

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Кафедра теплогазоснабжения, вентиляции и гидравлики

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ
РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ
И ВОДООТВЕДЕНИЯ»

Составители:
К. И. ЗУЕВ
В. И. ТАРАСЕНКО



Владимир 2014

УДК 628.1 – 52(076)

ББК 38.761.1 – 5я7

М54

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор
кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и гидравлики
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
А. И. Евдокимов

Главный инженер
Муниципального унитарного предприятия «Владимирводоканал»
В. А. Лебедев

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

М54 **Методические** указания к лабораторным работам по дисциплине «Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения» / Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых ; сост. : К. И. Зувев, В. И. Тарасенко. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2014. – 68 с.

Изложена методика выполнения лабораторных работ по дисциплине «Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения» с описанием теоретических основ и вопросами для самопроверки.

Предназначены для студентов 5-го курса очной и заочной форм обучения специальности 270112 – Водоснабжение и водоотведение, 270800 – Теплогазоснабжение и вентиляция.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Ил. 26. Библиогр.: 5 назв.

УДК 628.1 – 52(076)

ББК 38.761.1 – 5я7

ВВЕДЕНИЕ

В методических указаниях изложен порядок выполнения лабораторных работ по дисциплине «Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения» с описанием теоретических основ. Они помогут студентам изучить принципы работы элементов систем автоматического регулирования, используемых в системах водоснабжения и водоотведения. Лабораторные работы проводятся на специально разработанном стенде для подготовки специалистов по направлениям «Водоснабжение и водоотведение», «Теплогазоснабжение и вентиляция». Оформление стенда вполне доступно для понимания студентами старших курсов. Содержание лабораторных работ позволяет изучить элементную базу систем автоматического регулирования, провести анализ полученных статических и динамических характеристик.

Студенты знакомятся с различными законами регулирования, которые применяются на практике, могут сравнить их и провести анализ динамических характеристик. Стенд позволяет получить знакомство с работой систем автоматического регулирования при различных режимах систем водоснабжения. Информативность стенда вполне подходит под уровень знаний не специалистов в области автоматики и систем управления. По каждой лабораторной работе приведены контрольные вопросы для самопроверки.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

1.1. 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.

1.2. Краткие 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 – составная часть 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) величинами. Статическая характеристика датчика может представляться аналитическим выражением, графиком, таблицей.

В практике автоматизации технологических процессов достаточно распространена задача измерения линейных и угловых перемещений. Широкое применение при этом находят **потенциометриче-**

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

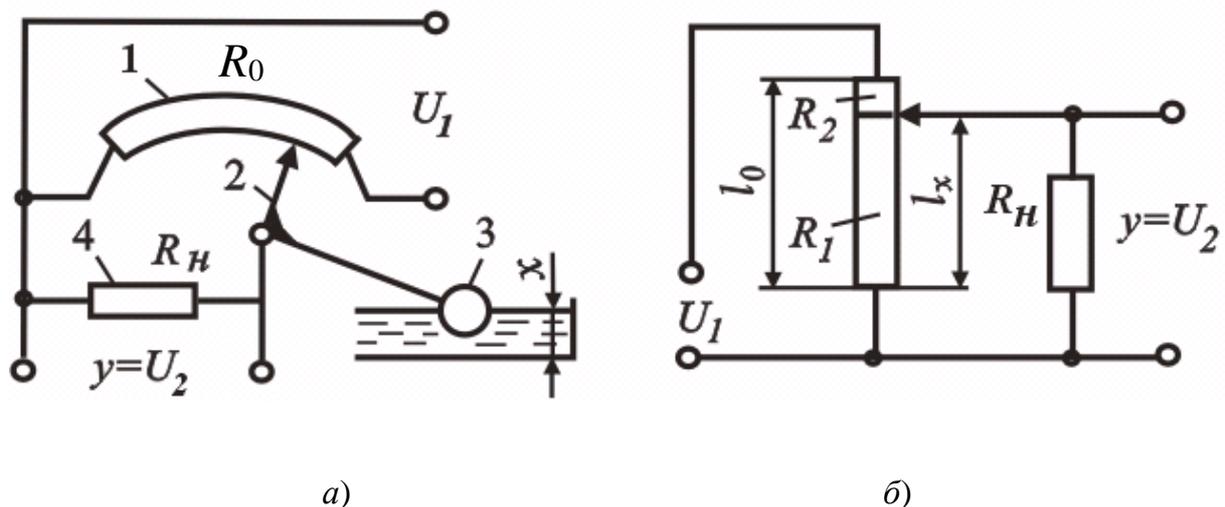


Рис. 1.1. Схемы потенциометрического датчика: а – датчик уровня поплавкового типа; б – расчетная электрическая схема преобразователя датчика

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 рис. 1.1, б. Применяя законы Ома и Кирхгофа для соответствующих элементов электрической цепи, находим

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_1}{R_0} \cdot \frac{1}{1 + R_1 \cdot R_2 / (R_0 \cdot R_H)}, \quad (1.1)$$

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:

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_1}{R_0} = U_1 \cdot \frac{l_x}{l_0}, \quad (1.2)$$

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: $l_x = k_1 x$, где k_1 – коэффициент передачи первого преобразующего элемента – двухплечего рычага. Статическая характеристика потенциометрического датчика уровня в этом случае будет линейной:

$$y = kx, \quad (1.3)$$

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

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

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 по сравнению со статической менее информативна, 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.

1.3. 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 определять:

- 1) характеристики потенциометрического датчика уровня (ДУ);
- 2) характеристики электромагнитного реле;
- 3) рабочие характеристики центробежного насоса;
- 4) различными способами расход жидкости, а также
- 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 рис. 1.2.



Рис. 1.2. Общий вид стенда: 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 (МГУ) и электрического управления, представляющие собой конструктивно законченные устройства, предназначены для управления, измерения регистрируемых величин и контроля за работой стенда.

На рис. 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 (см. рис. 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.

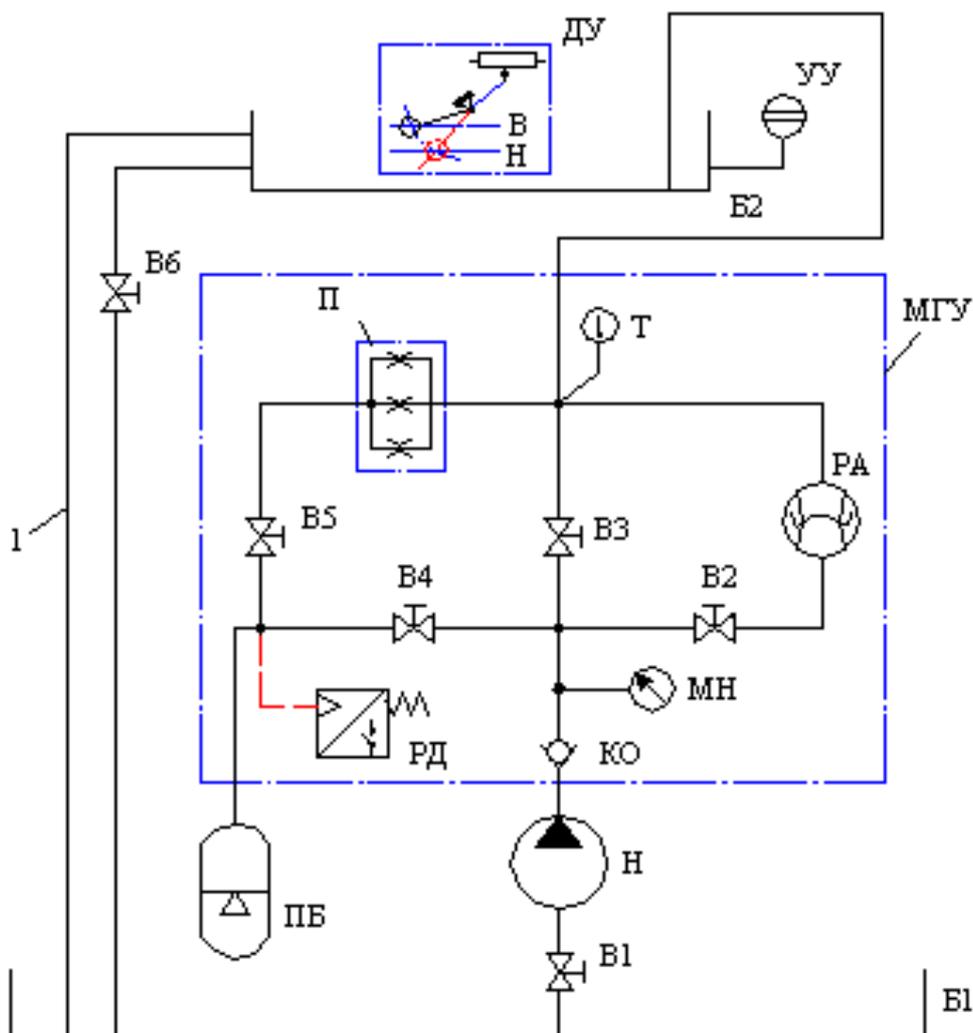


Рис. 1.3. Гидравлическая схема стенда

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 станда 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 (см. гидролинию 1 на рис. 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 станда, в нижнем гидробаке всегда есть вода, что предотвращает выход из строя гидронасоса Н, так как работа насоса всухую невозможна.

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

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

ЭМР – электромагнитное реле;

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

ЭД – электродвигатель привода гидронасоса;

R_H – 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.

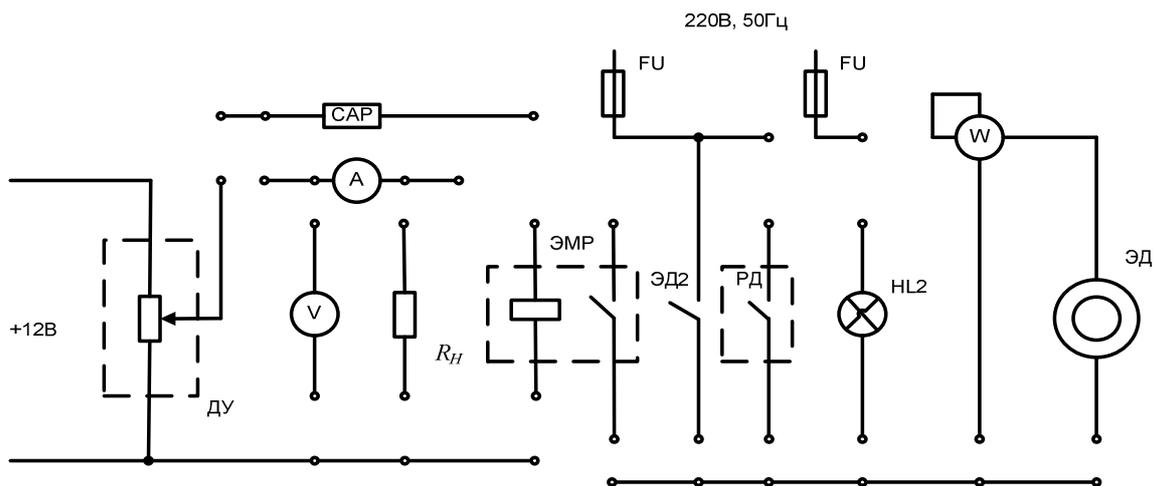


Рис. 1.4. Электрическая схема стенда

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 (см. поз. 9, рис. 1.2).

2. Заземлить корпус стенда.

1.4. Проведение испытаний

1.4.1. Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

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

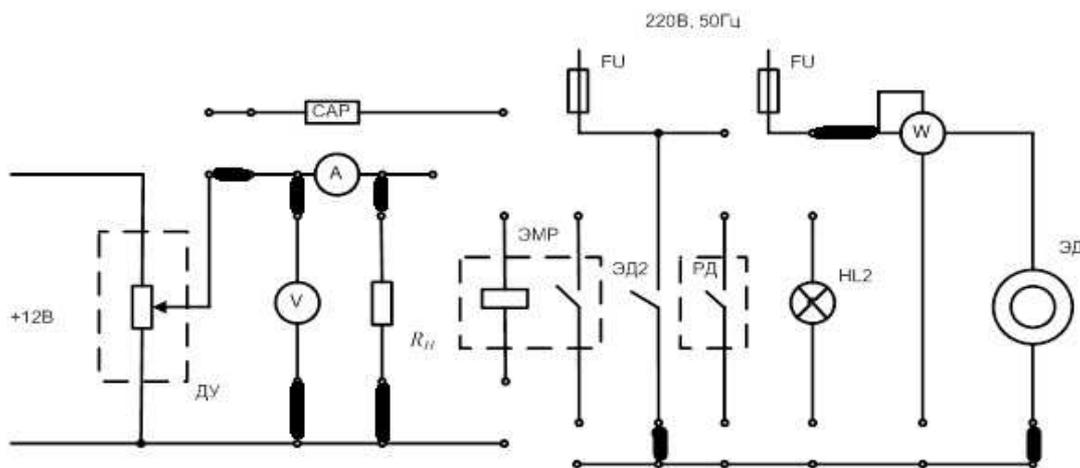


Рис. 1.5. Схема электрических соединений (к лабораторной работе № 1)

2. Убедиться по указателю уровня 7 (см. рис. 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 В6 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).

