

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из признаков технического совершенства проектов реконструкции мелиоративных систем или объектов обустройства территорий является их автоматизация в той или иной степени, так как применение автоматики в наибольшей степени дает эффект энергоресурсосбережения, является убедительным признаком современности проектов.

Лабораторный практикум написан в соответствии с программой дисциплины «Совершенствование мелиоративных и водохозяйственных систем» для магистрантов, обучающихся по специальности 7-06-0811-03 Мелиорация, рекультивация и охрана земель и служит для закрепления теоретических знаний и приобретения практических навыков.

Учебно-методическое пособие предусматривает выполнение двенадцати лабораторных работ по основным разделам дисциплины: метрология упаковочного производства; стандартизация и сертификация в упаковочной промышленности; управление качеством по специальности и работы над дипломным проектом.

Лабораторный практикум по дисциплине «Метрология, контроль качества и обследование мелиоративных и водохозяйственных систем» направлен на выработку у студентов начальных навыков применения преобразователей информации для измерения физических величин. Наличие таких навыков способствует формированию профессиональных компетенций, связанных со способностью выполнять проектирование блоков и устройств автоматики, разрабатывать программное обеспечение, необходимое для решения задач управления и обработки информации. Лабораторный практикум содержит 9 работ, выполняемых на специальных учебных стендах. Лабораторные работы выполняются на стендах «Промышленные датчики» (ПД-СР-3) ООО ТД «ПРОФОБРАЗОВАНИЕ» [9]. Перед началом выполнения работы студенты должны изучить принцип действия исследуемых датчиков, познакомиться со схемой включения и используемыми измерительными средствами. Обработку результатов измерений рекомендуется выполнять в соответствии с методическими указаниями [3]. Трудоемкость выполнения каждой лабораторной работы составляет два часа.

### **Основные требования техники безопасности при выполнении лабораторных работ**

К работе в лаборатории допускаются студенты, изучившие правила охраны труда в учебной лаборатории и прошедшие инструктаж по охране труда. Инструктаж и проверку знаний по охране труда проводит преподаватель, ведущий занятия.

Проведение инструктажа подтверждается подписями лиц, проводивших и

прошедших инструктаж, в журнале регистрации инструктажа по охране труда. Студены, не прошедшие инструктаж и проверку знаний по охране труда, к работе в лаборатории не допускаются. Студентам разрешается находиться в лаборатории только в часы, отведенные расписанием, или в дополнительное время, выделенное для самостоятельной подготовки. Все сотрудники лаборатории обязаны выполнять положения и правила техники безопасности и следить за их выполнением студентами.

Перед началом работы студент обязан изучить устройство и принцип действия оборудования и приборов, необходимых для выполнения лабораторной работы и порядок проведения измерений на них. Получить от преподавателя допуск к работе. При выполнении работы с использованием электрических приборов следует помнить, что:

а) при сборке электрических цепей все соединения необходимо производить исключительно цельными, с неповрежденной изоляцией проводниками, зажимая их в клеммы (соединение путем скрутки проводников не допускаются);

б) розетки в лаборатории включены в сеть переменного тока с действующим значением напряжения  $U=220\text{В}$ ; с) включать приборы или установки можно только с разрешения преподавателя или лаборанта;

д) следить за тем, чтобы измеряемые величины не превышали значений допустимых для используемых приборов;

е) в случае обнаружения чрезмерного нагревания отдельных участков цепи, а тем более появления запаха, немедленно отключить электрическую цепь от сети (источника питания) и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.

По окончании работы студент должен: а) удостовериться в правильности полученных результатов, предъявив их преподавателю; б) отключить все приборы от сети, обеспечив видимый разрыв цепей питания лабораторной установки; с) привести в порядок свое рабочее место; д) сдать лаборанту полученные принадлежности.

Во время занятий в лаборатории студентам запрещается: а) приступать к работе без разрешения преподавателя или лаборанта; б) включать приборы и установки в электрическую сеть (рубильники и переключатели приборов) и проводить измерения без предварительной проверки правильности сборки электрической цепи преподавателем или лаборантом; с) изменять схемы и пределы измерения приборов в установках, находящихся под напряжением; д) использовать приборы и принадлежности, не предназначенные для выполнения данной работы; е) самостоятельно устранять неисправности приборов и оборудования (следует обратиться к преподавателю или лаборанту). ф) оставлять без наблюдения приборы и оборудование, находящиеся под напряжением. При несчастном случае необходимо немедленно поставить в известность преподавателя и постараться оказать первую помощь пострадавшему. 9 Лица, нарушившие правила техники безопасности, несут

дисциплинарную, административную и уголовную ответственность в порядке, установленном Законодательством Республики Беларусь.

