выключатель QF4 «Нагрев». Включение клавишного выключателя «Нагрев» подключает к релейному выходу терморегулятора (контроля температуры воды в баке) к магнитному пускателю питания нагревателя. После включения пускателя начинается нагрев воды в баке. Температура в баке отображается на табло терморегулятора. Температура воды в исследуемом участке трубопровода контролируется по встроенному в трубопровод термометру ТБП-63.

6.3 Измерения расхода воды с помощью ультразвукового расходомера

Расход – это количество жидкости (газа), проходящей через живое сечение потока в единицу времени. Расход – важнейшая в гидравлике величина.

Различают объемный (Q), весовой (QG) и массовый (QM) расходы. Единицы измерения этих расходов в системе СИ следующие: Q – м³/с; QG – Н/с; QM – кг/с. Расход – это количество жидкости (газа), проходящей через живое сечение потока в единицу времени. Расход – важнейшая в гидравлике величина.

Различают объемный (Q), весовой (QG) и массовый (QM) расходы. Единицы измерения этих расходов в системе СИ следующие: Q – м³/с; QG – Н/с; QM – кг/с.



Рис 6.2. Классификация ультразвуковых расходомеров

Ультразвуковые колебания (частота выше 20 кГц), нашедшие широкое применение в различных отраслях техники, в том числе и измерительной, могут быть применены и для целей измерений расхода жидкостей и газов вне зависимости от электрических свойств измеряемой среды.

Ультразвуковой метод измерения расхода основан на явлении смещения звукового колебания движущейся средой. Поэтому, когда колебания распространяются по направлению скорости потока, то они тем быстрее достигают заданной (приемной) точки, чем больше скорость x или расход потока.

Время τ_1 прохождения звуковым колебанием расстояния между излучателем и приемником.

$$\tau_1 = \frac{L}{c+x} = \frac{L}{c} \cdot \frac{1}{\left(1+\frac{x}{c}\right)}$$

(6.1)

где L - расстояние между излучателем и приемником, м;

c - скорость звука в данной среде, м/с;

x - скорость или расход потока, м/с.

При распространении колебаний против скорости потока имеет место обратное явление замедление распространения, также пропорциональное скорости потока. В этом случае время τ_2 прохождения звуковым колебанием расстояния против скорости потока определяется по формуле

$$\tau_2 = \frac{L}{c-x} = \frac{L}{c} \cdot \frac{1}{\left(1-\frac{x}{c}\right)}$$

(6.2)

Так как величина отношения x/c весьма мала по сравнению с единицей, особенно для жидкостей, где c приблизительно равен 1000...1500 м/с, а x обычно не превосходит 3...4 м/с, то с большой степенью точности можно написать

$$\tau_1 = \frac{L}{c} \cdot \left(1 - \frac{x}{c}\right) = \frac{L}{c} - \frac{Lx}{c^2}$$

(6.3)

$$\tau_2 = \frac{L}{c} \cdot \left(1 + \frac{x}{c}\right) = \frac{L}{c} + \frac{Lx}{c^2}$$

(6.4)

Однако основывать ультразвуковые расходомеры только на измерении τ_1 и τ_2 было бы нерационально из-за погрешностей, связанных, с одной стороны, с возможными колебаниями скорости звука c (из-за изменения плотности потока), а главное с тем, что влияние скорости потока x на

времена τ_1 или τ_2 весьма мало по сравнению с влиянием скорости c . Иными словами полное изменение x от нуля до x_{\max} очень мало изменяет величины τ_1 и τ_2 (менее чем на 1%).

Положение резко улучшится, если построить прибор, который реагировал бы на разность времени τ_1 и τ_2 .

Из (6.3) и (6.4) получим

$$\Delta \tau = \tau_2 - \tau_1 = \frac{2L}{c^2} \quad (6.5)$$

Здесь чувствительность метода намерения будет нормальной и сохранится лишь незначительная погрешность, связанная с колебаниями величины c , причем во многих случаях есть средства для устранения и этой погрешности.

Имеется несколько путей выявления разности времени дельтах для определения скорости x :

- метод измерения разности фазовых сдвигов двух ультразвуковых колебаний, направляемых по потоку и против него;
- метод измерения разности частот повторения коротких импульсов или пакетов ультразвуковых колебаний, направляемых одновременно по потоку и против него;
- метод измерения разности времени прохождения коротких импульсов, направляемых одновременно по потоку и против него.

Кроме того, имеется еще четвертый метод определения скорости потока x , который основан не на выявлении разности времен дельтах, а на смещении потоком ультразвукового колебания, направляемого перпендикулярно оси трубы.

Устройство преобразователя и измерительной схемы ультразвукового расходомера, равно как и характер его работы, сильно зависят от того, производится ли излучение ультразвуковых колебаний по потоку и против него по одному или по двум разным электроакустическим каналам. В связи с этим ультразвуковые расходомеры разделяются на:

- однолучевые или одноканальные;
- двухлучевые или двухканальные.

В первом случае преобразователи несколько проще, но измерительные схемы, как правило, сложнее, так как возникает необходимость в запоминающем устройстве и в переключении пьезоэлементов с излучения на прием. Кроме того, возникают трудности в фазометрических измерительных схемах в связи многозначностью шкалы фазометров. С другой стороны, в двухлучевых приборах будут возникать погрешности,

если в обоих электроакустических каналах будут наблюдаться неодинаковые температуры или различный состав среды. Фазовые расходомеры бывают как однолучевые, так и двухлучевые; частотные и импульсные расходомеры, как правило, изготавливаются двухлучевыми.

6.4 Порядок выполнения работы и обработка результатов эксперимента.

При различных величинах расхода снять показания контрольного и исследуемого расходомера. Регулировка расхода воды осуществляется верхним вентиляем.

Определить порог чувствительности – минимальный расход при котором исследуемый расходомер начинает давать устойчивые показания.

Таблица 6.1

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| $g_1, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_2, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_3, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_4, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_{\text{ср}}, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_{1.\text{контр}}, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_{2.\text{контр}}, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_{3.\text{контр}}, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_{4.\text{контр}}, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_{\text{ср.контр}}, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $\Delta, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| □ | | | | | | |

Для каждого значения расхода произвести не менее 3-5 измерений расхода.

Вычислить среднее значение расхода исследуемого расходомера:

$$g_{\text{ср}} = (g_1 + g_2 + g_3 + g_4)/4$$

Вычислить среднее значение расхода контрольного расходомера:

$$g_{\text{ср.контр}} = (g_{1.\text{контр}} + g_{2.\text{контр}} + g_{3.\text{контр}} + g_{4.\text{контр}})/4$$

Вычислить абсолютную погрешность от табличного значения сопротивления для этой температуры:

$$\Delta = g_{cp} - g_{cp.контр}$$

Вычислить относительную погрешность от табличного значения сопротивления для этой температуры:

$$\square = \Delta / g_{cp.контр}$$

6.4.1 Порядок операций по включению установки в работу.

Убедиться в том, полностью открыт верхний вентиль регулировки расхода воды.