1.4.2. 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 табл. 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 потенцио-

метрического датчика, но уже не при заполнении, а при опорожнении верхнего гидробака. Измерения необходимо производить при закрытом вентиле В6. Результаты измерений занести в табл. 1.2, которая отличается от табл. 1.1 только названием («Результаты исследований потенциометрического датчика при опорожнении бака») и поэтому здесь не приводится.

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.

1.5. 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 мл 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.

1.6. 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 № 2

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЛЕ

2.1. Цель работы

1. Изучение назначения, классификации, устройства, правил обозначения на схемах, основных характеристик электромагнитных реле.
2. Проведение экспериментальных исследований электромагнитного реле на стенде.

2.2. Краткие теоретические сведения

Реле представляют собой одно из самых распространенных устройств современной автоматики.

Реле – это устройство, в котором при плавном изменении входного (управляющего) сигнала и достижении им определенного значения происходит скачкообразное изменение выходного (управляемого) сигнала.

По физической природе величин, на которые реагируют реле, их делят на **электрические, гидравлические, тепловые, магнитные** и др.

Реле обычно состоит из трех функциональных элементов: **воспринимающего, промежуточного и исполнительного**.

Воспринимающий элемент представляет собой преобразователь, в котором входной сигнал преобразуется в другой сигнал, иногда иной физической природы (например, в электрическом контактном реле электрический ток преобразуется электромагнитной системой в механическое усилие).

Промежуточный элемент сравнивает значение преобразованного сигнала с заданным значением и при его превышении передает входной сигнал на исполнительный элемент. У контактного реле промежуточным элементом является пружина.

Исполнительный элемент формирует выходной дискретный сигнал. У контактного реле – это подвижная система, замыкающая или размыкающая электрическую цепь.

Существует большое разнообразие электрических реле. В автоматических системах наибольшее распространение получили **электромагнитные и электронные** реле.

По принципу действия исполнительных элементов различают реле **контактные и бесконтактные**.

Наиболее часто в настоящее время применяются электромагнитные (контактные) реле.

Различают реле **постоянного и переменного** тока. В свою очередь, реле постоянного тока разделяют на **нейтральные и поляризованные**. Работа последних зависит от полярности входного сигнала.

Принцип действия электромагнитных реле основан на взаимодействии магнитного поля обмотки, по которой протекает ток, с ферромагнитным якорем. Воспринимающим элементом электромагнитного реле является обмотка, а исполнительным – контакты.

Устройство реле приведено на рис. 2.1. Оно состоит из катушки электромагнита 1, сердечника 2, подвижного якоря 3, возвратной пружины 4 и контактов (контактных пружин) 5. При пропускании тока через катушку создается магнитный поток, благодаря чему образуется тяговое усилие. При этом якорь притягивается к сердечнику и воздействует на пружину. В случае, когда тяговое усилие достигает

определенной величины, пружина сжимается. При этом контакты **a** и **b** замыкаются, а контакт **c** размыкается. Величина тягового усилия зависит от величины напряжения на катушке электромагнита.

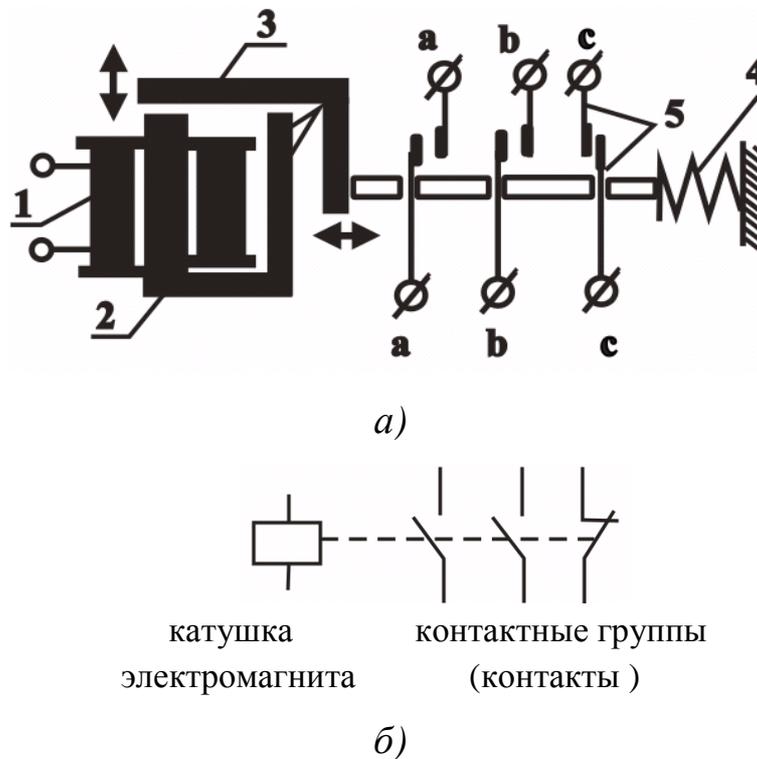


Рис. 2.1. Электромагнитное реле: а – конструкция;
б – условное обозначение в схемах

При составлении схем устройств на электромагнитном реле используют условное обозначение реле. При этом контакты реле изображаются в таком состоянии, в каком они находятся при **обесточенной** катушке (отпущенном якоре) или при напряжении на катушке, недостаточном для перевода контактов во второе состояние, то есть контакты **a** и **b** при отсутствии или низком значении тока через катушку разомкнуты, а контакт **c** – замкнут (рис. 2.1, б). Пунктирную линию, показывающую механическую связь между катушкой и контактами, изображать необязательно, но в таком случае вводятся буквенные и цифровые обозначения; катушка обозначается буквой **К** с порядковым номером реле, а обозначение контактов повторяет обозначение катушки, к которому через точку добавляется порядковый номер контакта.

Пример условного графического обозначения электромагнитного реле, конструкция которого показана на рис. 2.1, приведен на рис. 2.2.

Рассмотренное реле имеет два замыкающихся контакта – К1.1 и К1.2 и один размыкающийся – К1.3.



Рис. 2.2. Условное графическое обозначение электромагнитного реле

Следует отметить, что катушка реле и контакты между собой электрически изолированы и могут находиться в разных электрических цепях. Например, катушку реле можно питать током низкого напряжения, в то же время контакты могут управлять цепями высокого напряжения. Такое разделение цепей позволяет повысить безопасность устройств. Также разделение цепей необходимо, когда напряжение управления катушкой имеет низкий уровень, а контакты установлены в линии с высоким напряжением, что имеет место в данной лабораторной работе. На стенде сигнал с выхода потенциометрического датчика уровня (напряжением менее 12 В) поступает на катушку электромагнитного реле. Контакты реле установлены в цепи управления электродвигателем (напряжение 220 В).

Электромагнитные реле широко применяются для управления электродвигателями как в режиме ручного управления, так и в случаях автоматического управления.

Особенностью электродвигателей как потребителей энергии являются:

- большая величина потребляемого тока, особенно в момент пуска двигателя (пусковые токи могут превышать рабочие в 10 – 30 раз);
- зависимость величины потребляемого тока от нагрузки на валу двигателя (при полном торможении двигателя ток становится равным пусковому, что в течение короткого времени может привести к перегреву и выходу из строя обмоток двигателя).

Большой пусковой ток может создавать сильное искрение – дугу в коммутирующих элементах цепи двигателя, а это способствует быстрому разрушению (обгоранию) этих элементов. По этой причине для двигателей мощностью более 0,5 – 1 кВт, как правило, применяют специальные электромагнитные реле – **магнитные пускатели**.

Отличительной особенностью магнитного пускателя являются мощные, массивные контакты и усиленный электромагнит, позволяющий замыкать-размыкать контакты за очень короткое время (в результате чего они не успевают обгорать). В некоторых случаях применяют дополнительные меры для гашения дуги на контактах, например, так называемое “магнитное дутье”. Суть его в том, что возле каждого контакта пускателя специальной катушкой создается магнитное поле, которое возникающую электрическую дугу, представляющую собой плазменный проводник тока, “выталкивает” из зоны контакта.

В схемах управления электродвигателями широко используются **тепловые реле**. Основой теплового реле служит биметаллическая пластинка, механически связанная с единственным контактом этого реле. Рядом с биметаллической пластинкой устанавливается нагревательная спираль. При больших значениях тока спираль нагревается, биметаллическая пластинка изгибается и размыкает связанный с ней контакт. Нагревательная спираль обычно включается в цепь двигателя, а размыкающийся контакт включают в цепь катушки магнитного пускателя.

На рис. 2.3 приведена типовая схема управления трехфазным асинхронным электродвигателем М1. На схеме используются следующие обозначения:

КМ1, КМ2 – катушки двух магнитных пускателей;

КК1, КК1' – нагревательные спирали теплового реле;

КК1.1 – контакт теплового реле;

КМ1.1 – КМ1.5 – контакты, управляемые катушкой КМ1;

КМ2.1 – КМ2.5 – контакты, управляемые катушкой КМ2;

SB1, SB2 и SB3 – кнопки управления;

F1 – F3 – предохранители.

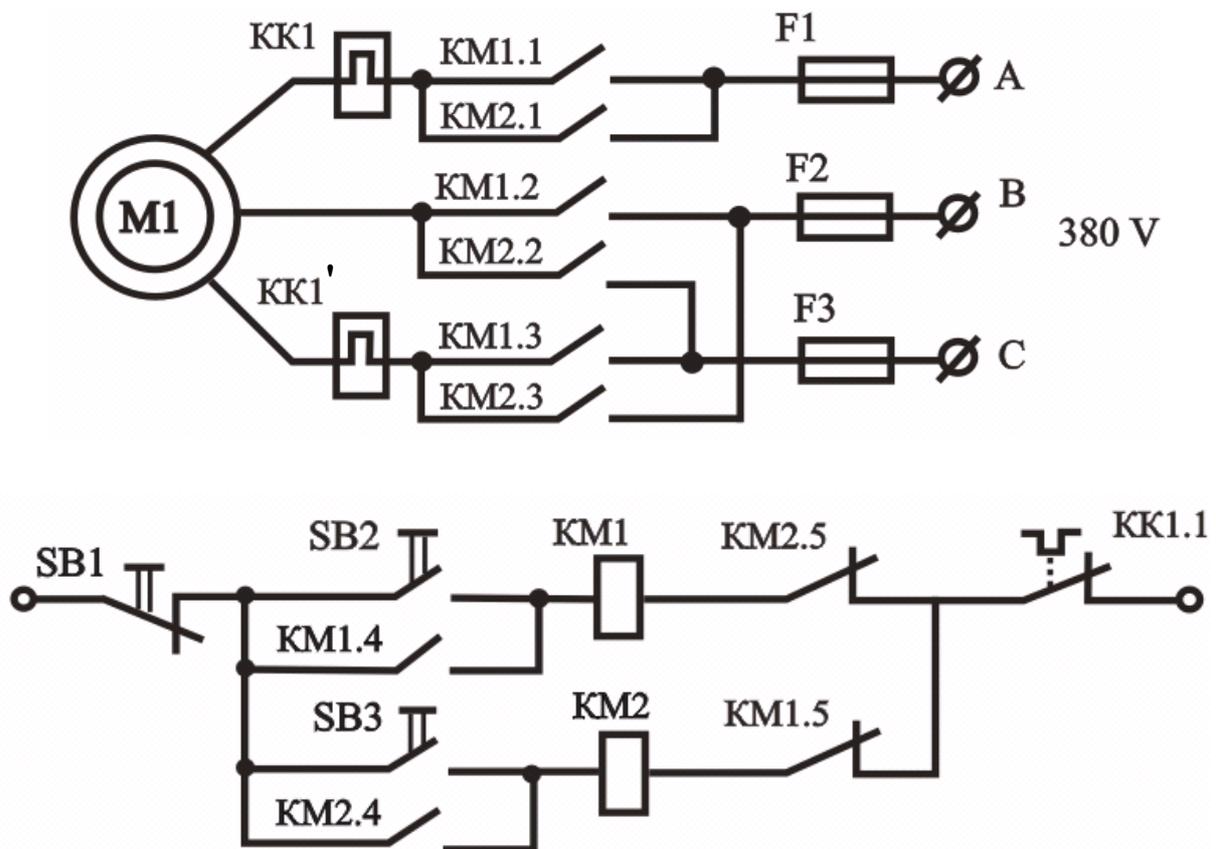


Рис. 2.3. Типовая схема управления реверсивным электродвигателем

Управление приведенной схемой осуществляется кнопками. Если реализовывать эту схему в системе автоматического управления, то следует иметь в виду, что вместо кнопок могут быть установлены контакты, управляемые дополнительными реле.

Рассмотрим работу системы, приведенной на рис. 2.3. При нажатии на кнопку SB2 включается катушка пускателя KM1 и замыкает с помощью контактов KM1.1, KM1.2 и KM1.3 цепь питания электродвигателя M1. При этом контакт KM1.4 замыкает цепь самоблокировки, в результате чего кнопку SB2 можно отпустить. Размыкающийся при нажатии кнопки SB2 контакт KM1.5 размыкает цепь питания катушки KM2, что позволяет избежать короткого замыкания в цепях электродвигателя.