### **Перечень лабораторных занятий**

1. Изучение технологических и принципиальных схем систем автоматического измерения физических величин.

2. Изучение датчика уровня потенциометрического и системы измерения уровня.

3. Изучение датчика уровня герконового типа и системы контроля уровня.

4. Изучение современных датчиков и реле давления.

5. Изучение потенциометрического датчика давления и автоматической системы измерения давления.

6. Изучение датчиков расхода воды и автоматической системы измерения расхода.

7. Изучение датчиков влажности почвы и систем измерения влажности.

8. Изучение автоматической системы регулирования уровня воды с трехстержневым датчиком.

9. Изучение автоматической системы регулирования уровня воды с герконовым датчиком.

10. Изучение автоматической системы регулирования давления с электроконтактным манометром.

11. Изучение автоматической системы контроля и регулирования влажности почвы.

### **Лабораторная работа № 1**

#### **ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ПРИНЦИПАЛЬНЫХ СХЕМ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

*Продолжительность работы* — 2 ч

**Цель работы:** Научиться читать и составлять простейшие технологические и принципиальные схемы автоматических систем.

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

#### **1. Теоретическая часть**

##### **1.1. Графическое оформление схем автоматизации**

Основным техническим документом, показывающим связи между

инженерной системой (технологическим процессом) и средствами контроля и управления, является функциональная схема автоматизации, на которой с помощью условных изображений схематически показывают технологическое оборудование, трубопроводы и средства автоматизации.

Технологическое оборудование и трубопроводы автоматизируемого объекта изображают на функциональной схеме упрощенно. Направление движения потоков в трубопроводах указывают стрелками. На линиях обрыва также ставят указывающие стрелки и дают необходимые пояснения, из какого аппарата и к какому направляется данный поток.

На рис. 1.1 приведен пример функциональной схемы автоматизации нагрева паром воды в парожидкостном теплообменнике. Как видно из приведенной схемы, она содержит один контур регулирования – температуры воды (5а-5е). Остальные устройства предназначены для измерения расхода пара (а-1в), расхода воды (4а-4б), температуры воды и пара на входе в теплообменник (3а-3в). Кроме того, предусмотрена сигнализация при падении давления пара (2).

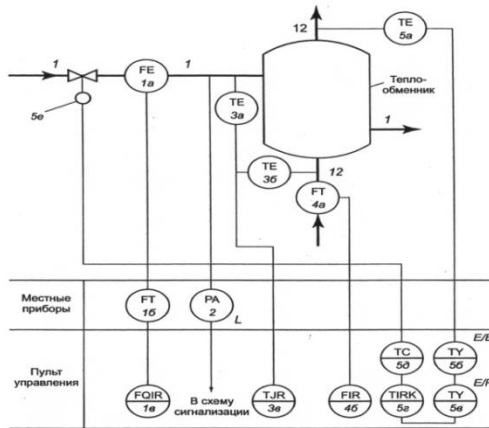


Рис. 1.1 Функциональная схема автоматизации процесса нагрева

Расположение элементов автоматизации на функциональной схеме определяется их значением. Условные обозначения датчиков, промежуточных преобразователей, объединенных с датчиками в одно устройство, и исполнительных механизмов, т. е. всех элементов АР, механически связанных с технологическими аппаратами Г и трубопроводами, помещают рядом с изображением соответствующего оборудования. Более того, условные обозначения датчиков и промежуточных преобразователей расходомеров, через которые проходят технологические потоки, размещают прямо на изображениях трубопроводов, в которых измеряются расходы.

Расшифровка элементов автоматизации, изображенной на функциональной схеме, имеется в спецификации, которая составляется для заказа этой аппаратуры на заводах-изготовителях. В этой спецификации по каждой позиции указываются тип устройства, его модификация, пределы измерения, требуемое количество и другие необходимые сведения.

## 1.2. Сигнализация, защита и блокировка

Устройство сигнализации предназначено для извещения обслуживающего персонала о состоянии контролируемых объектов. Сигнализация может быть световая и звуковая. *Световая* сигнализация подается с помощью сигнальных ламп с различным режимом свечения (ровный или мигающий свет, полный или неполный накал) или световыми указателями различного цвета. *Звуковая* сигнализация подается звонками, сиренами или гудками. Часто применяют сочетание световой и звуковой сигнализации. В таких случаях звуковой сигнал служит для извещения диспетчера или оператора о возникновении аварийного режима, а световой – указывает на место возникновения характера этого режима. Различают также технологическую и контрольную сигнализацию.