Убедиться, что переключатель производительности циркуляционного насоса установлен на максимум (III).

Проверить состояние вентиля подачи воздуха (регулировки примеси воздуха в воде) – он должен быть закрыт.

Убедиться в наличии достаточного объема воды в баке (визуально - по указателю уровня и по индикации на панели - не горит светодиод «Низкий уровень воды».

Включить автоматические выключатели QF1. Загорится индикатор «СЕТЬ».

Включить автоматические выключатели QF2. На табло «Расход» установятся нулевые показания. Включится терморегулятор ТРМ. Включится индикация на табло ультразвукового расходомера, вихревого ВПС и на блоке индикации БИ-03 электромагнитного расходомера МФ.

Включить автоматический выключатель QF3 «НАСОС» на панели стенда.

Включить циркуляционный насос клавишным выключателем «Насос».

Дать насосу прокачать систему до удаления воздуха из трубопровода. На индикаторах расходомеров отобразятся величины расхода воды.

Снять показания расхода с контрольного расходомера и с

исследуемого ультразвукового расходомера

6.4.2 Порядок операций по выключению установки.

Выключить циркуляционный насос клавишным выключателем «Насос».

Выключить автоматический выключатель QF3 «НАСОС» на панели стенда.

Выключить автоматические выключатели QF2.

Выключить автоматические выключатели QF1.

Открыть полностью верхний вентиль регулировки расхода воды.

6.5 Исследование характеристик вихревого расходомера.

6.5.1 Теоретическая часть.

Вихревыми называются расходомеры, расход которых зависит от частоты колебания давления. Колебания давления возникают в потоке в процессе вихреобразования или колебания струи либо после препятствия определенной формы, установленного в трубопроводе, либо специального закручивания потока.

Первые вихревые расходомеры жидкости появились в шестидесятых годах в США, Японии и СССР. Первые разработки вихревых расходомеров газа и пара в России относятся к 90-м годам прошлого века.

По типу преобразователя вихревые расходомеры можно разделить на три группы:

Расходомеры, первичным преобразователем расхода которых является неподвижное тело. В них, после обтекания неподвижного тела, с обеих сторон по очереди возникают срывающиеся вихри, которые и создают пульсацию.

Расходомеры, в первичном преобразователе которых поток закручивается и, попадая в расширенную часть трубы, принимая

воронкообразную форму (прецессирует) создает пульсации давления.

Расходомеры, в которых в качестве первичного преобразователя выступает струя. Пульсации давления в этом случае создаются автоколебаниями струи, при вытекании ее из отверстия.

Строго говоря, термин вихревой расходомер применим только к приборам первых двух групп. Но так как у расходомеров третьей группы движение потока определяется колебательным характером изменения параметров, их тоже можно отнести к вихревым расходомерам. В первой и третьей группах расходомеров характеры протекания процессов будут наиболее похожими.

Вихревые расходомеры с обтекаемым телом

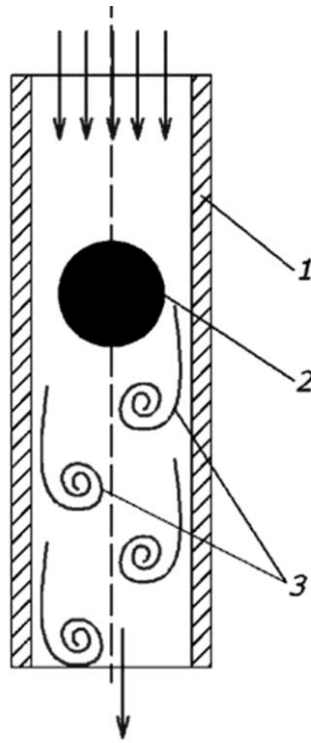


Рисунок 1 - Дорожка Кармана (схема образования вихрей), где 1- трубопровод, 2- тело обтекания, 3- вихри.

Поток, огибая тело, меняет направление движения обтекающих струй и увеличивает их скорость, при этом соответственно уменьшается давление. Далее за миделевым сечением тела происходит уменьшение скорости и увеличение давления. Одновременно на передней стороне тела образуется повышенное давление, а на задней стороне тела — пониженное давление. Пограничный слой, пройдя миделево сечение тела, отрывается от него и под воздействием пониженного давления, которое образуется за телом, меняет направление движения, создавая вихрь. Это происходит и в верхних, и в нижних частях обтекаемого тела. Образование вихрей с обеих сторон происходит поочередно, так

как вихрь с одной стороны мешает образованию вихря с другой. При этом за обтекаемым телом образуется вихревая дорожка Кармана (по имени фон Кармана, описавшего это явление в 1912 году).

Рабочие кромки тела обтекания являются самоочищающимися за счёт образования вихрей, и остаются чистыми в условиях сильно загрязнённых сред.

Загрязнение датчика вихрей не ведёт к изменению метрологических характеристик вихревого расходомера, так как полезную информацию несёт частота, а не амплитуда сигнала.

Частота срыва вихрей пропорциональна отношению скорости потока к размерам тела обтекания. При постоянном характерном размере тела частота пропорциональна скорости, а значит и объемному расходу.

Если при минимальном расходе вещества скорость в трубе будет достаточной для устойчивого образования вихрей, то расходомер с цилиндрическим обтекаемым телом может иметь диапазон измерения 20.

Чаще всего в вихревых расходомерах применяют призматические тела прямоугольной, треугольной или трапецеидальной (дельтообразной) форм. У последних основание обращено навстречу потоку. Такие тела, несмотря на небольшую потерю давления, образуют сильные и регулярные вихревые колебания. Кроме того, они удобны для преобразования частоты в выходной сигнал.

У некоторых вихревых расходомеров для увеличения выходного сигнала применяют два обтекаемых тела, расположенных на определенном расстоянии друг от друга. У ряда приборов тела обтекания — прямоугольные призмы. На боковых гранях второй призмы по потоку устанавливаются защищенные плоскими гибкими мембранами пьезоэлементы, что исключает влияние шумовых помех.

В таких расходомерах используется несколько вариантов

преобразования вихревых колебаний потока в выходной сигнал. В основном используются периодические колебания давления или скорости струй с двух сторон обтекаемого тела. Один или два полупроводниковых термоанемометра являются чувствительным элементом преобразователя. В вихревых расходомерах различных фирм применяют следующие типы преобразователей расхода: индуктивный, емкостной, струнный, интегрирующий, ультразвуковой и т.д.