В результате нажатия кнопки SB1 или размыкания контакта теплового реле KK1.1 электродвигатель отключается.

При нажатии кнопки SB3 срабатывает катушка пускателя KM2 и включает контакты KM2.1, KM2.2, KM2.3 управления двигателем. При этом порядок чередования фаз изменится на обратный, что приведет к вращению вала электродвигателя в обратную сторону. Замокнувшийся при нажатии кнопки SB3 контакт KM2.4 замкнет цепь самоблокировки, а разомкнувшийся контакт KM2.5 разомкнет цепь питания катушки KM1, в результате чего разомкнутся контакты KM1.1, KM1.2, KM1.3 и KM1.4.

Электромагнитные реле характеризуются рядом параметров, важнейшие из которых следующие:

- параметр срабатывания;
- параметр возврата;
- коэффициент возврата;
- время срабатывания;
- время возврата;
- максимальная частота переключения;
- чувствительность (мощность срабатывания).

Минимальное значение входного сигнала, при котором происходит срабатывание реле, называется **параметром срабатывания $x_{ср}$** .

Максимальное значение входного сигнала, при котором реле возвращается в исходное состояние, называется **параметром возврата $x_{в}$** .

Параметры срабатывания и возврата связаны между собой коэффициентом возврата

$$k_{в} = \frac{x_{в}}{x_{ср}}.$$

До тех пор, пока $x < x_{ср}$, выходной сигнал реле $y = 0$. При $x = x_{ср}$ выходной сигнал скачком изменяется от 0 до y_{max} и реле срабатывает. Если входной сигнал уменьшить, то при достижении $x = x_{в}$ произойдет возврат реле в исходное состояние.

Основные характеристики электромагнитных реле, используемых в настоящее время, следующие:

- время срабатывания 0,001...0,2 с;
- мощность срабатывания 10^{-3} ... 10^3 Вт;
- частота переключений – до 200 в с;
- коэффициент возврата 0,4...0,9.

2.3. Экспериментальная установка

Описание экспериментальной установки приведено в п. 1.3.

Объектом исследований в данной работе является электромагнитное реле, которое управляет одним контактом. Контакт установлен в цепи управления однофазным электродвигателем. При отсутствии или при низком значении напряжения на катушке контакт замкнут, то есть питание электродвигателя включено. При достижении напряжением значения, соответствующего верхнему порогу (параметр возврата x_b), контакт размыкается и отключает электродвигатель.

2.4. Проведение испытаний

2.4.1. Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

1. С помощью переключателей со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рис. 2.4 (на передней панели модуля электрического управления).

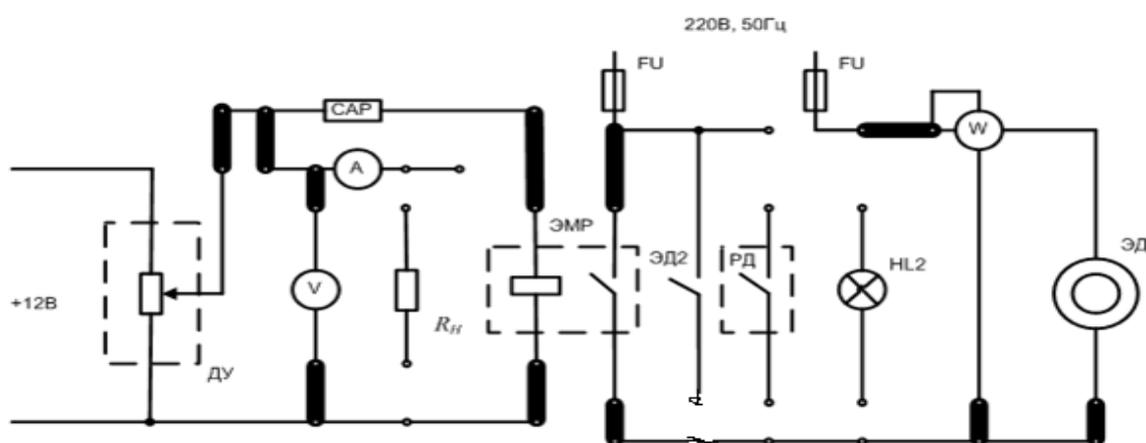


Рис. 2.4. Схема электрических соединений (к лабораторной работе № 2)

2. Убедиться по указателю уровня, что в верхнем баке отсутствует вода. Если верхний бак заполнен водой, то, открыв вентиль В6, необходимо слить воду из верхнего бака в нижний бак. После слива воды из верхнего бака вентиль В6 необходимо закрыть.

3. На модуле гидравлического управления вентиль В3 открыть, а вентили В2, В4 и В5 – закрыть.

2.4.2. Методика испытаний

После выполнения условий, описанных в п. 2.4.1, необходимо:

1. Включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер “СЕТЬ” на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение. При этом включится насосная установка и вода будет поступать в верхний бак. При достижении напряжением на катушке электромагнитного реле уровня, соответствующего параметру срабатывания x_{cp} (верхнего уровня воды в баке), реле разомкнет контакт в цепи управления и электродвигатель отключится. По вольтметру необходимо зафиксировать напряжение U , при котором произойдет отключение насосной установки ($U = x_{cp}$). Результат измерения занести в таблицу.

2. Приоткрыть вентиль В6. В результате вода начнет перетекать в нижний бак. При достижении напряжением на катушке электромагнитного реле уровня, соответствующего параметру возврата x_B (нижнего уровня воды в баке), реле замкнет контакт и включит насосную установку. По вольтметру необходимо зафиксировать напряжение U_B , при котором произойдет включение насосной установки ($U_B = x_B$). Результат измерения занести в таблицу.

3. Опыты необходимо повторить три раза. Результаты измерений занести в таблицу.

Результаты исследований

Номер опыта	Параметр срабатывания x_{cp} (напряжение U , В)	Параметр возврата x_B (напряжение U_B , В)	Коэффициент возврата k_B
1			
2			
3			

При считывании показаний вольтметра необходимо учитывать, что предел измерения вольтметра равен 10 В, то есть, чтобы получить значение напряжения в вольтах, необходимо показание прибора умножить на 0,1.

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

2.5. Обработка результатов

Для каждого опыта необходимо по формуле, приведенной на с. 21, определить коэффициент возврата k_v и занести в таблицу.

По результатам трех опытов необходимо определить среднее арифметическое k_v .

Параметры срабатывания и возврата – это напряжения на катушке исследуемого электромагнитного реле.

2.6. Контрольные вопросы

1. Назначение и классификация электромагнитных реле.
2. Устройство и обозначение электромагнитного реле.
3. Основные характеристики электромагнитного реле.
4. Используя схему, поясните принцип работы магнитного пускателя, используемого для управления реверсивным электродвигателем.
5. Поясните методику исследований электромагнитного реле, установленного на стенде.

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

3.1. Цель работы

1. Изучение устройства, основных технических показателей и характеристик центробежного насоса.
2. Экспериментальное определение рабочих характеристик насоса.

3.2. Краткие теоретические сведения

Насосами называются гидравлические машины, предназначенные для создания напорного потока жидкой среды (напор – это энергетический показатель). Этот поток создается в результате силового воздействия на жидкость в **проточной полости** или **рабочей камере** насоса.

По характеру силового воздействия на жидкость различают насосы **динамические** и **объемные**.

В **динамическом** насосе силовое воздействие на жидкость осуществляется в проточной полости, постоянно сообщающейся со входом и выходом насоса.

В **объемном** насосе силовое воздействие на жидкость происходит в рабочей камере, периодически изменяющей свой объем и попеременно сообщающейся со входом и выходом насоса.

Динамические насосы не обладают **свойством герметичности**. При неподвижном рабочем колесе, которое устанавливают в проточной полости (то есть при неработающем насосе), жидкость практически беспрепятственно может перетекать со входа на выход и наоборот, с выхода на вход. Из-за негерметичности динамические насосы не способны развивать высокие давления. Но в связи с тем, что проточная полость у этих насосов постоянно сообщена со входом и выходом и жидкость подается непрерывным потоком, динамические насосы имеют (по сравнению с объемными) более высокие подачи. Также из-за негерметичности динамические насосы (если они не снабжены специальными устройствами) не обладают **свойством самовсасывания**. Это значит, что если насос установлен выше уровня жидкости в баке, из которого она засасывается, то в начальный момент, когда всасывающий трубопровод и насос заполнены воздухом, насос не способен создать разрежение, достаточное для подъема жидкости, и начать работу. В связи с этим перед включением динамический насос необходимо заливать жидкостью и удалять из него воздух.

Объемные насосы обладают свойствами герметичности, самовсасывания, **способны создавать высокие давления**. Говорят, что если вытеснитель в рабочей камере имеет идеальное уплотнение, то такой насос способен создавать сколь угодно высокое давление. Но в связи с тем, что объемный насос постоянно работает в режиме переключения камер (каждая камера периодически подключается то к всасыванию, то к выходу насоса), он имеет по сравнению с динамическим насосом **невысокую подачу**.

Таким образом, динамические насосы способны обеспечивать высокие подачи при относительно невысоких давлениях. Объемные насосы, наоборот, обеспечивают высокие давления при относительно невысоких подачах.

Объемные насосы наибольшее применение находят в машиностроительных гидроприводах.

При решении задач водоснабжения и водоотведения с целью механизации рабочих операций применяются чаще всего динамические насосы. Механизация рабочих операций создает предпосылки для последующей автоматизации управления этими процессами. При этом насос – важнейшая часть объекта регулирования, так как вносит существенный вклад в формирование характеристик объекта. Поэтому при автоматизации управления процессами водоснабжения и водоотведения актуальна задача определения характеристик насоса.

К динамическим насосам относятся лопастные, вихревые, шнековые, дисковые, струйные и др.

В области водоснабжения и водоотведения чаще всего используются центробежные насосы.

В центробежном насосе жидкость под действием центробежных сил перемещается через рабочее колесо от центра к периферии. Жидкость, отбрасываемая лопатками колеса, поступает в спиральный отвод и далее в напорный трубопровод. Спиральный отвод предназначен не только для улавливания жидкости, выходящей из рабочего колеса, но и для частичного преобразования ее кинетической энергии в потенциальную энергию давления.

Центробежные насосы классифицируют по следующим основным признакам:

1) по направлению оси расположения, вращения или движения рабочих органов: **горизонтальный, вертикальный;**

2) по расположению рабочих органов и конструкций опор: **консольный, моноблочный, с выносными опорами, с внутренними опорами;**

3) по расположению входа в насос: **с боковым входом, с осевым входом, двусторонним входом;**

4) по числу ступеней и потоков: **одноступенчатый, двухступенчатый, многоступенчатый, однопоточный, двухпоточный, многопоточный.**

На рис. 3.1 показан в разрезе центробежный насос (горизонтальный, консольного типа, с осевым входом, одноступенчатый, однопоточный).

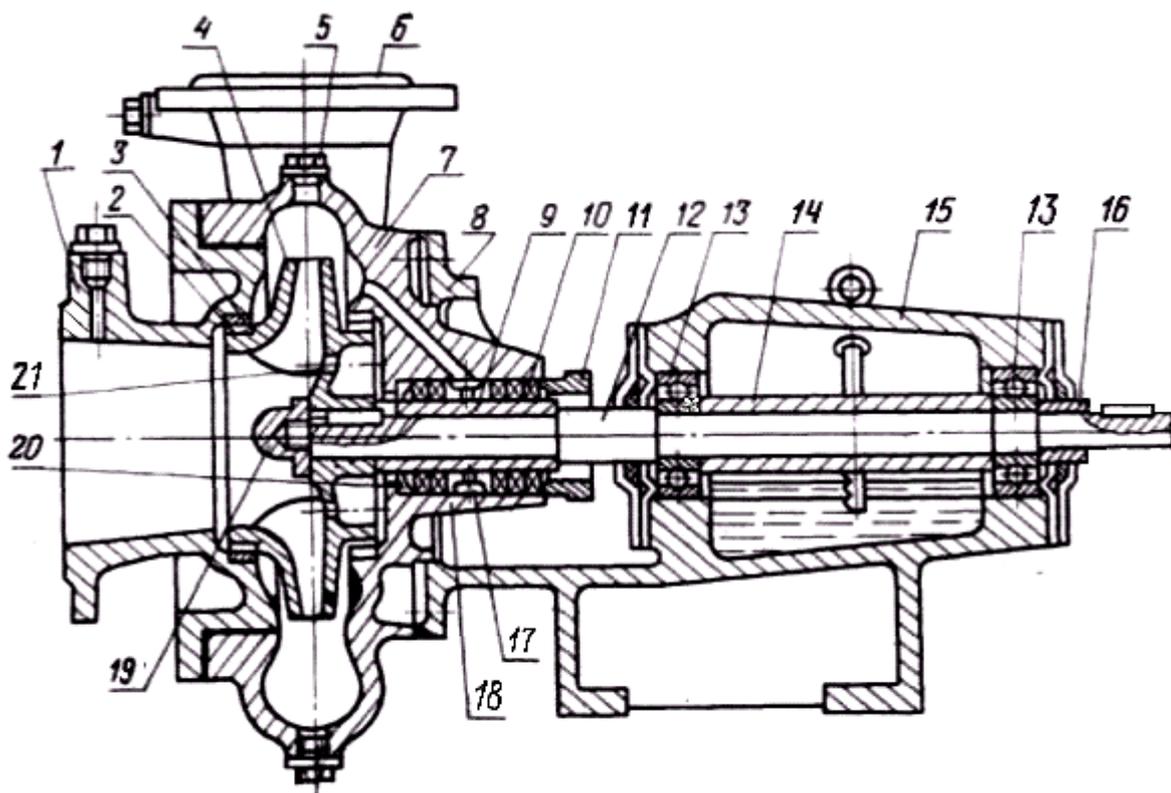


Рис. 3.1. Разрез центробежного насоса: 1 – входной (всасывающий) патрубок, составляющий одно целое с крышкой; 2 – уплотняющее кольцо; 3 – защитное кольцо; 4 – рабочее колесо; 5 – пробка, закрывающая отверстия для подключения всасывающей трубы вакуум-насоса; 6 – выходной (нагнетательный) патрубок; 7 – спиральный корпус; 8 – кронштейн; 9 – втулка защитная; 10 – набивка; 11 – крышка сальника; 12 – вал; 13 – шарикоподшипники (опоры вала); 14 – распорная втулка; 15 – стойка опорная с масляной ванной; 16 – втулка распорная; 17 – кольцо гидравлического уплотнения; 18 – корпус сальника (целая отливка с корпусом насоса); 19 – гайка; 20 – грундбукса; 21 – разгрузочное отверстие

Рабочее колесо установлено на вал с помощью шпонки. Для фиксации рабочего колеса в осевом направлении предназначена гайка. Вал установлен на двух подшипниках качения, которые смазываются жидкой смазкой (во многих конструкциях насосов подшипники смазываются консистентной смазкой). Уплотняющий узел насоса состоит из грундбуксы, набивки сальника, кольца гидравлического уплотнения и крышки сальника. Грундбукса служит для предохранения от износа корпуса, в котором установлен уплотняющий узел. Грундбукса представляет собой бронзовое ступенчатое кольцо.