*Технологическая* сигнализация извещает о нарушении нормального хода технологического процесса, что проявляется в отклонении от заданного значения технических параметров: температуры, давления, уровня, расхода и т. п. В зданиях и сооружениях, где возможно появление в помещениях паров пожаро- и взрывоопасных веществ, а также токсических продуктов, срабатывает сигнализация повышения предельно допустимых концентраций таких веществ. Технологическая сигнализация бывает двух видов: предупредительная и аварийная. *Предупредительная* сигнализация извещает о больших, но еще допустимых отклонениях параметров процесса от заданных. При появлении сигналов предупредительной сигнализации оператор должен принять меры для устранения возникающих неисправностей. Аварийная сигнализация извещает о недопустимых отклонениях параметров процесса от регламентного или внезапного отключения какого-либо инженерного оборудования. Аварийная сигнализация требует немедленных действий оператора по заранее составленной инструкции. Поэтому такая сигнализация подается мигающим светом и резким звуком. Схемы аварийной сигнализации обычно снабжают кнопкой отключения (съема) звукового сигнала. При поступлении нового аварийного сигнала звуковая сигнализация включается снова. Иногда применяют схемы без повторения звукового сигнала. Такие схемы используются, когда появление хотя бы одного из аварийных сигналов автоматически вызывает остановку всей инженерной системы. На рис. 1.2 приведена схема электрической сигнализации двух технологических параметров.

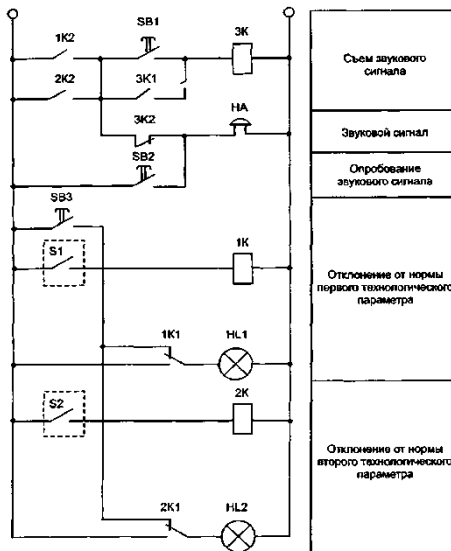


Рис. 1.2. Схема сигнализации

При отклонении от нормы одного из них, например, первого, замыкается технологический контакт S1, расположенный в соответствующем измерительном приборе или сигнализаторе. При этом включается реле 1К, которое своим переключаящим контактом 1К1 включает сигнальную лампу HL1 и отключает ее от кнопки опробования сигнализации SB3. Одновременно замыкающий контакт 1К2 реле 1К через размыкающий контакт 3К2 выключенного реле 3К включает звонок HA. Включается звонок кнопкой съема звуковой сигнализации SB1, при нажатии которой реле 3К через свой замыкающий контакт 3К1 становится на самоблокировку, размыкающим контактом отключается звонок.

Если при таком состоянии схемы замыкается второй технологический контакт S2, то при снятом звуковым сигнале загорается лишь сигнальная лампа HL2, а звуковой сигнал не будет подан. В исходное состояние схема придет после размыкания обоих технологических контактов S1 и S2, что вызывает отключение всех реле. Кнопки SB2 и SB3 предназначены для опробования звонка и сигнальных ламп.

*Контрольная* сигнализация извещает о состоянии контролируемых объектов: открыты или закрыты регулирующие органы, включены или отключены насосы, вентиляторы и т. п. Наиболее просто контрольная сигнализация выполняется для устройств, имеющих только два рабочих положения: открыто-закрыто или включено-отключено. Следует иметь в виду, что контрольная сигнализация иногда может выдать неверную информацию.

Например, если для сигнализации о работе насоса используют блок-контакты магнитного пускателя, то такая схема будет информировать о включенном насосе даже в том случае, когда он неисправен или закрыт запорный клапан на нагнетании. Поэтому в таких случаях необходимо обращать внимание на показания приборов, подтверждающих достоверность полученной информации. Таким прибором может быть, например, расходомер на линии нагнетания или манометр, установленный за запорным органом.