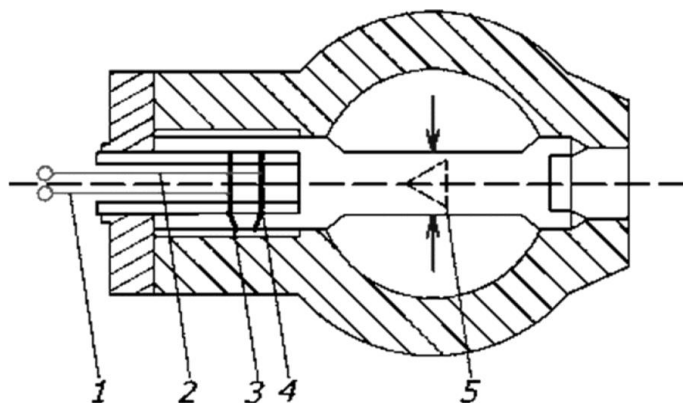


Рисунок 2 - Преобразователь вихревого расходомера пьезоэлементами
(1,2-электроды; 3,4- пьезоэлементы; 5- обтекаемое тело)

На рисунке 2 показана схема преобразователя с телом обтекания треугольной формы, которое вибрирует в направлении, перпендикулярном к потоку, под влиянием пульсации давлений на его боковых сторонах. Изгибные напряжения воспринимаются пьезоэлементами. Электроды пьезодатчиков включают навстречу друг другу, для того, чтобы вредные вибрации тела обтекания и трубопровода в меньшей степени влияли на выходной сигнал (разности напряжений). Такой преобразователь можно применять в различных условиях измерения (при температурах до 400 °С и давлениях до 15 МПа).

Вихревые расходомеры с телом обтекания треугольного, трапецеидального и квадратного типов предназначены для труб диаметром от 50 до 300 мм, погрешность измерения составляет $\pm 0,5-2\%$.

Важно помнить: перед вихревым расходомером с обтекаемым телом нужно иметь прямой участок трубы.

Использование вихревых расходомеров для труб большого диаметра (300 - 350 мм) затруднено:

- вследствие совпадения частоты свободных колебаний тела с частотой срыва вихрей,
 - из-за низкой эффективности вихреобразования,
 - при малых значениях относительного диаметра обтекаемого тела и неприемлемости больших его значений,
- из-за громоздкости и уменьшения частоты вихреобразования.

Вихревые расходомеры с прецессией воронкообразного вихря

Преобразователи этих расходомеров имеют приспособление, закручивающее поток, направляемый затем через короткие цилиндрические насадки или участок трубы в ее расширенную часть. В трубе вращающийся поток принимает воронкообразную форму, а его ось, вокруг которой вращается ядро вихря, сама вращается вокруг оси трубопровода. При этом давление на внешней поверхности вихревого потока пульсирует синхронно с угловой скоростью вращения ядра вихря, пропорциональной линейной скорости потока или объемному расходу. Для преобразования частоты пульсаций давления или скорости в измерительный сигнал применяются пьезоэлементы или полупроводниковые термоанемометры. Преобразователь состоит из двух ступеней — в 1-й происходит преобразование объемного расхода потока в частоту прецессии воронкообразного вихря, а во 2-й — преобразование этой частоты в измерительный сигнал.

Две возможные принципиальные схемы первой ступени

преобразователей таких расходомеров (представлены на рисунке 3 а-б), отличающиеся лишь способом закручивания потока.

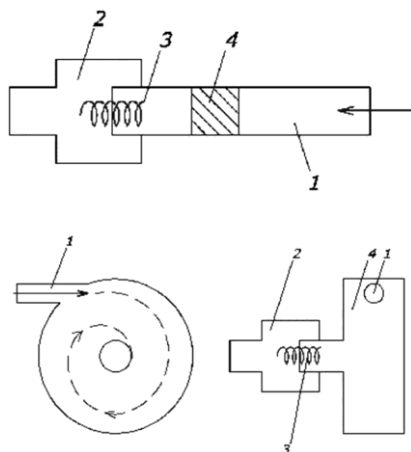
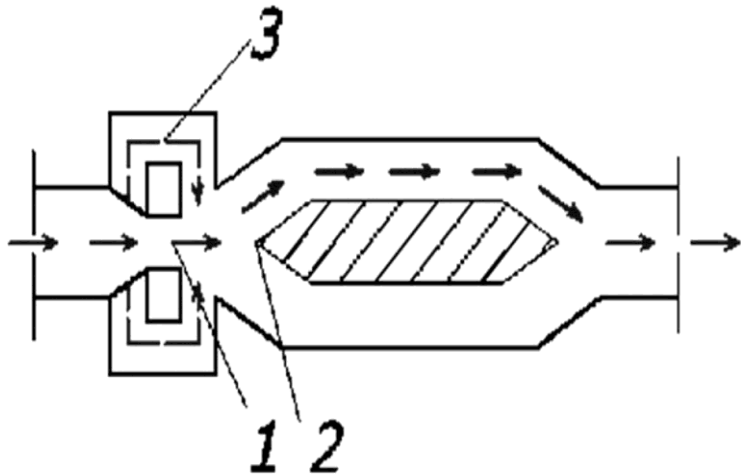


Рисунок 3- схемы первой ступени вихревых преобразователей(а - с винтовым завихряющим устройством, б- с тангенциальным вводом в камеру)

На рисунке 3,б жидкость или газ по трубе 1 входит тангенциально (т.е. по касательной) в цилиндрическую камеру 4, где закручивается и, через парубок 3, поступает в трубу или камеру большего диаметра 2. Там поток прецессирует, что сопровождается пульсациями скорости и давления. На рисунке 3,а поток вещества закручивается спирально расположенным лопаткам. В остальном схемы одинаковы.

Чаще всего в расходомерах применяют завихряющее винтовой устройство, так как оно не требует перед собой прямых участков трубы. Однако, потеря давления в этом завихряющем устройстве выше.

Вихревые расходомеры с осциллирующей струей



Преобразователь с осциллирующей струей может быть двух видов (рисунки 4 и 5)

Как показано на рисунке 4, поток жидкости или газа проходит через сопло и попадает в диффузор прямоугольного сечения. Вследствие случайных причин поток в каждый момент в большей степени прижимается к той или другой стенке диффузора (например к верхнему), и благодаря эжектирующему действию струи в преобразователе релаксационного типа давление в верхней части обводной трубки станет меньше давления в нижней ее части и по трубке возникнет движение, показанное стрелкой, которое перебросит струю к нижней стенке диффузора. Далее направление движения в обводной трубке изменится, и струя будет осциллировать.

В преобразователе с обратной гидравлической связью струя, прижатая к нижней стенке диффузора, не вся удаляется через выходной патрубок. Часть ее ответвляется в верхний обводной канал и, выходя через сопло 1, перебрасывает струю, выходящую из сопла 2, в нижнее положение. После этого произойдет ответвление части струи в верхний обводной канал,

струя будет переброшена вниз и наступит процесс ее колебаний, сопровождающийся синхронными колебаниями давлений с обеих сторон струи. Последний преобразователь с обратной связью лучше. Он обеспечивает более строго процесс осцилляции и имеет почти линейную зависимость между расходом и частотой колебания.