На рис. 3.2 показан общий вид насосного агрегата, состоящего из электродвигателя 1, соединительной муфты 2 и центробежного насоса 3, которые смонтированы на плите 4.

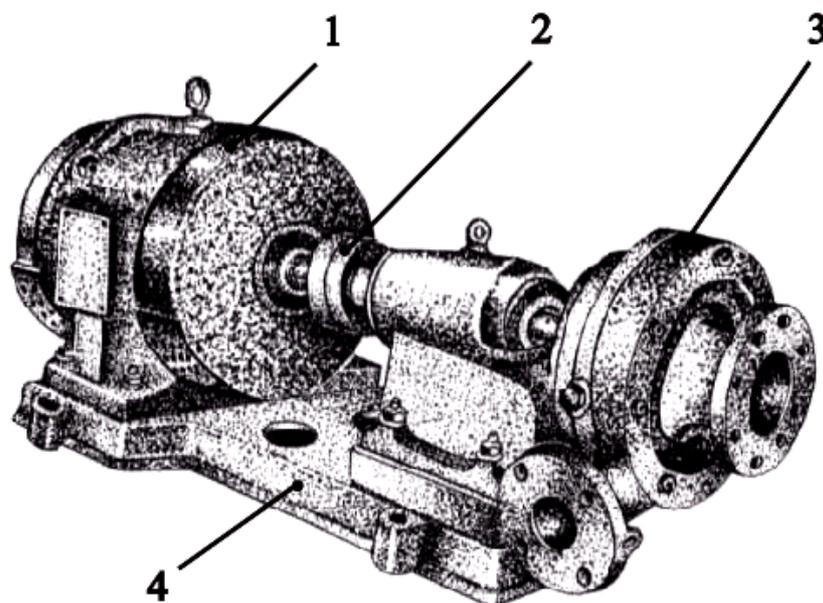


Рис. 3.2. Общий вид насосного агрегата

Для подачи воды (кроме морской) и других жидкостей, имеющих сходные с водой свойства по вязкости и химической активности, температурой до 85 °С, отечественная промышленность выпускает следующие типы насосов:

1) консольные и консольно-моноблочные типов К и КМ – горизонтальные, одноступенчатые, с рабочими колесами одностороннего входа;

2) одноступенчатые насосы с двусторонним входом, с осевым разъемом корпуса типа Д;

3) многоступенчатые секционные насосы типа ЦНС.

В соответствии с ГОСТом марки центробежных насосов включают:

- а) прописные буквы, указывающие на тип насоса;
- б) цифры после букв, обозначающие подачу насоса, м³/ч;
- в) цифры после наклонной черты либо после дефиса, обозначающие напор насоса, м.

Например:

К 8/18 – консольный насос с одним рабочим колесом, односторонним входом жидкости, подачей 8 м³/ч и напором 18 м;

КМ 90/20 – моноблок-насос консольного типа, с подачей 90 м³/ч и напором 20 м;

Д200-95 – одноступенчатый насос с двусторонним входом жидкости, подачей 200 м³/ч и напором 95 м.

Работа насоса характеризуется следующими основными параметрами: подачей, напором, давлением, мощностью, коэффициентом полезного действия (КПД) и частотой вращения.

Подачей насоса Q (м³/с) называется объем жидкости, проходящей в единицу времени через напорный (выходной) патрубок.

Подача насоса зависит от геометрических размеров проточной полости и рабочего органа и скорости его движения, а также от утечек жидкости внутри насоса между областями нагнетания и всасывания.

Напором насоса H (м) называется удельная (приходящаяся на единицу веса) энергия, приобретаемая жидкостью при прохождении через насос. Напор насоса

$$H = H_{\text{н}} - H_{\text{в}},$$

где $H_{\text{н}}$ – напор на выходе (в напорном патрубке) насоса, м;

$H_{\text{в}}$ – напор на входе насоса, м.

Учитывая, что напор в любом сечении трубопровода равен сумме геометрического z , пьезометрического $\frac{p}{\rho g}$ и скоростного $\frac{\alpha V^2}{2g}$ напоров (p – давление, V – средняя скорость жидкости, ρ – плотность жидкости, g – ускорение свободного падения, α – коэффициент Кориолиса), можно записать

$$H = (z_{\text{н}} - z_{\text{в}}) + \frac{p_{\text{н}} - p_{\text{в}}}{\rho g} + \frac{\alpha_{\text{н}} V_{\text{н}}^2 - \alpha_{\text{в}} V_{\text{в}}^2}{2g}. \quad (3.1)$$

Индекс “н” относится к напорному патрубку (выходу насоса), “в” – к входному.

Давление насоса p определяется из выражения

$$p = \rho g H. \quad (3.2)$$

Мощностью насоса N называется мощность, потребляемая насосом:

$$N = M\omega, \quad (3.3)$$

где M – крутящий момент на валу насоса;
 ω – угловая скорость вала насоса.

Полезной мощностью насоса N_{Π} называется мощность, приобретаемая жидкостью при прохождении ею насоса:

$$N_{\Pi} = \rho g Q H. \quad (3.4)$$

Отношение полезной мощности N_{Π} к мощности насоса N называется **коэффициентом полезного действия (КПД) насоса**:

$$\eta = \frac{N_{\Pi}}{N}. \quad (3.5)$$

При проектировании насосных установок необходимо знать рабочие характеристики насоса, с тем чтобы обеспечить работу насоса в области максимальных значений КПД.

Рабочие характеристики центробежного насоса – это зависимости $H = f_1(Q)$, $N = f_2(Q)$ и $\eta = f_3(Q)$. Получают рабочие характеристики при постоянной частоте вращения вала насоса. Зависимость $H = f_1(Q)$ называют **главной характеристикой**. Рабочие характеристики насоса, полученные при номинальной частоте вращения, называют **внешними**.

Проводя испытания насоса при различных частотах вращения вала насоса, иногда получают **универсальную характеристику** насоса, представляющую собой семейство зависимостей $H = f(Q)$, построенных при постоянных значениях КПД. Знание универсальной характеристики насоса особенно важно в тех случаях, когда привод насоса осуществляется от двигателя, имеющего переменную частоту вращения, например, двигателя внутреннего сгорания.

Для определения всасывающей способности насоса и условия возникновения кавитации проводят кавитационные испытания и строят **кавитационные характеристики** – зависимости $H = f_1(H_v)$, $Q = f_2(H_v)$ и $\eta = f_3(H_v)$, где H_v – вакуумметрическая высота всасывания насоса. Кавитационные характеристики определяют (как и рабочие) при постоянной частоте вращения вала насоса. Вакуумметрическая высота всасывания $H_v = p_{\text{ВАК}} / (\rho g)$, где $p_{\text{ВАК}}$ – вакуумметрическое давление на входе насоса.

3.3. Экспериментальная установка

Описание экспериментальной установки приведено в п. 1.3.

Объектом испытаний является центробежный насос типа КРМ-80. Привод насоса осуществляется от однофазного двигателя (напряжение 220 В).

3.4. Проведение испытаний

3.4.1. Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

1. С помощью перемычек со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рис. 3.3 (на передней панели модуля электрического управления).

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 управлении вентилями рекомендуется не прикладывать больших усилий).

3. Открыть вентиль В6 (в открытом положении рукоятка управления параллельна оси трубопровода).

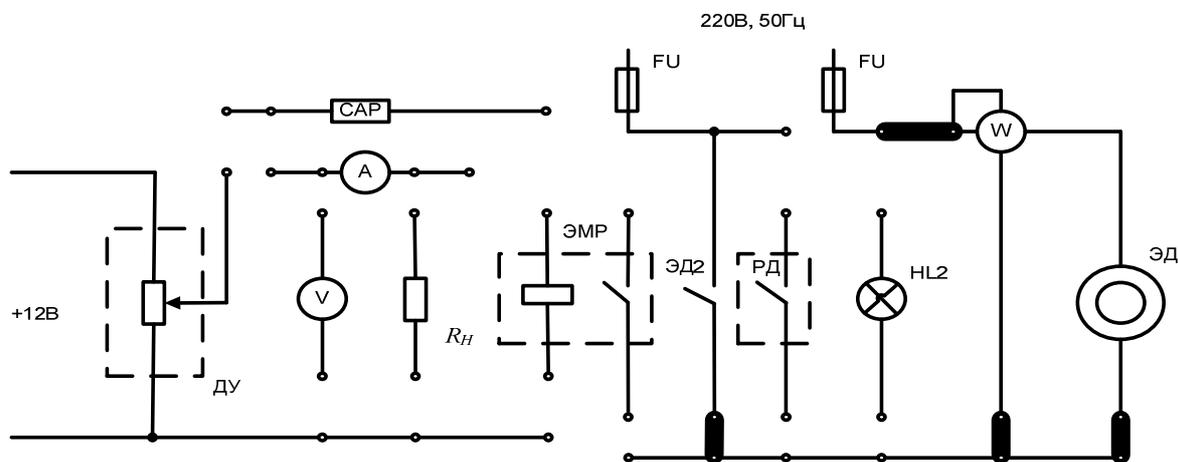


Рис. 3.3. Схема электрических соединений (к лабораторной работе № 3)

3.4.2. Методика испытаний

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

1. Включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение. Насос включить тумблером SA2.

2. Провести экспериментальные исследования по определению рабочих характеристик насоса. Вначале, воздействуя на вентиль В2, необходимо определить максимальное давление, которое развивает насос (по манометру МН). Затем, разбив диапазон изменения давления насоса на 5 интервалов, провести 6 опытов. В каждом опыте давление должно быть постоянным. Первый опыт следует начать с минимального давления насоса (то есть при минимальном сопротивлении сети, на которую работает насос).

В каждом опыте необходимо измерять:

1. Давление на выходе насоса p_n (по манометру).
2. Время t прохождения через расходомер объема воды W (объемом W необходимо задаваться, принимая, например, $W = 0,01 \text{ м}^3$ (10 дм³)).
3. Мощность $N_{\text{эл}}$, подводимую к электродвигателю (по ваттметру) (при определении мощности показание ваттметра необходимо умножить на 100, тогда мощность будем получать в ваттах).

Результаты измерений необходимо занести в таблицу.

Внимание: для избежания преждевременного выхода из строя насоса запрещается продолжительное время (более 30 с) работать при максимальных давлениях, так как в этом случае может не быть протока воды через насос (это видно по расходомеру, стрелка которого в этом случае не движется). Отсутствие протока воды может приводить к перегреву насоса.

Результаты исследований

Номер опыта	p_n – давление на выходе насоса, кгс/см ²	W – объем воды, проходящей через расходомер, м ³	t – время прохождения объема W , с	$N_{\text{эл}}$ – мощность на входе электродвигателя, Вт	Q – подача насоса, м ³ /с	N – мощность насоса, Вт	H – напор насоса, м	$N_{\text{п}}$ – полезная мощность насоса, Вт	η – КПД насоса
1									
:									
6									

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

3.5. Обработка результатов

При обработке результатов исследований приняты следующие допущения:

1) давление на входе насоса ($p_{\text{в}}$) принято равным атмосферному давлению (оснований для такого допущения два: наличие подпора жидкости на входе в насос, поскольку уровень воды в нижнем баке выше уровня расположения насоса; сравнительно низкие потери давления во всасывающем трубопроводе);

2) вертикальные координаты на входе и выходе насоса равны между собой, то есть $z_{\text{н}} = z_{\text{в}}$ (не учитывается вертикальный размер насоса);

3) средние скорости течения жидкости на входе и выходе насоса равны между собой, то есть $V_{\text{н}} = V_{\text{в}}$.