Устройства *автоматической защиты* предназначены для предотвращения аварий в зданиях, где изменение условий работы инженерных систем может привести к возникновению аварийной ситуации. К числу таких потенциально опасных относятся системы, работающие в условиях интенсивного тепловыделения, при больших давлениях и температурах и т. п. Устройства автоматической защиты в подобных системах должны реагировать на нарушение нормального режима таким образом, чтобы предаварийное состояние не перешло в аварийное. Для этого обычно проводят защитные мероприятия: снижение давления, включение резервных насосов, отключение подачи топлива и т. д.

Некоторые защитные мероприятия, особенно в процессах, где авария может привести к тяжелым последствиям, предусматривают полную остановку оборудования, например, посредством сброса воды из емкостей. Поскольку последующие пуск и наладка инженерной системы – задача сложная, необходимо исключить ложное срабатывание устройств автоматической защиты. Это достигается установкой двух отдельных устройств защиты, реагирующих на один и тот же признак опасности. Устройства защиты соединены так, чтобы исполнительный механизм защитного устройства включался только при их одновременном срабатывании.

Примером повсеместно применяемой системы автоматической защиты может служить схема управления электродвигателем (рис. 1.3).

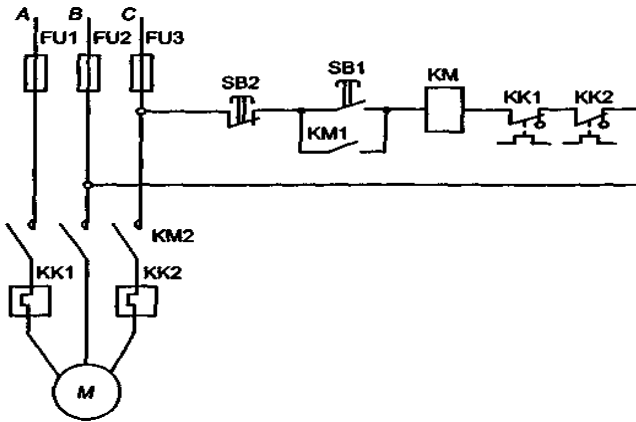


Рис. 1.3. Схема управления электродвигателем

Схема работает следующим образом. При включении пусковой кнопки SB1 замыкается цепь питания обмотки магнитного пускателя KM. Своими силовыми контактами KM2 магнитный пускатель включает электродвигатель, а блок-контактом KM1 шунтирует пусковую кнопку. После этого кнопку можно отпустить, а цепь питания обмотки магнитного пускателя останется замкнутой через его блок-контакт KM1. Отключают двигатель нажатием кнопки «Стоп» SB2. При этом разрывается цепь питания обмотки пускателя и размыкаются его контакты KM1 и KM2. После отпускания кнопки SB2 обмотка магнитного пускателя остается обесточенной. В этой схеме предусмотрено действие защиты в трех возможных аварийных ситуациях: при исчезновении напряжения в сети, перегрузках и при коротких замыканиях.

При исчезновении напряжения в сети, например, при отключении подачи электроэнергии, происходят отключение магнитного пускателя и остановка электродвигателя. Блок-контакт KM1 обеспечивает защиту электродвигателя от самопроизвольного повторного включения при возобновлении подачи электроэнергии.

Повторный пуск двигателя возможен только после нажатия пусковой кнопки SB1. Защита электродвигателя от перегрузок осуществляется тепловыми реле К.К.1 и К.К.2, нагревательные элементы которых включены в две фазы питания электродвигателя, а размыкающие контакты – в цепь питания обмотки магнитного пускателя. Для нового пуска электродвигателя, отключенного тепловым реле, необходимо сначала вручную нажать кнопку, замыкающую контакты теплового реле. Защита электродвигателя и цепи магнитного пускателя от коротких замыканий выполняется предохранителями FU1, FU2 и FU3.

*Блокировка* служит для предотвращения неправильной последовательности включений и выключений механизмов, машин и аппаратов. На рис. 1.4 приведена схема управления реверсивным электродвигателем.

Эта схема исключает возможность одновременного срабатывания магнитных пускателей «Вперед» 1КМ и «Назад» 2КМ, так как при этом через силовые контакты обоих пускателей происходит короткое замыкание двух фаз питания. Такая блокировка обеспечивается введением нормально замкнутых блок-контактов 2КМ3 и 1КМ3 в цепи обмоток магнитных пускателей 1КМ и 2КМ.