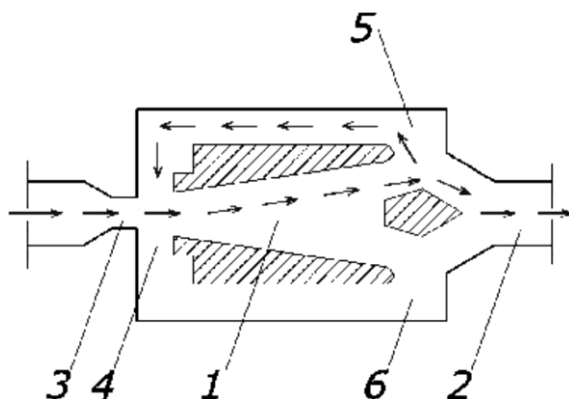


Рисунок 5- Преобразователь вихревого расходомера с колеблющейся струей с обратной гидравлической связью (1- диффузор 2- выходной парубок, 3- сопло1, 4-сопло2, 5-верхний отводной канал,6-нижний обводной канал)

Расходомеры с осциллирующей струей обычно используют в трубах маленьких диаметров: от 12 до 100 мм. Иногда преобразователи с осциллирующей струей могут применять в качестве парциальных преобразователей.

К достоинствам таких расходомеров следует отнести:

- Простоту и надежность преобразователя расхода;
- Отсутствие подвижных частей;
- Большой диапазон измерений;
- Линейный измерительный сигнал;
- Достаточно высокую точность измерения;
- Стабильность показаний;

- Независимость показаний от давления и температуры;
- Сравнительная несложность измерительной схемы;
- Возможность получения универсальной градуировки.

Недостатки вихревых расходомеров

- Невозможно использовать при малых скоростях потока (трудно измерять сигналы с маленькой частотой колебаний);
- Значительная потеря давления (может достигнуть 30-50 кПа);
- Изготавливают для труб имеющих диаметр от 25 до 150-300 мм (применение в трубах большего диаметра затруднительно, а в трубах меньшего диаметра – вихреобразование нерегулярно);
- Работу вихревых расходомеров могут нарушать акустические и вибрационные пульсации (такие помехи создаются различными источниками: насосами, компрессорами, вибрирующими трубами и т. д.).

Устранить помехи можно:

- Установив электрические фильтры (если частоты вредных пульсаций и измерительного сигнала разные);
- С помощью струевыпрямителя (его устанавливают на выходе преобразователя);
- Установив дополнительный преобразователь, который подключают встречно первому.

Сферы применения вихревых расходомеров:

- Химическая;
- Нефть и газ;
- Водоснабжение и водоотведение.
- Нефтехимическая;
- Пищевые продукты и напитки:
- Рафинадные заводы;
- Пивоваренные заводы;
- Молочные заводы;
- Производство безалкогольных напитков.
- Электростанции:

- Воздух;
- Поглощение тепла;
- Обогрев;
- Охлаждение.

Несмотря на довольно продолжительное время освоения этих приборов в измерительной технике, теория и практика вихревых расходомеров непрерывно развивается и совершенствуется. Идут поиски лучших схемных решений, более эффективных и технологичных конструкций первичных преобразователей расхода.

6.5.2 Порядок выполнения работы и обработка результатов эксперимента.

При различных величинах расхода снять показания контрольного и исследуемого расходомера (см.блок индикации БИ-03). Регулировка расхода воды осуществляется верхним вентиляем.

Определить порог чувствительности – минимальный расход при котором исследуемый расходомер начинает давать устойчивые показания.

Таблица 6.5.1

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| $g_1, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_2, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_3, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_4, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_{\text{ср}}, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_{1.\text{контр}}, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_{2.\text{контр}}, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_{3.\text{контр}}, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_{4.\text{контр}}, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $g_{\text{ср.контр}}, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| $\Delta, \text{м}^3/\text{ч}$ | | | | | | |
| □ | | | | | | |

Для каждого значения расхода произвести не менее 3-5 измерений расхода.

Вычислить среднее значение расхода исследуемого расходомера:

$$g_{\text{ср}} = (g_1 + g_2 + g_3 + g_4)/4$$

Вычислить среднее значение расхода контрольного расходомера:

$$g_{\text{ср.контр}} = (g_{1.\text{контр}} + g_{2.\text{контр}} + g_{3.\text{контр}} + g_{4.\text{контр}})/4$$

Вычислить абсолютную погрешность от табличного значения сопротивления для этой температуры:

$$\Delta = g_{\text{ср}} - g_{\text{ср.контр}}$$

Вычислить относительную погрешность от табличного значения сопротивления для этой температуры:

$$\square = \Delta / g_{\text{ср.контр}}$$

6.5.3 Порядок операций по включению установки в работу.

Тщательно изучить руководство по эксплуатации блока индикации БИ-03.

1. Убедиться в том, полностью открыт верхний вентиль регулировки расхода воды.

2. Убедиться, что переключатель производительности циркуляционного насоса установлен на максимум (III).

Проверить состояние вентиля подачи воздуха (регулируем примеси воздуха в воде) – он должен быть закрыт.

3. Убедиться в наличии достаточного объема воды в баке (визуально - по указателю уровня и по индикации на панели - не

горит светодиод «Низкий уровень воды».

4. Включить автоматические выключатели QF1. Загорится индикатор «СЕТЬ».

5. Включить автоматические выключатели QF2. На табло «Расход» установятся нулевые показания. Включится терморегулятор ТРМ. Включится индикация на табло ультразвукового расходомера, вихревого ВПС и на блоке индикации БИ-03 электромагнитного расходомера МФ.

6. Включить автоматический выключатель QF3 «НАСОС» на панели стенда.

7. Включить циркуляционный насос клавишным выключателем «Насос».

8. Дать насосу прокачать систему до удаления воздуха из трубопровода. На индикаторах расходомеров отобразятся величины расхода воды.

9. Снять показания расхода с контрольного расходомера и с исследуемого вихревого расходомера

6.5.4 Порядок операций по выключению установки.

1. Выключить циркуляционный насос клавишным выключателем «Насос».

2. Выключить автоматический выключатель QF3 «НАСОС» на панели стенда.

3. Выключить автоматические выключатели QF2.

4. Выключить автоматические выключатели QF1.

5. Открыть полностью верхний вентиль регулировки расхода воды.

6.6 Изучение крыльчатого расходомера

6.6.1 Экспериментальная установка

Описание экспериментальной установки приведено в подразделе

1.3

Объектом изучения является скоростной крыльчатый расходомер, а также мерный бак с указателем уровня (в качестве мерного бака используется верхний гидробак).

На стенде предусмотрена возможность определения расхода двумя способами.

6.6.2 Проведение испытаний. Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

1. С помощью переключателей со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рисунком 4.4 (на передней панели модуля электрического управления).