Подача насоса:

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

Мощность насоса

$$N = N_{\text{эл}} \cdot \eta_{\text{эл}},$$

где $\eta_{\text{эл}}$ – КПД электродвигателя (принять постоянным, равным 0,5).

Напор насоса определяется из формулы (3.1), которая с учетом принятых допущений имеет вид

$$H = \frac{p_{\text{н}}}{\rho \cdot g}.$$

Примечание. Давление $p_{\text{н}}$ необходимо в формулы подставлять в паскалях (Па). $1 \text{ кгс/см}^2 = 10^5 \text{ Па}$.

Полезная мощность насоса

$$N_{\text{п}} = p_{\text{н}} Q.$$

КПД насоса

$$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N}.$$

Результаты вычислений необходимо занести в таблицу, а затем построить рабочие характеристики насоса: $H = f_1(Q)$, $N = f_2(Q)$ и $\eta = f_3(Q)$.

3.6. Контрольные вопросы

1. Назначение и классификация гидронасосов, достоинства и недостатки динамических и объемных насосов.
2. Основные технические показатели и характеристики насосов.
3. Устройство, принцип работы, классификация, обозначения, область применения центробежных насосов.
4. Методика экспериментальных исследований по определению рабочих характеристик центробежного насоса.
5. Анализ результатов исследований центробежного насоса.

Лабораторная работа № 4

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ЖИДКОСТИ

4.1. Цель работы

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

4.2. Краткие 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 объемными следующими зависимостями:

$$Q_G = \gamma \cdot Q; \quad Q_M = \rho \cdot Q, \quad (4.1)$$

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 , вычисляют объемный расход:

$$Q = \frac{W}{t}. \quad (4.2)$$

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

На рис. 4.1 показана схема сужающего расходомера, широко распространенного в измерительной практике. В качестве сужающего устройства здесь применена диафрагма. Расход через диафрагму тем больше, чем больше падение напора ΔH (или давления) на диафрагме.

На практике наиболее широкое применение для измерения расхода находят **механические расходомеры-счетчики**, которые бывают двух типов: **объемные и скоростные**.

Принцип действия **объемных расходомеров** основан на попеременном заполнении и опорожнении рабочей (рабочих) камеры (камер). Число заполнений или опорожнений, подсчитыв-

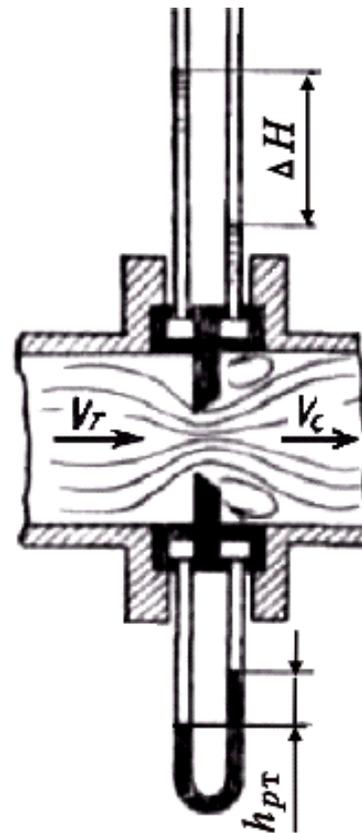


Рис. 4.1. Схема сужающего расходомера

ваемое с помощью специальных устройств (механических, электрических), характеризует расход через систему. Достоинством объемных расходомеров является высокая точность измерения: максимальная относительная погрешность не превышает 1 %. Недостаток – громоздкость и сложность конструкций, а для некоторых расходомеров – невозможность применения для загрязненных жидкостей.

Объемные расходомеры бывают следующих типов: дисковые, поршневые, шестеренные, кольцевые и лопастные.

Для измерения расхода воды чаще всего применяют **скоростные расходомеры**.

Принцип действия **скоростных расходомеров** основан на том, что жидкость, протекающая через прибор, приводит во вращение крыльчатку или вертушку, частота вращения которой пропорциональна скорости потока и, следовательно, расходу. Ось крыльчатки или вертушки посредством передаточных механизмов соединена со счетчиком.

Скоростные расходомеры по конструкции проще объемных, но обладают меньшей точностью измерений. Максимальная относительная погрешность измерений может достигать 2...3 %.

По конструктивному признаку скоростные расходомеры разделяются на две основные группы: **крыльчатые** расходомеры, ось вращения крыльчатки которых перпендикулярна направлению движения жидкости, и **турбинные** (аксиальные) расходомеры, у которых ось вращения вертушки (турбинки) параллельна направлению движения жидкости. Могут быть также комбинированные расходомеры.

Крыльчатые расходомеры могут быть **одноструйными и многоструйными**. Основными элементами крыльчатого одноструйного расходомера (рис. 4.2) являются: крыльчатка 1, камера крыльчатки 2, агатовый подшипник 3, входной патрубков 4, редуктор 5, механизм счетчика 6, циферблат 7, крышка циферблата 8, корпус 9, сальник 10, лопасть регулятора 11.

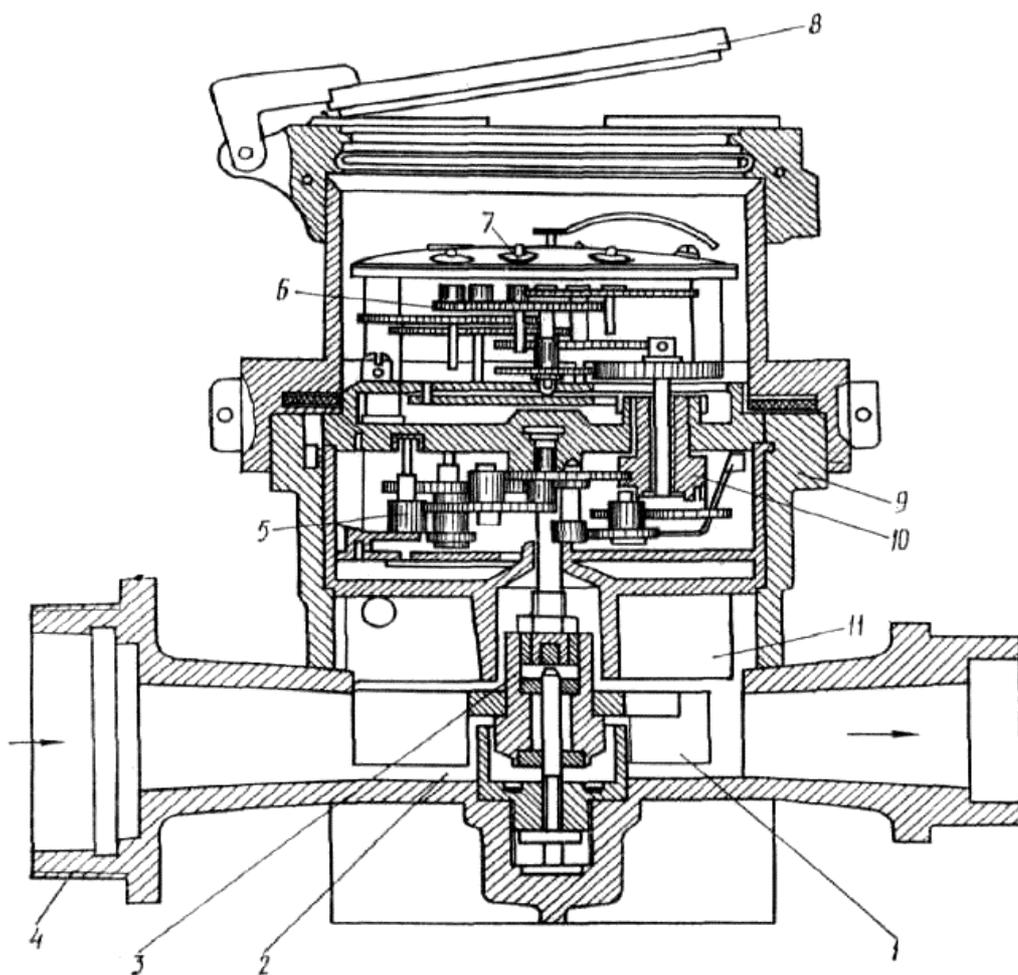


Рис. 4.2. Крыльчатый расходомер

К основным элементам турбинного расходомера (рис. 4.3) относятся: вертушка 1, корпус 2, лопасть регулятора 3, струевыпрямитель 4, редуктор 5, механизм счетчика 6, большая стрелка 7, малые стрелки 8, крышка стекла 9, ось червячной шестерни 10, винт с агатом 11, червячный винт 12.

Скоростные расходомеры-счетчики широко применяются для учета количества воды, расходуемой в системах водоснабжения. Подбор счетчиков воды, предназначенных для установки в водопроводных сетях, производится чаще всего по максимальному суточному расходу.

При измерениях расхода нас может интересовать мгновенное значение расхода или расход жидкости за определенный период времени, то есть интегральная величина расхода.

Расходомер, показанный на рис. 4.1, позволяет определять мгновенное значение расхода.

Скоростные же расходомеры, приведенные на рис. 4.2 и 4.3, являются расходомерами интегрирующего типа. Для определения с их помощью расхода в единицу времени необходимо использовать секундомер. Так же определяется расход и с помощью мерного бака.

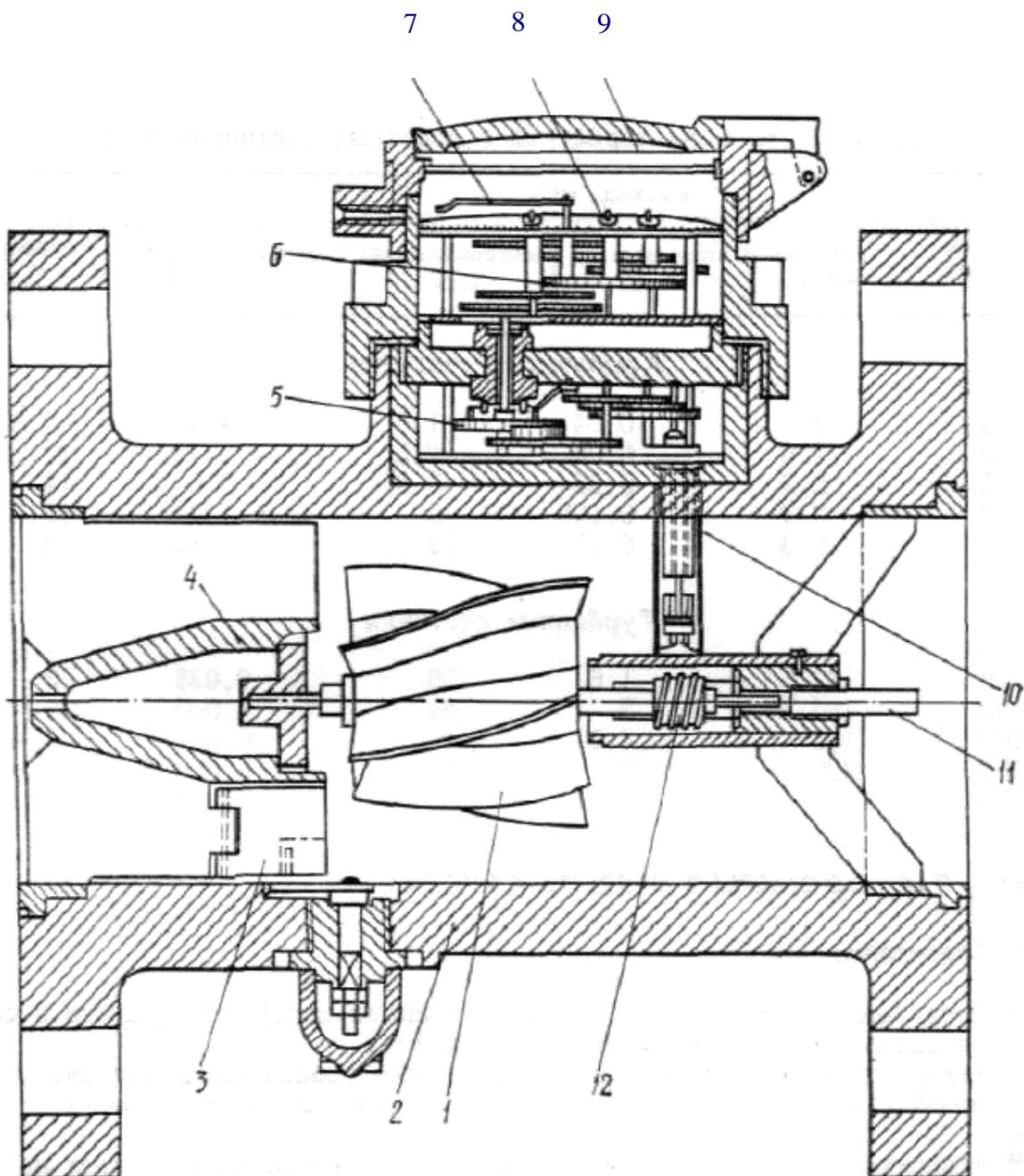


Рис. 4.3. Турбинный расходомер

4.3. Экспериментальная установка

Описание экспериментальной установки приведено в п. 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.