При замыкании кнопкой SB1 цепи питания магнитного пускателя 1КМ его нормально замкнутый блок-контакт 1КМ3 в цепи питания магнитного пускателя 2КМ размыкается. Это делает невозможным включение магнитного пускателя 2КМ без предварительного включения магнитного пускателя 1КМ кнопкой SB3. Аналогично при включении магнитного пускателя 2КМ кнопкой SB2 невозможно одновременное включение магнитного пускателя 1КМ.

Включение питания на обмотки двигателя осуществляется контактами 1КМ2 или 2КМ2.

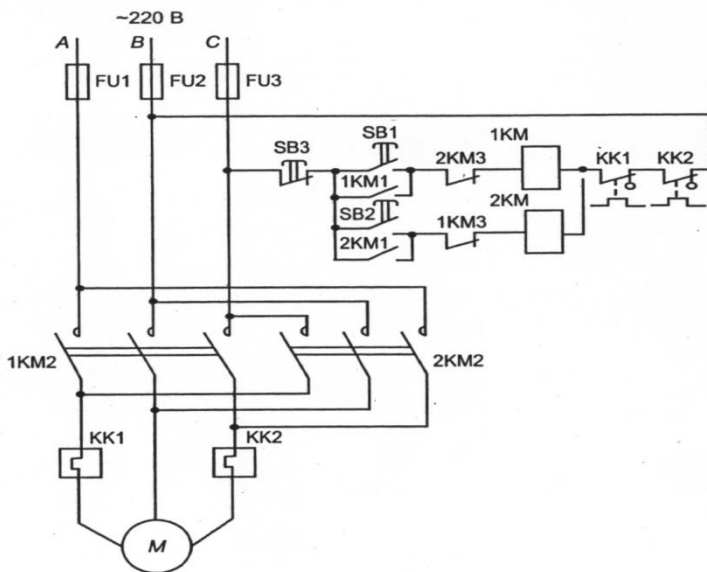


Рис. 1.4. Схема управления реверсивным электродвигателем

### 1.3. Построение структурных и функциональных схем технологических процессов

Информацию, подлежащую передаче, называют сообщением. В автоматике сообщением является электрический сигнал (сила тока, напряжение) определённой величины.

Автоматические устройства состоят из элементов, каждый из которых может выполнить одну простейшую операцию с сигналом — носителем информации. Системы автоматике состоят из отдельных, связанных между собой элементов, каждый из которых выполняет определённую функцию. Элемент автоматике можно рассматривать как преобразователь энергии, на вход которого подается сигнал—некоторая величина  $X$ , а с выхода снимается сигнал— величина  $Y$  (рис. 1).

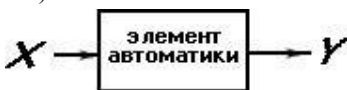


Рис. 1.5 Элемент автоматике

Элементами автоматике в зависимости от назначения являются: объекты управления; датчики; усилители; устройства управления; исполнительные механизмы; пр. Различные элементы автоматике выполняют каждый свою функцию в управлении технологическим процессом.

**Технологический процесс** — это часть производственного процесса, содержащая действия, выполняемые в определенном порядке для изменения состояния объекта и определения этого состояния. Технологические процессы являются объектами управления.

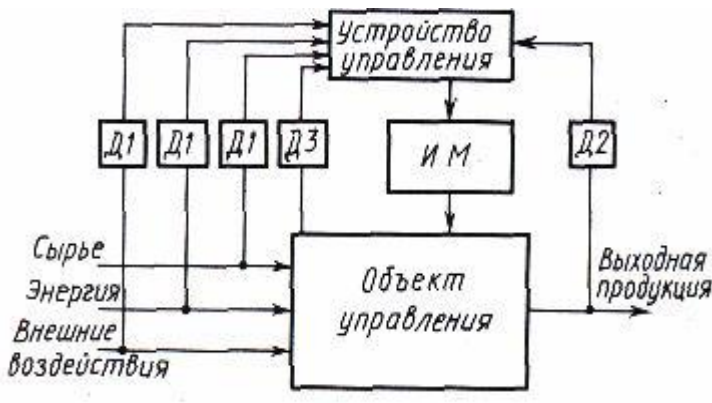


Рис. 1.6 Упрощенная схема управления технологическим процессом

Датчики *Д1* получают информацию о параметрах сырья, энергии и различных внешних воздействий; датчики *Д2*— о параметрах выходной продукции; датчики *Д3*— о текущем состоянии объекта управления.