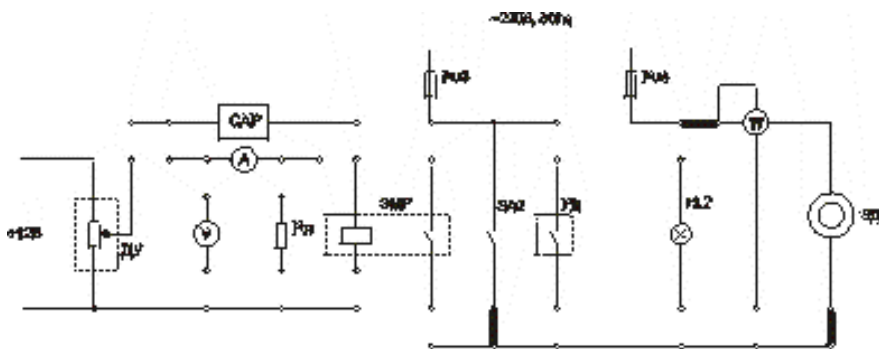


Рисунок 4.4 – Схема электрических соединений (к лабораторной работе №4)

2 На модуле гидравлического управления закрыть вентили В3, В4 и В5 (закрытие вентиля осуществляется путем вращения маховика управления по часовой стрелке). Вентиль В2 необходимо открыть (при управлении вентилями рекомендуется не прикладывать больших усилий).

3 Закрыть вентиль В6 (в закрытом положении рукоятка вентиля перпендикулярна оси трубопровода).

4 Включить на модуле электрического управления питание электронного секундомера (нажать кнопку “Вкл”)

6.6.3 Методика испытаний

После выполнения условий, описанных в п. 4.4.1, необходимо: Включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение. Включить насос тумблером SA2. При этом насос начнет подавать воду в верхний бак стенда.

Когда уровень воды в стеклянной трубке указателя, установленного на боковой поверхности верхнего бака (поз. 7, рисунок 1.2), совпадет с нижней меткой шкалы, необходимо нажать кнопку «Счет» управления секундомером. Когда уровень воды в указателе поднимется на 30 делений, необходимо выключить (остановить) секундомер, нажав для этого повторно кнопку «Пуск». Затем с табло секундомера считать время t_{δ} (время заполнения верхнего бака на 30 делений). Результат измерения записать в таблицу 4.1. После этого нажать кнопку «Сброс» (обнуление табло). Не выключая насос, перейти к выполнению пункта 3.

Используя секундомер и скоростной расходомер (установлен на панели модуля гидравлического управления), определить время t прохождения через скоростной расходомер объема воды W (объемом W необходимо задаться, приняв, например, $W = 0,020 \text{ м}^3$ (20 дм³)).

Таблица 4.1 – Результаты исследований

| № опыта | t_6 – время заполнения верхнего бака (от нижней метки шкалы до верхней) | W – объем воды, проходящей через скоростной расходомер, м ³ | t – время прохождения объема W , с | Q – расход воды, м ³ /с | W_6 – объем воды, поступившей в верхний бак за время t_6 , м ³ | C – цена деления указателя уровня верхнего бака, дм ³ /дел |
|---------|---|--|--|--------------------------------------|---|---|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | 0,02 | | | | |
| 3 | | | | | | |

1. Опыты по пунктам 2 и 3 повторить трижды. Каждый раз перед началом выполнения пункта 2 необходимо выключать насос и сливать воду из верхнего бака в нижний. Для слива воды необходимо открывать вентиль 6. Результаты испытаний занести в таблицу 4.1.

После обработки результатов исследований и определения C_{CP} необходимо при различных значениях расхода (расход изменяется при изменении давления в напорной линии насоса путем воздействия на вентиль В2) провести опыты по определению расхода воды в верхний бак с помощью мерного бака, а также с помощью скоростного расходомера (количество опытов указывает преподаватель). Пункт 5 выполняется для того, чтобы лучше научиться измерять расход воды.

После проведения всех опытов необходимо отключить электрическое питание стенда и снять переключки со штекерами с модуля электрического управления.

6.6.4. Обработка результатов

Расход воды (определяется по показаниям скоростного расходомера):

$$Q = \frac{W}{t}$$

Объем воды, содержащейся в верхнем баке между нулевым и тридцатым делениями указателя уровня:

$$W_{\bar{\sigma}} = Q \cdot t_{\bar{\sigma}}$$

Цена деления указателя уровня

$$C = \frac{W_{\bar{\sigma}}}{k}$$

где K – число делений ($K = 30$).

После определения цены деления в каждом опыте необходимо вычислить среднее арифметическое цены деления C_{CP} .

Контрольные вопросы

- 1 Понятие расхода, единицы измерения.
- 2 Методы измерения расхода жидкости.
- 3 Классификация расходомеров.
- 4 Устройство скоростных расходомеров.

Методика определения расхода жидкости с помощью мерного бака и скоростного расходомера

Лабораторная работа № 11

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ДАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОМПРЕССОРА (ГИДРОАККУМУЛЯТОРА)

Продолжительность работы — 2 ч

Цель работы: 1 Изучение систем автоматического регулирования, используемых в водоснабжении, с принципом регулирования по давлению;

- 2 Экспериментальные исследования САР.

Материалы для выполнения работы: описание лабораторной установки приводится дополнительно в зависимости от конкретного задания на выполняемый эксперимент.

9.1 Теоретические сведения

Системы автоматического регулирования по уровню в водоснабжении применяются в основном в сельской местности. Основным отличительным признаком такого типа систем является наличие водонапорной башни.

САР с регулированием по давлению находят применение, в основном, в городах. В этом случае резервуары с водой не возвышаются над зданиями, как это имеет место в САР с регулированием по уровню, а, как правило, их располагают ниже уровня поверхности земли. Для создания избыточного давления используются компрессоры, с помощью которых нагнетается воздух в резервуары с водой.

В последнее время САР с регулированием по давлению находят также применение в водоснабжении отдельных потребителей (коттеджей, дачных участков и т.д.). Естественно, что в этом случае САР имеют небольшие размеры.

9.2. Экспериментальная установка

Функциональная схема исследуемой в работе системы представлена на рисунке 7.1.

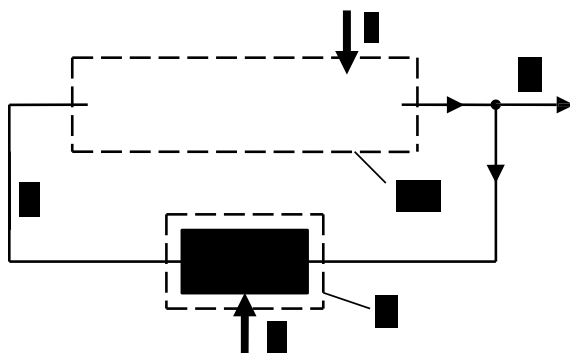


Рис. 6.1. Функциональная схема САР с регулированием по давлению

Как видно из рисунка 7.1, САР состоит из объекта регулирования ОР и регулятора Р. Основными устройствами, входящими в объект регулирования, являются пневматический бак ПБ (резервуар с водой) и насосная установка НУ, включающая центробежный насос с приводным однофазным электродвигателем.

Регулятором в данном случае является реле давления РД, схема которого приведена на рисунке 5.5. Реле давления управляет контактами, замыкающими и размыкающими электрическую цепь управления электродвигателем насосной установки.

Возмущающим воздействием z является расход воды потребителями.

Задающим воздействием x являются воздействия, направленные на регулирование верхнего и нижнего порогов срабатывания реле давления.