4.4. Проведение испытаний

4.4.1. Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

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

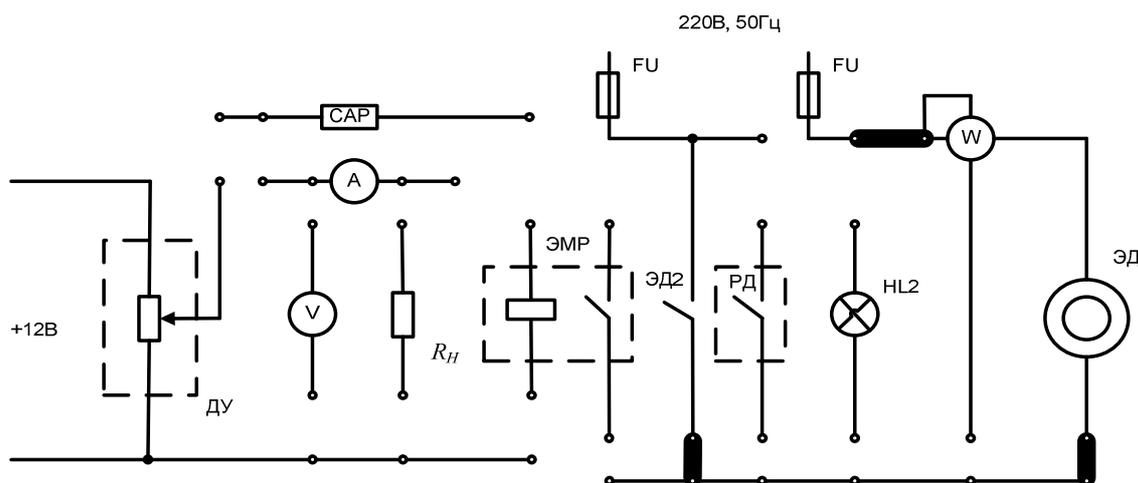


Рис.4.4. Схема электрических соединений (к лабораторной работе № 4)

2. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В3, В4 и В5 (закрытие вентиля осуществляется путем вращения маховичка 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.”).

4.4.2. Методика испытаний

После выполнения условий, описанных в п. 4.4.1, необходимо:

1. 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.

2. Когда уровень воды в стеклянной трубке указателя, установленного на боковой поверхности верхнего бака (см. поз. 7, рис. 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_6 (время заполнения верхнего бака на 30 делений). Результат измерения записать в таблицу. После этого нажать кнопку “Сброс” (обнуление табло). Не выключая насос, перейти к выполнению п. 3.

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 дм^3)).

Результаты исследований

Номер 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, $\text{м}^3/\text{с}$	W_6 – объем воды, поступившей в верхний бак за время t_6 , м^3	C – цена деления указателя уровня верхнего бака, $\text{дм}^3/\text{дел}$
1		0,02				
2						
3						

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

5. После обработки результатов исследований и определения $C_{\text{СР}}$ 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). П. 5 выполняется для того, чтобы лучше научиться измерять расход воды.

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

4.5. 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:

$$W_6 = Qt_6.$$

Цена деления указателя уровня

$$C = \frac{W_6}{K},$$

где K – число делений ($K = 30$).

После определения цены деления в каждом опыте необходимо вычислить среднее арифметическое цены деления $C_{\text{СР}}$.

4.6. Контрольные вопросы

1. Понятие расхода, единицы измерения.
2. Методы измерения расхода жидкости.
3. Классификация расходомеров.
4. Устройство скоростных расходомеров.
5. Методика определения расхода жидкости с помощью мерного бака и скоростного расходомера.

Лабораторная работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЕ ДАВЛЕНИЯ

5.1. Цель работы

1. Изучение датчиков для измерения температуры.
2. Изучение датчиков для измерения давления.
3. Изучение устройства и исследование характеристик реле давления.

5.2. Краткие теоретические сведения

5.2.1. Датчики температуры

К простейшим датчикам температуры относят устройства, в основу работы которых положено явление теплового расширения газов, жидкостей и твердых материалов. Примером такого типа датчиков может служить **жидкостный термометр**, который используют как в лабораторных, так и в технических измерениях. К этому же типу относятся термоконттактные, а также манометрические датчики. На рис. 5.1 приведены в качестве примера ртутный контактный термометр (рис. 5.1, *а*) и биметаллический термоконттактный датчик (рис. 5.1, *б*).

При повышении температуры и достижении значения $t_{ср}$ ртуть в капилляре термометра замыкает цепь двух впаянных в капилляр термометра электродов 1 и 2 (ртуть обладает хорошей электропроводностью).

Датчики такой конструкции обладают высокой точностью и чувствительностью, но имеют ряд недостатков: они хрупки, плохо переносят вибрацию и толчки, устанавливаются только в вертикальном положении. Такие датчики применяются обычно в лабораторных условиях.

В датчике термочувствительным электродом является биметаллическая пластина, которая состоит из двух сваренных или спаянных металлических пластинок из металлов с различными коэффициентами теплового расширения (обычно латунной и из железоникелевого сплава). При изменении температуры пластина изгибается и замыкает цепь А – В. Регулировочным винтом можно регулировать положение

неподвижного электрода, и, тем самым, регулировать температуру срабатывания $t_{\text{ср}}$ датчика. Чувствительность и точность такого датчика несколько ниже, чем у ртутных термоконтактов, но они надежнее при эксплуатации в производственных условиях.

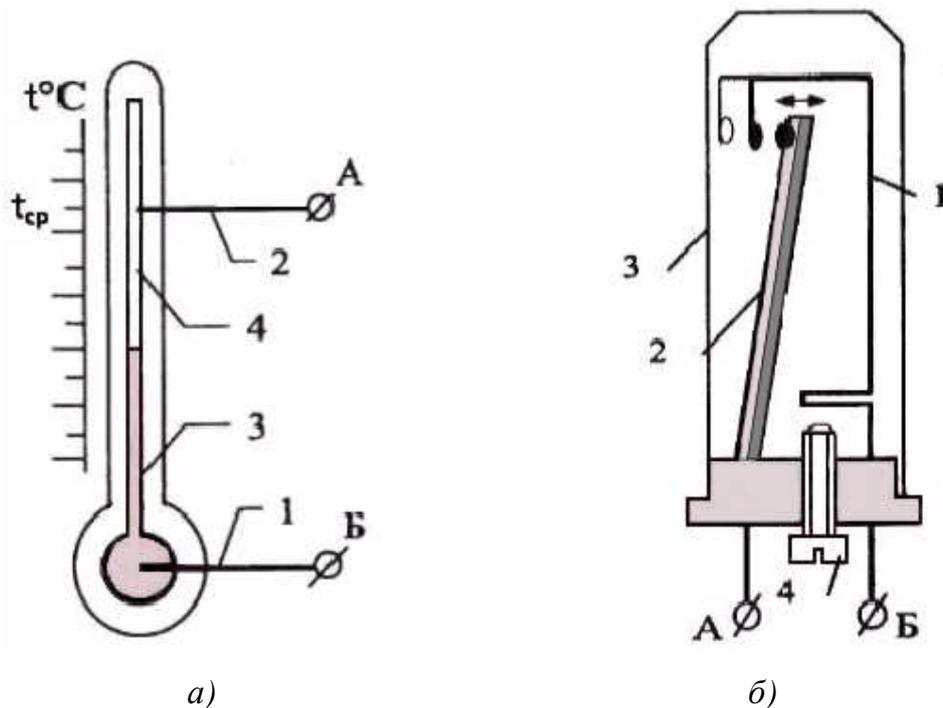


Рис. 5.1. Датчики температуры: а – ртутный контактный термометр; 1, 2 – впаянные электроды, 3 – ртуть, 4 – капилляр; б – биметаллический термоконтактный датчик; 1 – неподвижный электрод, 2 – подвижный электрод (биметаллическая пластина), 3 – корпус, 4 – винт регулировки температуры срабатывания

Рассмотренные датчики являются двухпозиционными устройствами (имеющими два возможных состояния), они не позволяют получать непрерывную информацию об изменении температуры, фиксируется лишь момент достижения установленного порога.

В манометрических датчиках тепловое изменение объема жидкости или газа (ртуть, ацетон, эфир, спирт, азот, инертные газы, различные смеси и соединения) преобразуется в перемещение специальных мембран, сильфонов или манометрических трубок. Эти датчики характеризуются значительной инерционностью и высокой погрешностью измерения, достигающей 1 – 2,5 %.

Для непрерывных измерений температуры используются другие типы датчиков, которые осуществляют непрерывное преобразование температуры в сигнал (чаще всего электрический).

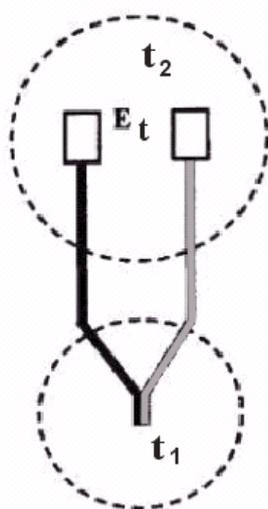
К датчикам, получившим наибольшее распространение, могут быть отнесены **термопары** и **терморезисторы**.

Термопара (рис. 5.2, а) представляет собой спай двух разнородных проводников (полупроводников). Принцип работы термопары основан на возникновении электродвижущей силы (термо-ЭДС) в цепи двух разных металлов при различии температур мест их спаивания ("горячего конца") и свободных ("холодных") концов.

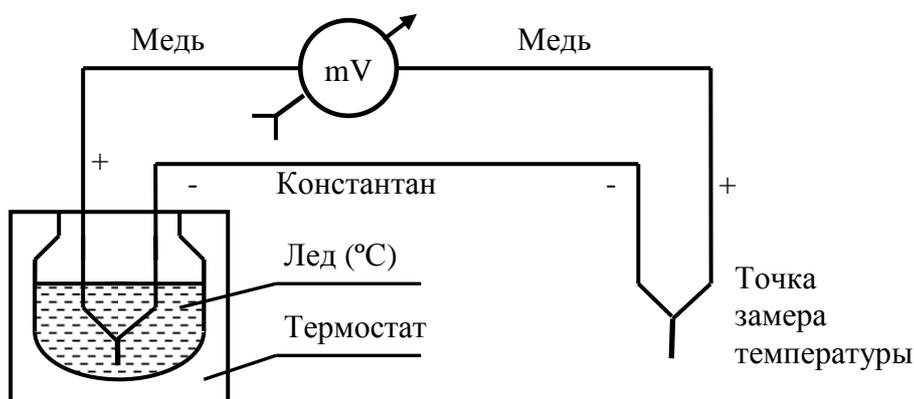
$$E_t = k \cdot (t_1 - t_2)$$

Величина термо-ЭДС для термопар (mV/100°C) из

хромель-копеля	- 6.9
хромель-алюмеля	- 4.1
медь-константана	- 4.29
платинородий-платины	- 0.64



а)



б)

Рис. 5.2. Термопара: а – конструкция; б – вариант схемы использования

В межмолекулярном пространстве любого проводника имеются свободные электроны, подвижность и количество которых в единице объема зависит от рода материала и его температуры. В результате в месте контакта различных металлов начинается взаимное проникновение свободных носителей заряда; более подвижные носители заряда проникают в проводник с меньшей подвижностью носителей, что приводит к появлению на нем отрицательного потенциала, в свою очередь, проводник с большей подвижностью приобретает положительный заряд. Между свободными концами проводников появится разность потенциалов – термо-ЭДС.

Величина термо-ЭДС E_t зависит от рода проводников, составляющих термопару, и разницы температур "горячего" (t_1) и "холодного" (t_2) спаев. Поэтому при пользовании термопарой необходимо учитывать температуру "холодного" спая. Обычно при использовании термопары (рис. 5.2, б) "горячий" рабочий спай помещают в среду, температуру которой измеряют, а "холодный" спай помещают в среду с постоянной температурой – термостат. Если в термостате находится тающий лед, то показания милливольтметра будут пропорциональны значению температуры t_1 по шкале Цельсия.

При использовании термопар в производственных условиях учет температуры "холодного" спая производится обычно с помощью специальных устройств, измеряющих внешнюю температуру термометрами сопротивления (см. ниже).

Необходимо отметить, что величина термо-ЭДС даже для наиболее чувствительных металлических термопар составляет величину $5 - 7 \text{ mV}/100 \text{ }^\circ\text{C}$, что заставляет применять для измерения термо-ЭДС чувствительные милливольтметры или использовать усилители напряжения.

Для защиты термопары от механических повреждений ее часто помещают в защитный корпус, но это резко увеличивает инерционность датчика.

Для термоэлектродов используются различные металлы. Так, для температур свыше $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ применяют металлы платиновой группы. Например, один электрод может быть изготовлен из чистой пла-

тины, а другой – из сплава платины с родием. Для измерения температур ниже 1000 °С применяют термопары из неблагородных металлов: хромель-копелевые, хромель-алюмелевые, медь-константановые, железо-константановые термопары.