Эта информация преобразуется датчиками во входные сигналы устройства управления. На основании информации датчиков устройство управления вырабатывает необходимые сигналы управления.

Устройствами, передающими управляющее воздействие, являются исполнительные механизмы *ИМ*. Они осуществляют непосредственное управление работой объекта управления.

Для изучения работы различных автоматических систем управления технологическими процессами используют их структурные, функциональные и принципиальные схемы.

**Функциональная и структурная схемы** систем автоматики (блок-схемы) используют для наглядности в изображении элементов автоматических систем и их функциональной зависимости. Они показывают общий принцип действия и структуру системы,

служат для общего ознакомления с автоматическим устройством и являются основой для составления принципиальных схем.

Составные части системы (*блоки*) представляются геометрическими фигурами (прямоугольниками, кружками), а их взаимодействие — линиями со стрелками. Блоки обозначаются буквами (словами), соответствующими выполняемым ими функциям. Число блоков зависит от детализации функций, выполняемых в системе.

Каждый из видов автоматических систем имеют ряд общих функциональных узлов, позволяющих свести любую систему (управления, контроля, регулирования) к общей функциональной схеме.

*Принципиальная схема* дает подробное представление о работе и структуре автоматической системы.

На этой схеме элементы и связи между ними изображают в виде условных графических обозначений, установленных Государственным стандартом (ГОСТ). Позиционные обозначения устройств или элементов принципиальной схемы также определяются требованиями ГОСТа.

На рис. 3, *а* представлена простейшая принципиальная электрическая схема электропривода с двигателем постоянного тока, питаемым от генератора постоянного тока с независимым возбуждением, и тахогенератором на валу двигателя.

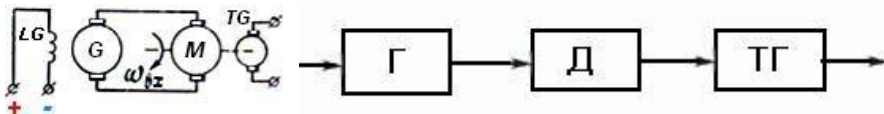


Рис. 1.7. Схема электропривода: а — принципиальная; б — структурная

На структурной схеме (рис. 3, б) все три элемента системы изображены в виде прямоугольников, а функциональная связь между ними указана стрелками.

Для разработки системы автоматики нужно знать:

- Продукт, который мы хотим получить
- Операции, которые нужно выполнить для его получения
- Порядок выполнения операций
- Устройства, необходимые для выполнения этих операций
- Промежуточные величины, которые нужно контролировать для получения оптимального результата

#### 1.4. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с единицами физических величин и их размерностью по ГОСТ 8.417–2002 или по методическим указаниям.

Оформить протокол практической работы.

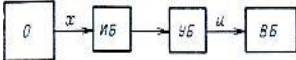
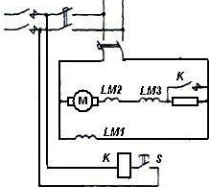
2. Выполнить задания по своему варианту (см. табл. 1.7) в форме таблицы. Используя табл. 1.1–1.6 данного пособия, выразить в соответствующих единицах заданные величины.

3. Написать вывод о проделанной работе.

#### Задание 1.

Запишите признаки структурной и принципиальной схем в таблицу. Какая из схем в таблице является блок-схемой, а какая – принципиальной? На основании каких утверждений вы сделали такой вывод?

Таблица 1.1


Схема	Признаки
<p>Тип схемы: _____</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.</li> <li>2.</li> <li>3.</li> <li>4.</li> <li>5.</li> </ol>
<p>Тип схемы: _____</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.</li> <li>2.</li> <li>3.</li> <li>4.</li> <li>5.</li> </ol>

### Задание 2.

Составьте структурную и функциональную схемы. Начертите её в таблице 1.2.

Сколько элементов работает в данной схеме? Какие функции они выполняют? Какие сигналы для каждого из них являются входными? Выходными?

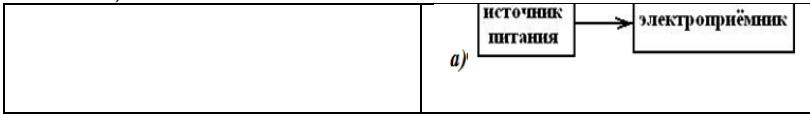
Таблица 1.2

	
--	--

### Задание 3.

- Составьте другую принципиальную схему, которая будет соответствовать данной структурной схеме (б). Начертите её в таблице 1.3.