Пневматический бак представляет собой резервуар, разделенный водонепроницаемой упругой диафрагмой, по одну сторону которой находится вода, а по другую – воздух под давлением. Предусмотрена возможность изменения давления воздуха, для чего в корпус пневмобака установлен ниппель с золотником, имеющий такие же присоединительные размеры, как и ниппель с золотником автомобильного колеса (место установки ниппеля с золотником закрыто резиновой заглушкой).

Расход воды из пневматического бака на стенде осуществляется в верхний бак Б2 через трубопровод, в котором установлен вентиль. С помощью вентиля имеется возможность изменения сопротивления сети потребителей. Таким образом, с помощью трубопровода с установленным в нем вентилем и верхнего бака на стенде имитируется система потребления воды. Из верхнего бака вода затем перетекает в нижний бак, откуда затем всасывается насосом. Следует отметить, что гидравлическая схема стенда позволяет реализовывать различные варианты соединения пневматического бака с верхним гидробаком. При одном из вариантов соединения вода из пневматического бака поступает в верхний гидробак через расходомер РА.

6.3. Проведение испытаний

6.3.1. Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

1. С помощью перемычек со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рисунком 6.2 (на передней панели модуля электрического управления).

2. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В3 и В5 (закрытие вентиля осуществляется путем вращения маховичка управления по часовой стрелке). Вентиль В4 полностью открыть, также целесообразно открыть вентиль В6 (при этом рукоятка управления вентиляем В6 должна быть установлена параллельно оси трубопровода).

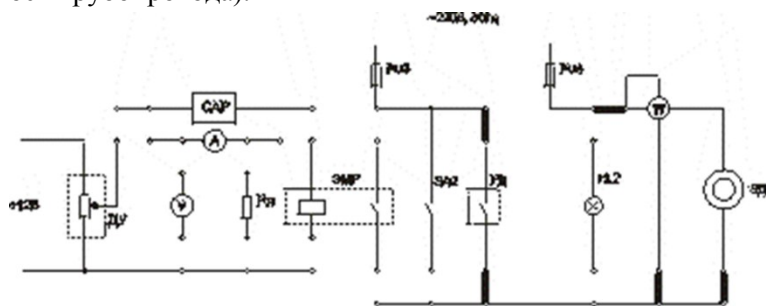


Рис. 6.2 – Схема электрических соединений

6.4.2 Методика испытаний

После выполнения условий, описанных в п. 7.4.1, необходимо:

1. Закрыть вентиль В2 и включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение. Насос начнет подавать воду в пневматический бак. При достижении давлением в баке значения, равного верхнему порогу срабатывания реле давления $r_{верх.i}$ насосная установка отключится. Необходимо зафиксировать по манометру значение $p_{верх.i}$, а также показание расходомера $V_{нач.i}$. Затем следует приоткрыть вентиль В2, при этом начнется процесс опорожнения пневматического бака в верхний бак и давление (см. по манометру) будет уменьшаться. При достижении давлением нижнего порога срабатывания реле давления $p_{нижж.i}$ насосная установка включится. В момент включения

насосной установки необходимо зафиксировать $p_{ниж.i}$, а также показание расходомера $V_{кон.i}$. Результаты измерений необходимо занести в таблицу 7.1 и отключить электрическое питание стенда.

Опыты по п.1 необходимо повторить трижды.

2. Определить зависимость затрат электрической энергии от расхода воды потребителями. Для этого необходимо включить на модуле электрического управления питание электронного секундомера (нажать кнопку “Вкл”) и провести два опыта при различных степенях открытия вентиля В2. В первом опыте вентиль В2 необходимо полностью открыть. Продолжительность каждого опыта рекомендуется ограничить пятью включениями (срабатываниями) насосной установки.

Таблица 7.1. Результаты исследований по определению параметров регулирования

| i – номер опыта | Пороговые значения давлений, кгс/см ² | | Показания расходомера, м ³ | | V _{пб.i} – объем пневматического бака запитываемый водой м ³ | V _{пб.ср} – среднее значение | Средние пороговые значения давлений, кгс/см ² | |
|-----------------|--|-------------|---------------------------------------|-------------|--|---------------------------------------|--|--------------|
| | $p_{верх.i}$ | $p_{ниж.i}$ | $V_{нач.i}$ | $V_{кон.i}$ | | | $p_{верх.ср}$ | $p_{ниж.ср}$ |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |

3. Зафиксировать начальное показание скоростного расходомера (РА) $V_{нач}$. Тумблер на модуле электрического управления необходимо установить в положение “Пуск”. При этом

насосная установка начнет подавать воду в пневматический бак и одновременно в верхний бак (к потребителям). Система будет работать в автоматическом режиме. Одновременно с включением насосной установки необходимо начать с помощью электронного секундомера отсчет времени, для чего следует нажать кнопку “Счет”. Опыт закончить в момент включения в шестой раз насосной установки. При этом следует, нажав кнопку “Пуск”, остановить секундомер и зафиксировать время проведения опыта t_{on} и показание скоростного расходомера $V_{кон}$. Также при каждом срабатывании насосной установки необходимо (не останавливая секундомера) фиксировать время t_{pk} , в течение которого работает насосная установка, а также мощность $W_{эл.к}$, подаваемую на вход электродвигателя (для получения мощности в ваттах показания ваттметра W необходимо умножить на 10).

Результаты испытаний занести в таблицу 7.2

Таблица 7.2 – Результаты исследований САР

| Номер опыта | к – порядковый номер срабатывания | время работы насосной установки | $W_{эл.к}$ – потребляемая электродвигателем мощность, Вт | Показания расходомера | | t_{on} – продолжительность опыта, с | $Q_{ср}$ – средний расход воды, м ³ /с | А – потребляемая в течение опыта энергия, кВт·час |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| | | | | $V_{нач}$ – начальное, м ³ | $V_{кон}$ – конечное, м ³ | | | |
| 1 | 1 | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---|---|--|--|--|--|--|--|--|
| | 5 | | | | | | | |
| 2 | 1 | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | |

6.5 Обработка результатов

Объем пневматического бака, заполняемый водой

Объем пневматического бака, заполняемый водой

$$V_{\text{пб.}i} = V_{\text{кон.}i} - V_{\text{нач.}i}.$$

Среднее значение объема бака, заполняемого водой

$$V_{\text{пб.ср}} = \sum_{i=1}^3 V_{\text{пб.}i} / 3.$$

Средние пороговые значения давлений:

$$P_{\text{верх.ср}} = \sum_{i=1}^3 P_{\text{верх.}i} / 3;$$

$$P_{\text{ниж.ср}} = \sum_{i=1}^3 P_{\text{ниж.}i} / 3.$$

Средний расход воды (расход, подаваемый насосом в бак Б2, равен потребляемому расходу), то есть

$$Q_{\text{ср}} = \frac{V_{\text{кон}} - V_{\text{нач}}}{t_{\text{оп}}}.$$

Потребляемая в течении опыта энергия

$$A = \sum_{i=1}^3 W_{\text{эл.}k} t_{p.k}.$$

При вычислении А необходимо значение $W_{\text{эл.}k}$ подставлять в кВт, а $t_{p.k}$ – в часах.