Принцип работы **терморезистора** основан на зависимости электропроводности металлов и полупроводников от температуры.

Металлический терморезистор – **термометр сопротивления** – представляет собой тонкую (0,05 мм) медную, никелевую или платиновую проволоку, намотанную на керамический или слюдяной каркас и помещенную в защитный корпус. Электрическое сопротивление металлических проводников зависит от температуры и определяется из выражения

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t), \quad (5.1)$$

где R_0 – сопротивление при 0 °С;

R_t – сопротивление при температуре t ;

α – температурный коэффициент сопротивления (для меди $\alpha = 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; для платины $\alpha = 3,94 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).

Медные термометры сопротивления позволяют измерять температуру в диапазоне –150... +350 °С, платиновые – до +800 °С.

Так как сопротивление датчиков меняется незначительно (0,4 % на °С), то для измерения сопротивления или силы тока в цепи терморезистора необходимо применять высокочувствительные приборы.

На испытательном стенде для измерения температуры воды используется термометр сопротивления, изготовленный из медной проволоки. Терморезистор включен в цепь, по которой протекает электрический ток. При изменении сопротивления терморезистора, обусловленном изменением температуры, изменяется и величина тока в цепи, что воспринимается микроамперметром, шкала которого градуирована в °С.

В устройствах автоматизации тепловых процессов находят применение также полупроводниковые терморезисторы – **термисторы**. Термисторы обладают, как правило, отрицательным температурным коэффициентом сопротивления α , то есть их сопротивление умень-

шается с увеличением температуры (это связано с увеличением числа носителей заряда). В отличие от металлических термометров сопротивления у термисторов значительно более узкий диапазон измерения температуры ($-100... +200$ °С) и значительная нелинейность статической характеристики. Термисторы имеют по сравнению с металлическими термометрами сопротивления примерно в 10 раз более высокую чувствительность. Термисторы изготавливаются из смеси специальных спрессованных оксидов (MgCrO, LiO, ZnTiO и др.).

Несмотря на высокую чувствительность, термисторы редко используются для точных измерений температуры, что обусловлено нелинейной зависимостью их сопротивления от температуры, а также некоторым изменением этой зависимости со временем (старение датчика). Но благодаря малым размерам, а значит и малой тепловой инерции, датчики находят применение в портативных приборах для оперативного контроля температуры.

Кроме описанных выше поликристаллических оксидных термисторов в настоящее время все шире начинают применяться **монокристаллические** кремниевые полупроводниковые датчики температуры, имеющие линейную характеристику и высокую чувствительность.

5.2.2. Датчики давления

Широкое применение в системах автоматического управления, контроля, защиты, диагностики, измерения находят датчики давления.

Чувствительные элементы датчиков давления выполняют в виде мембран и пружин различной конфигурации. Если датчик давления содержит только первичный преобразователь, то давление преобразуется в перемещение упругого элемента, то есть выходной величиной первичного преобразователя является перемещение. Так, в мембранном преобразователе (рис. 5.3, *а*) деформация мембраны u пропорциональна давлению p , в сильфонном (рис. 5.3, *б*) – гофрированный тонкостенный стакан изменяет свою длину пропорционально давлению; в преобразователе с трубчатой пружиной (рис. 5.3, *в*) упругая трубка овального сечения под действием давления выпрямляется, форма ее сечения стремится к круглой, а запаянный конец трубки перемещается.

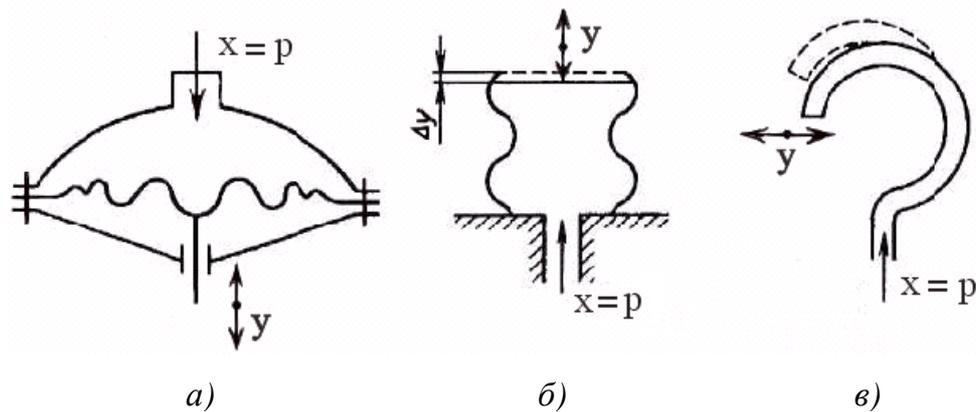


Рис. 5.3. Схемы первичных преобразователей датчиков давления: а – мембранный первичный преобразователь; б – сильфонный первичный преобразователь; в – трубчатый первичный преобразователь

Датчики давления могут быть снабжены вторичными преобразователями различных типов: реостатным, контактным, электро-тепловым. На их выходе формируется электрический информационный сигнал. Вторичным преобразователем может быть и указатель давления, используемый в обычных приборах контроля давления – пружинных манометрах, получивших очень широкое распространение (рис. 5.4).

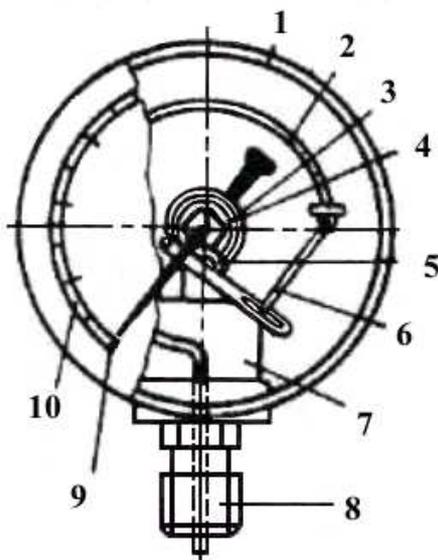


Рис. 5.4. Пружинный манометр

Чувствительным элементом пружинного манометра является трубчатая пружина 2. Пружина открытым концом жестко соединена с держателем 7, укрепленным в цилиндрическом корпусе 1 манометра. Держатель имеет штуцер 8, предназначенный для соединения манометра с линией гидросети или пневмосети. Свободный конец трубчатой пружины закрыт пробкой с шарнирной осью и запаян. При помощи тяги 6 он связан с передаточным механизмом, состоящим из зубчатого сектора 5, находящегося в зацеплении с зубчатым колесом 4. Рядом с зубчатым колесом расположена спиральная пружина (волосок) 3, один конец которой соединен с зубча-

тым колесом, а другой закреплен неподвижно на стойке, поддерживающей передаточный механизм. Волосок постоянно прижимает зубчатое колесо к одной стороне зубцов сектора, благодаря чему устраняется мертвый ход в зубчатом зацеплении передаточного механизма. Отсчетное устройство манометра состоит из шкалы 10 и стрелки 9.

Принцип действия пружинного манометра заключается в следующем. При подводе к штуцеру манометра рабочей среды под давлением в результате деформации стенок трубчатой пружины ее свободный конец перемещается пропорционально давлению. Это перемещение при помощи тяги и передаточного механизма передается стрелке. Таким образом, выходным сигналом манометра является показание, отсчитываемое по шкале.

Важнейшая характеристика манометра – **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:

$$\delta = \frac{K \cdot П}{100}, \quad (5.2)$$

где K – класс точности манометра;

$П$ – верхний предел измерения давления.

Значит, чем меньше число, указывающее класс точности, тем точнее манометр.

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 рис. 5.5 показана схема реле давления, используемого на стенде для управления электродвигателем насосной установки.

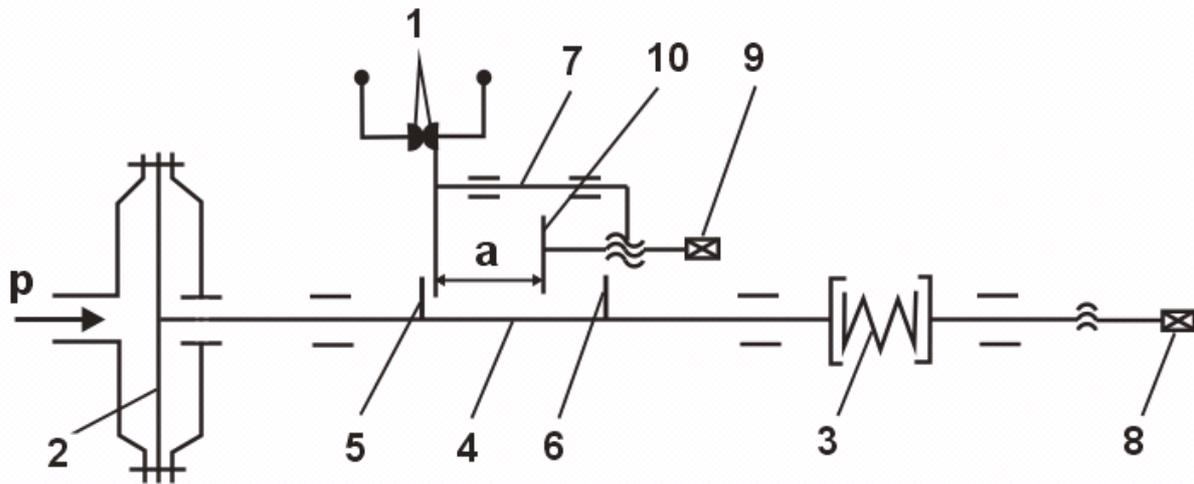


Рис. 5.5. Схема реле давления

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

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

5.3. Экспериментальная установка

Описание экспериментальной установки приведено в п. 1.3.

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

5.4. Проведение испытаний

5.4.1. Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

1. С помощью перемычек со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рис. 5.6 (на передней панели модуля электрического управления).

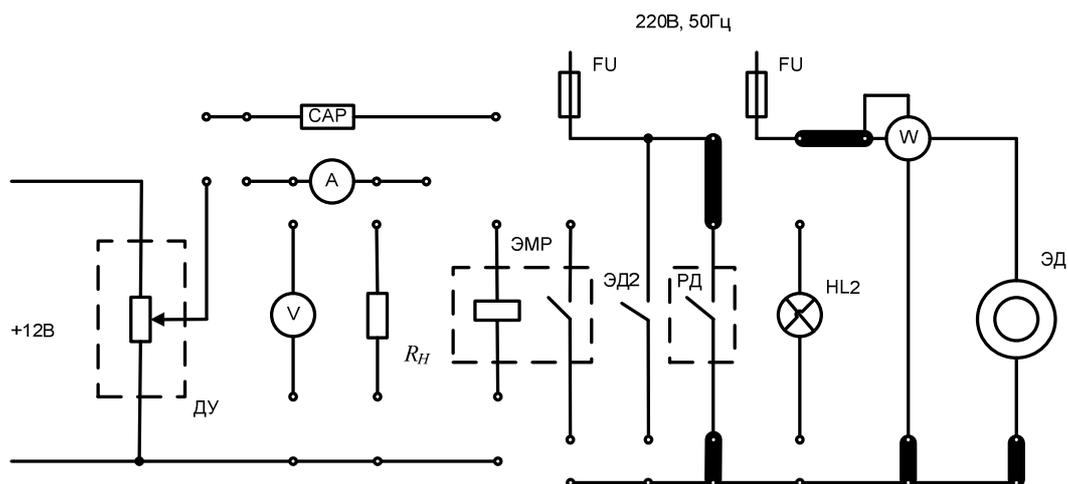


Рис. 5.6. Схема электрических соединений (к лабораторной работе № 5)

2. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В2 и В3 (закрытие вентиля осуществляется путем вращения маховичка управления по часовой стрелке). Вентили В4, В5 и В6 необходимо открыть. Причем вентиль В5 желателен приоткрыть частично. При уменьшении степени открытия вентиля В5 будет увеличиваться время опорожнения пневматического бака ПБ (см. рис. 1.3) в верхний бак стенда Б2, а следовательно, увеличится время, на которое будет отключаться насосная установка. При этом будет более удобно проводить испытания.

5.4.2. Методика испытаний

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

1 Включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер “Сеть” на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение.

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

Результаты измерений необходимо занести в таблицу.

Результаты исследований

Номер опыта	$p_{\text{верх}}$ – верхний порог срабатывания реле, кгс/см ²	$p_{\text{ниж}}$ – нижний порог срабатывания реле, кгс/см ²	$p_{\text{верх. ср}}$, кгс/см ²	$p_{\text{ниж. ср}}$, 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.

5.5. Обработка результатов

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

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

5.6. 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 № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК САР С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПО УРОВНЮ

6.1. Цель работы

1. Изучение системы автоматического регулирования с регулированием по уровню.

2. Экспериментальные исследования САР.

6.2. Краткие 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 – разновидность автоматического управления.

На рис. 6.1 представлена функциональная схема САР с регулированием по отклонению. САР состоит из объекта регулирования ОР и регулятора Р.