Таблица 1.3



Сколько элементов работает в данной схеме? Какие функции они выполняют? Какие сигналы для каждого из них являются входными? Выходными? Составьте функциональную схему по данной принципиальной схеме.

### Задание 4.

Составьте функциональную схему технологического процесса по своей профессии

### Задание 5.

Составьте структурную схему работы по своей профессии

#### 1.5. Контрольные вопросы.

- Для чего используются в автоматике блок-схемы?
- Как представляют в блок-схемах составные части системы? направление передачи сигнала?
- Что означают буквы, написанные внутри блоков структурной схемы?
- Для чего используют принципиальную схему?
- Как изображают на принципиальной схеме элементы и связи между ними?
- Что называется технологическим процессом?
- Какой тип схемы использован для объяснения технологического процесса? Сколько элементов автоматике работает в данной схеме? Какие функции они выполняют?
- Какие сигналы для каждого из них являются входными? Выходными?
- Назовите отличия между системами сигнализации, защиты, блокировки?

### Лабораторная работа № 2

#### ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКА УРОВНЯ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО И СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ.

*Продолжительность работы — 2 ч*

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

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

3. Экспериментальное исследование характеристик датчика.

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

## 2.1. Теоретические сведения

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

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

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

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

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

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

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

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

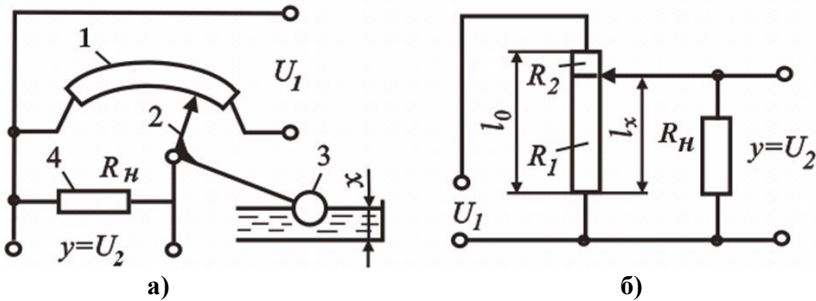


Рисунок 1.1 – Схемы потенциометрического датчика  
 а – датчик уровня поплавкового типа  
 б – расчетная электрическая схема преобразователя датчика

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

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

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

где  $R_0$  – полное сопротивление потенциометра,  $R_0 = R_1 + R_2$ ;  
 $R_1, R_2$  – сопротивления плеч потенциометра, отделяемых его движком;  
 $R_H$  – сопротивление резистора нагрузки.

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

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

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

$l_0$  – длина потенциометра.

Можно подобрать плечи рычага, связывающего поплавок 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2.2 Экспериментальная установка

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

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

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

- 1 Определять характеристики потенциометрического датчика уровня (ДУ);
- 2 Определять характеристики электромагнитного реле;
- 3 Определять рабочие характеристики центробежного насоса;

- 4 Определять различными способами расход жидкости;
- 5 Изучать устройство реле давления и приборов для измерения температуры и давления, определять пороги срабатывания реле давления, проводить измерения температуры и давления.

Общий вид стенда представлен на рисунке 1.2.

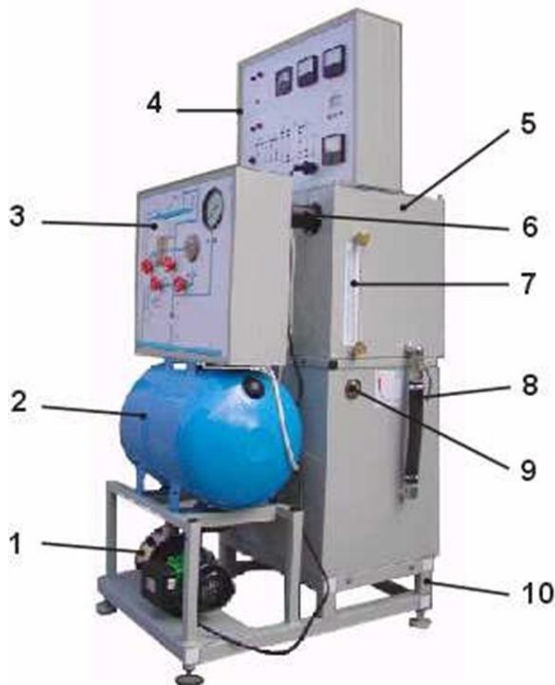


Рисунок 1.2 – Общий вид стенда

Стенд состоит из следующих основных устройств:

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

указатель);

10 – рама станда.