Результаты вычислений необходимо занести в таблицу 7.2, а затем построить графическую зависимость $A = f(Q_{\text{ср}})$.

6.6 Контрольные вопросы

- 1 Какие устройства входят в состав объекта регулирования и регулятора?
- 2 Какие возмущающие и управляющие воздействия действуют на САР? По какому параметру осуществляется регулирование?
- 3 Поясните методику экспериментальных исследований по определению параметров САР: пороговых значений давлений срабатывания, объема пневматического бака, заполняемого водой.
- 4 Как изменится объем пневматического бака, заполняемый водой, при увеличении и уменьшении давления воздуха в баке?
- 5 Поясните методику экспериментальных исследований САР по определению зависимости потребления энергии насосной установкой от расхода воды потребителями.

Лабораторная работа №12

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО МАНОМЕТРА В СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ

Цели работы:

1. Изучить устройство и принцип работы электроконтактного манометра (далее по тексту ЭКМ).
2. Научиться применять ЭКМ в схемах управления электрическим оборудованием (в том числе в системах позиционного регулирования).

Описание работы

Объектом автоматизации является ресивер с поршневым компрессором. Структурная схема автоматизации компрессора представлена на рисунке 5.1.

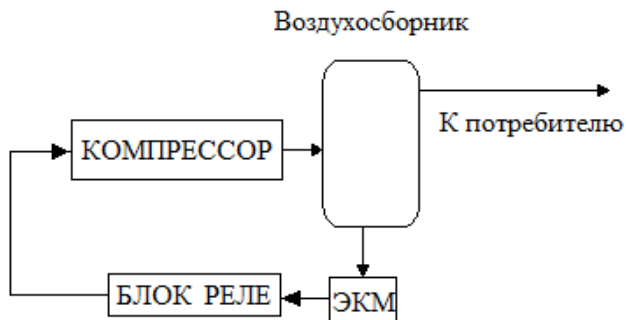


Рисунок 10.1 – Структурная схема автоматизации компрессора

Сжатый воздух поступает в воздухосборник, а из него – к потребителям.

Запуск и останов компрессора производится в зависимости от состояния контактов ЭКМ. При максимальном давлении в воздухосборнике, во избежание его разрыва, срабатывает контакт ЭКМ, настроенный на верхний предел давления. В этом случае компрессор находится в состоянии покоя. При снижении давления в воздухосборнике (за счет расхода воздуха потребителем) до минимального значения, срабатывает контакт ЭКМ, который настроен на нижний предел давления. В результате подается сигнал на запуск компрессора, который будет работать до тех пор, пока давление в воздухосборнике вновь не достигнет верхнего установленного предела. При этом подается сигнал на отключение компрессора.

Принципиальная электрическая схема управления компрессором представлена на рисунке 5.2.

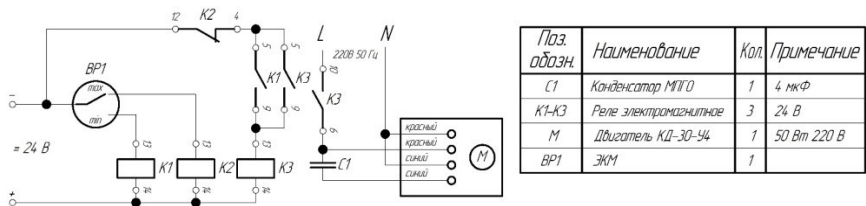


Рисунок 10.2 – Принципиальная электрическая схема управления электродвигателем компрессора

Теоретические основы

Давление – физическая величина, численно равная силе F , действующей на единицу площади поверхности S перпендикулярно этой поверхности.

Различают следующие виды давлений (см. рисунок 5.3):

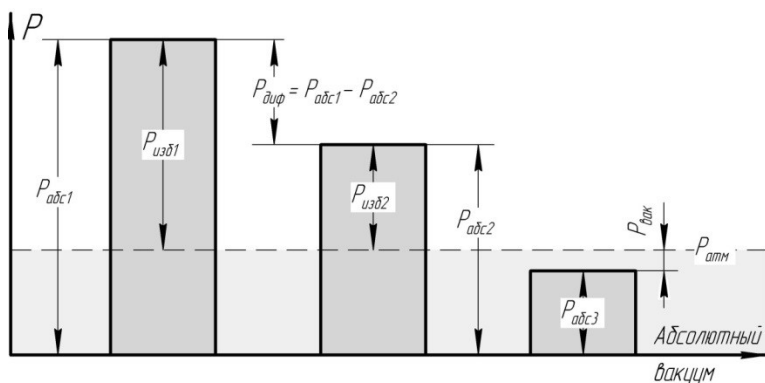


Рисунок 5.3 – Виды давлений

Атмосферное (барометрическое) давление $P_{атм}$ является следствием веса воздуха. Оно зависит от высоты и на уровне моря

составляет:

1013 мбар = 1,01325 бар = 760 мм ртутного столба = 101325 Па.

Абсолютное давление – это давление, значение которого при измерении отсчитывают от давления, значение которого равно нулю (абсолютный вакуум).

Дифференциальное давление – разность двух абсолютных давлений.

Существует два частных случая дифференциального давления: *избыточное* и *дифференциальное*.

Избыточное давление (манометрическое) $P_{\text{изб}}$ – разность между абсолютным и атмосферным давлением:

$$P_{\text{изб}} = P_{\text{абс}} - P_{\text{атм}} \quad (10.1)$$

Вакуумметрическое давление (разряжение) $P_{\text{вак}}$ – разность между атмосферным давлением и абсолютным давлением, меньше атмосферного (другими словами это отрицательное избыточное давление):

$$P_{\text{вак}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}} \quad (10.2)$$

Прибор, измеряющий атмосферное давление, называется *барометром*. Прибор, предназначенный для измерения абсолютного давления, называется *манометром абсолютного давления*. Прибор, измеряющий избыточное или вакуумметрическое давление – соответственно *манометром избыточного давления* и *вакуумметром*. Прибор, предназначенный для измерения вакуумметрического и избыточного давлений, называется *мановакуумметром*. Прибор, измеряющий очень малые давления (ниже и выше барометрического) называется *микроманометром*. Прибор, предназначенный для измерения разности давлений, называется *дифференциальным манометром*.

Официально признанной единицей измерения давления является

Паскаль, Па (Pa).

1 Па = 1 Н/м² (давление силы в 1 Ньютон на площадь в 1 квадратный метр). Производные от этой единицы 1 кПа = 1000 Па и 1 МПа = 1 000 000 Па.

В различных отраслях техники используются следующие единицы: миллиметры ртутного (мм.рт.ст.) и водного (мм.вд.ст. или кгс/м²) столба, физическая атмосфера (атм), техническая атмосфера (ат или кгс/см²), бар.

Перевод единиц измерений давления и соотношения между ними приведены в таблице 5.1.