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

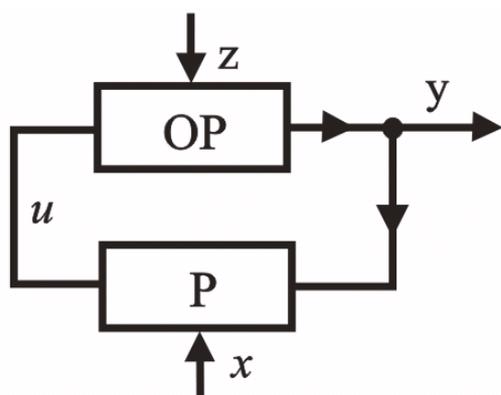


Рис. 6.1. Функциональная схема САР

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 рис. 6.1 буквой “ y ”).

Воздействия, передаваемые от одного элемента системы к другому, являются **внутренними воздействиями** системы. Примером внутреннего воздействия в системе на рис. 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

$$u = f(x - y).$$

Для измерения отклонения Δ и формирования управляющего воздействия u в схему (см. рис. 6.1) 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 **отрицательная**, поскольку, как видно из формулы, 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.

Недостаток регулирования по отклонению – 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).

6.3. Экспериментальная установка

Описание экспериментальной установки приведено в п. 1.3.

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

Объект регулирования (ОР) – верхний гидробак стенда Б2, который имитирует водонапорную башню (см. рис. 1.2 и 1.3). 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 служат верхний гидробак (водонапорная башня) и насосная установка.

Применение в обратной связи (см. рис. 6.1) 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.

6.4. Проведение испытаний

6.4.1. Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

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

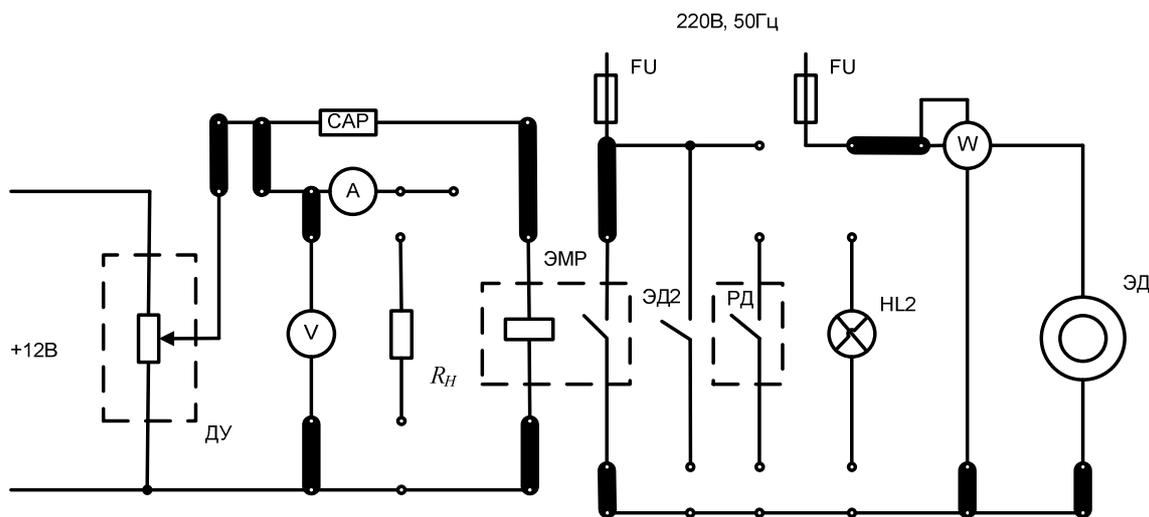


Рис. 6.2. Схема электрических соединений (к лабораторной работе № 6)

2. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В3, В4 и В5 (закрытие вентилей 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.”).

6.4.2. Методика испытаний

После выполнения условий, описанных в п. 6.4.1, необходимо:

1. Провести два опыта при различных степенях открытия вентилей 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 пятого срабатывания насосной установки. При этом следует, нажав кнопку “Пуск”, остановить секундомер и зафиксировать время проведения опыта $t_{\text{оп}}$ и показание скоростного расходомера $V_{\text{кон}}$. 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).

Результаты испытаний занести в таблицу.

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 пп. 2 и 3.

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

6.5. Обработка результатов

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

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

Потребляемая в течение опыта энергия

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

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

Результаты вычислений необходимо занести в таблицу, а затем построить графическую зависимость $A = f(Q_{cp})$ (следует отметить, что для получения более достоверной графической зависимости необходимо проводить большее количество опытов).

Результаты исследований

Номер опыта	i – порядковый номер срабатывания насосной установки	t_{pi} – время работы насосной установки при i -ом срабатывании	$W_{эли}$ – потребляемая электродвигателем мощность, Вт	Показания расходомера		$t_{оп}$ – продолжительность опыта, с	Q_{cp} – средний расход воды, м ³ /с	A – потребляемая в течение опыта энергия, кВт·ч
				$V_{нач}$ – начальное, м ³	$V_{кон}$ – конечное, м ³			
1	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
2	1							
	2							
	3							
	4							
	5							

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?

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК САР С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПО ДАВЛЕНИЮ

7.1. Цель работы

1. Изучение систем автоматического регулирования, используемых в водоснабжении, с принципом регулирования по давлению.

2. Экспериментальные исследования САР.

7.2. Краткие 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.

7.3. Экспериментальная установка

Функциональная схема исследуемой в работе системы представлена на рис. 7.1.

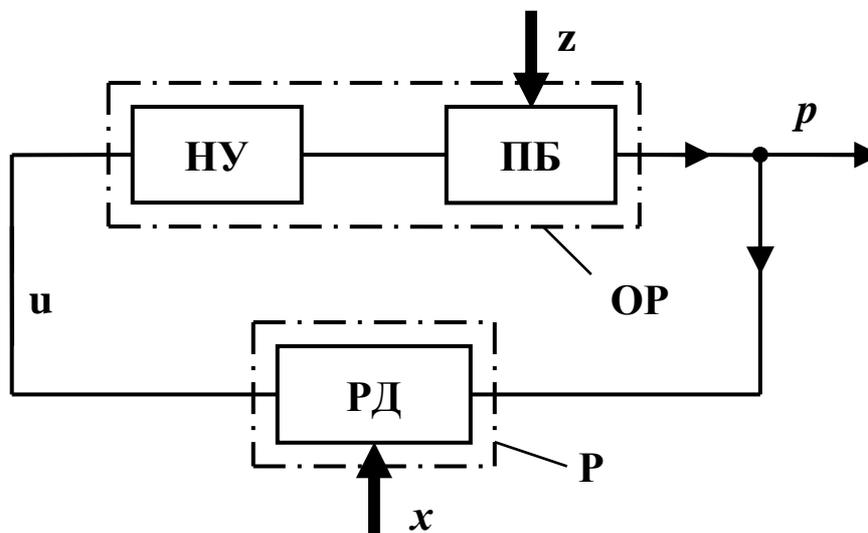


Рис. 7.1. Функциональная схема САР с регулированием по давлению

Как видно из рис. 7.1, САР состоит из объекта регулирования ОР и регулятора Р. Основные устройства, входящие в объект регулирования, – 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 рис. 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.

7.4. Проведение испытаний

7.4.1. Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

1. С помощью перемычек со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рис. 7.2 (на передней панели модуля электрического управления).

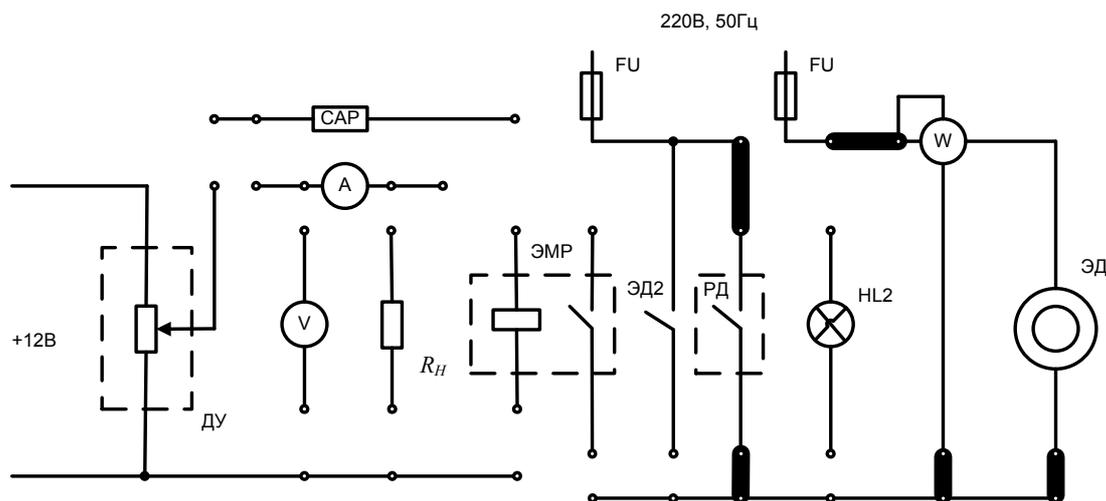


Рис. 7.2. Схема электрических соединений (к лабораторной работе № 7)

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 вентилем В6 должна быть установлена параллельно оси трубопровода).

7.4.2. Методика испытаний

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

1. Закрывать 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 $p_{\text{верх},i}$ насосная установка отключится. Необходимо зафиксировать по манометру значение $p_{\text{верх},i}$, а также показание расходомера $V_{\text{нач},i}$. 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 $p_{\text{ниж},i}$ насосная установка включится. В момент включения насосной установки необходимо зафиксировать $p_{\text{ниж},i}$, а также показание расходомера $V_{\text{кон},i}$. Результаты измерений необходимо занести в табл. 7.1 и отключить электрическое питание стенда.

Таблица 7.1

Результаты исследований по определению параметров регулирования

i – номер опыта	Пороговые значения давлений, кгс/см ²		Показания расходомера, м ³		$V_{\text{пб},i}$ – объем пневматического бака, заправляемый водой, м ³	$V_{\text{пб},\text{ср}}$ – среднее значение объема, м ³	Средние пороговые значения давлений, кгс/см ²	
	$p_{\text{верх},i}$	$p_{\text{ниж},i}$	$V_{\text{нач},i}$	$V_{\text{кон},i}$			$p_{\text{верх},\text{ср}}$	$p_{\text{ниж},\text{ср}}$
1								
2								
3								

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.

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 $t_{оп}$ и показание скоростного расходомера $V_{кон}$. Также при каждом срабатывании насосной установки необходимо (не останавливая секундомера) фиксировать время $t_{р.к}$, 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 табл. 7.2.

Примечание. Если при полностью открытом вентиле В2 насосная установка не отключается, это значит, что сопротивление сети потребителей низкое и давление на выходе насоса ниже верхнего порогового значения срабатывания реле давления. При этом пневматический бак частично заполнен водой и не опорожняется в верхний бак. Для достижения отключений насосной установки необходимо прикрыть вентиль В2 и продолжить исследования.

4. Далее при работающей САР необходимо прикрыть вентиль В2 и добиться заметного увеличения времени, на которое отключает-

ся насосная установка между двумя срабатываниями. Оставив неизменной настройку вентиля В2, необходимо выполнить в соответствии с пунктом 3 (опыт № 2).

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

Таблица 7.2

Результаты исследований САР

Номер опыта	k – порядковый номер срабатывания насосной установки	$t_{p,k}$ – время работы насосной установки при i -ом срабатывании	$W_{эл,k}$ – 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							

7.5. Обработка результатов

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:

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

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

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

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

Потребляемая в течение опыта энергия

$$A = \sum_{k=1}^5 W_{\text{эл.}k} \cdot t_{p.k}.$$

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

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

7.6. 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, заполняемого 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.

Библиографический список*

1. *Рульнов, А. А.* Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения / А. А. Рульнов, К. Ю. Евстафьев. – М. : Инфра-М., 2007. – 350 с. – ISBN 5-16-002868-4.
2. *Попкович, Г. Е.* Автоматизация диспетчеризация водоснабжения и канализации / Г. Е. Попкович, А. А. Кузьмин. – М. : Стройиздат, 1983. – 415 с.
3. *Рульнов, А. А.* Автоматизация и управление инженерными системами и сооружениями / А. А. Рульнов, И. И. Горюнов, К. Ю. Евстафьев. – М. : МГСУ, 2002. – 428 с.
4. ГОСТ 21.404-85. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – М. : Изд-во стандартов, 1985.
5. Пособие по проектированию автоматизации и диспетчеризации систем водоснабжения (к СНиП 2.04.02 – 84). – М. : Центральный институт типового проектирования, 1985. – 52 с.

* Публикуется в авторской редакции.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Лабораторная работа № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА	4
Лабораторная работа № 2. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЛЕ	15
Лабораторная работа № 3. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА	24
Лабораторная работа № 4. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ЖИДКОСТИ	34
Лабораторная работа № 5. ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЕ ДАВЛЕНИЯ	42
Лабораторная работа № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК САР С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПО УРОВНЮ	53
Лабораторная работа № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК САР С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПО ДАВЛЕНИЮ	59
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	66

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ
И ВОДООТВЕДЕНИЯ»

Составители:
ЗУЕВ Константин Иванович
ТАРАСЕНКО Владимир Иванович

Подписано в печать 30.06.14.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 3,95. Тираж 75 экз.
Заказ
Издательство
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.