Таблица 10.1 – Соотношение между единицами измерения давления

| | МПа | бар | мм.рт.ст | мм.вд.ст. | атм. | кгс/см ² |
|-----------------------|---------|------------------------|----------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| 1 МПа | 1 | 10 | 7500,7 | 1,02·10 ⁵ | 9,8692 | 10,2 |
| 1 бар | 0,1 | 1 | 750,07 | 1,02·10 ⁴ | 0,98692 | 1,02 |
| 1мм.рт.ст | 133,32 | 1,333·10 ⁻³ | 1 | 1,36·10 ¹ | 1,316·10 ⁻³ | 1,36·10 ⁻³ |
| 1 атм. | 0,10133 | 1,0133 | 760 | 1,0332·10 ⁴ | 1 | 1,0333 |
| 1 кгс/см ² | 0,098 | 0,98 | 735,6 | 10 ⁴ | 0,96784 | 1 |

В данной работе рассматривается электроконтактный манометр избыточного давления с *одновитковой трубчатой пружиной Бурдона*.

Трубчатые пружины Бурдона представляют собой кругообразно согнутые трубки с овальным поперечным сечением. Давление измеряемой среды воздействует на внутреннюю сторону этой трубки, в результате чего овальное поперечное сечение принимает почти круглую форму. В результате искривления пружинной трубки возникают напряжения в кольцах трубки, которые

разгибают пружину. Не зажатый конец пружины выполняет движение, пропорциональное величине давления. Движение передаётся посредством стрелочного механизма на шкалу.

Конструкция манометра избыточного давления с секторным передаточным механизмом представлена на рисунке 5.4.

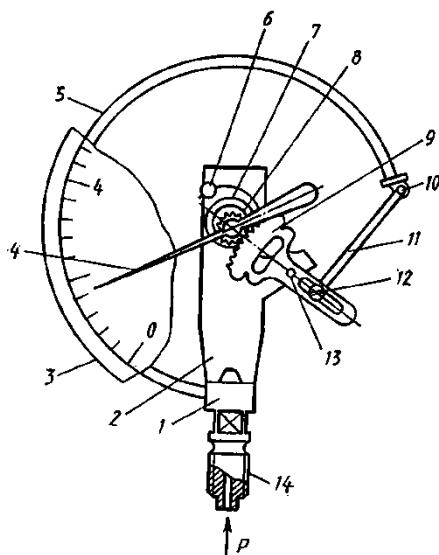


Рисунок 10.4 – Устройство манометра с одновитковой трубчатой пружиной

Манометр состоит из трубчатой пружины 5, один конец которой впаян в отверстие держателя 1, а другой (подвижный) конец наглухо запаян и несет на себе наконечник 10. Полость пружины связана с измеряемой средой через канал в держателе 1, снабженным радиальным штуцером 14. Держатель прибора оснащен платой 2, на которой монтируется трибкосекторный механизм. Последний включает зубчатое колесо (трубку) 8 и зубчатый сектор 9. Для исключения люфта в передаточном

механизме используется спиральная пружина 7, один конец которой с помощью штифта крепится на оси трубки, а другой – к колонке 6, укрепленной на плате 2. К хвостовику сектора 9 с помощью винта 12 крепится тяга 11. Посредством тяги перемещение свободного конца пружины передается зубчатому сектору, который имеет ось вращения 13. Вращение зубчатого сектора передается трубке, на оси которой насажена стрелка 4 для отсчета показаний на шкале 3. Регулировка хода стрелки производится винтом 12.

На практике широкое распространение получили манометры, снабженные электроконтактными сигнализирующими устройствами. На рисунке 5.5 показана принципиальная схема и внешний вид показывающего электроконтактного манометра типа ЭКМ-1У.

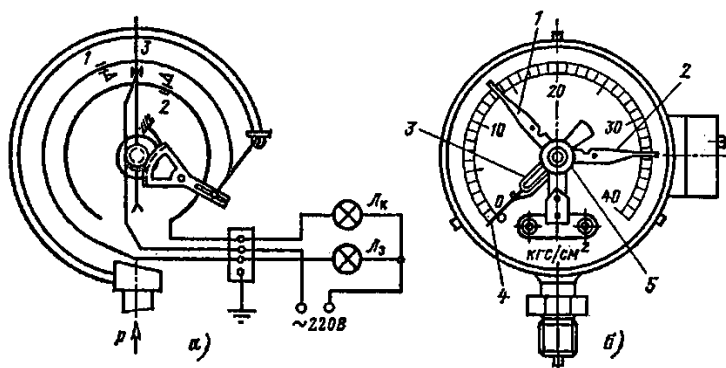


Рисунок 5.5 – Показывающий электроконтактный манометр:

а – схема манометра; б – внешний вид манометра

ЭКМ отличается от обычного манометра лишь наличием специальных электроконтактов 1, 2, 3. Установка электроконтактов 1 и 2 может быть произведена на любые отметки рабочей части

шкалы манометра вращением винта в головке 5, находящейся на наружной стороне стекла.

К минусам ЭКМ можно отнести небольшие токи коммутации, так они в среднем 0,3-0,5 А, поэтому мощные управляемые устройства должны подключаться через дополнительные мощные реле, которые потребуют для своей работы дополнительного питания. Именно поэтому ЭКМ называют еще и сигнализирующим, то есть он фактически сигнализирует об изменениях, а исполняющим устройством будет силовое реле.

Ход работы

1. Ознакомьтесь с теоретической частью данной работы.
2. Изучить структурную (рисунок 5.1) и принципиальную электрическую (рисунок 5.2) схемы автоматизации компрессорной установки.
3. С помощью мультиметра определить выводы контактов ЭКМ.
4. Установить нижний и верхний пределы срабатывания ЭКМ на отметках шкалы соответствующих 0,2 и 0,8 кгс/см².
5. Осуществить сборку схемы управления компрессорной установки согласно принципиальной электрической схеме.
6. После проверки собранной схемы преподавателем произвести ее запуск, и убедиться в ее исправности. Результаты наблюдений за работой занести в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Анализ работы схемы

| Давление в сборнике | Состояние элементов схемы | Состояние электродвигателя |
|---------------------|---------------------------|----------------------------|
| Нижний предел | | |
| Давление растет | | |
| Верхний предел | | |
| Давление падает | | |

7. Сделать выводы, ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчета

1. Название и цели работы.
2. Структурная схема автоматизации компрессора с кратким описанием (пояснением) ее работы.
3. Принципиальная электрическая схема управления электродвигателем компрессора.
4. Эскиз конструкции манометра с одновитковой трубчатой пружиной с обозначением всех элементов, входящих в его устройство.
5. Схема ЭКМ.
6. Таблица с записями результатов наблюдения за работой системы управления компрессором в зависимости от состояния контактов ЭКМ.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое давление?
2. Какие существуют виды давлений и в чем их особенности?
3. В каких единицах измерения определяется давление?
4. Как с помощью мультиметра можно определить выводы соответствующие определенным электроконтактам прибора?
5. В чем заключается назначение ЭКМ?
6. Как устроен ЭКМ и как он работает?
7. Как работает система поддержания давления внутри ресивера в данной работе?
В чем заключаются недостатки ЭКМ?