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

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

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

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

КО – клапан обратный;

РД – реле давления;

В1...В5 – вентили;

П – имитатор потребителей воды;

Т – датчик температуры;

РА – расходомер;

МН – манометр.

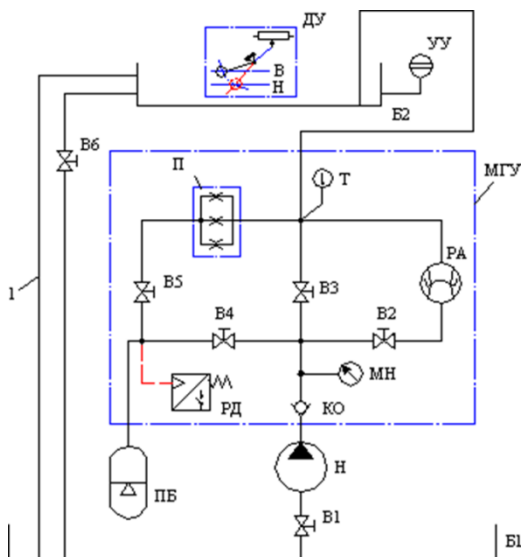


Рисунок 1.3 – Схема гидравлическая станда

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 (гидролиния 1 на рисунке 1.3) с большим внутренним диаметром. Перелив предусмотрен на высоте 0,26 м от дна верхнего гидробака. То есть максимальный уровень воды в верхнем гидробаке примерно 0,26 м. Вода из верхнего гидробака через трубу перелива перетекает в нижний гидробак. Благодаря этому при любых ситуациях, которые только могут возникнуть при работе 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 рисунке 1.4 (эта же схема показана на передней панели модуля электрического управления). На схеме обозначено:

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

ЭМП – электромагнитное реле;

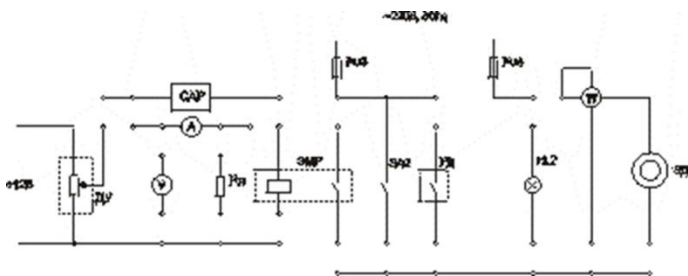
РД – реле давления (установлено в корпусе модуля гидравлического управления);

ЭД – электродвигатель привода гидронасоса;

РН – сопротивление нагрузки;

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

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



**Рисунок 1.4 – Электрическая схема станда**

На передней панели станда также установлен электронный секундомер:

- СЕК – цифровое табло секундомера (трехразрядное);

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

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

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

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

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

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

Перед началом работы на стенде необходимо:

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

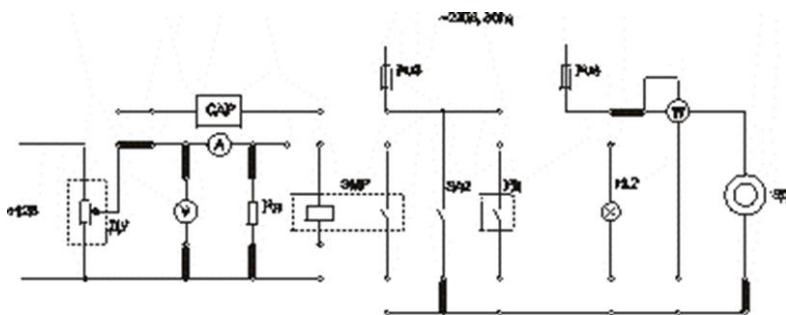
2 Заземлить корпус стенда.

## **2.3 Проведение испытаний**

### **1.3.1 Подготовка установки к работе**

Перед включением установки необходимо:

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



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

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

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

### **2.3.2 Методика испытаний**

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

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

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

- координату  $x$  – уровень воды в верхнем баке (по шкале указателя уровня). Нижнее деление указателя уровня принять за нулевое;
- напряжение  $U$  2 (по вольтметру);
- силу тока  $I$  (по амперметру).

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

уровнем воды в верхнем гидробаке.

Результаты измерений занести в таблицу 1.1.

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

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

Таблица 1.1 – Результаты исследований потенциометрического датчика при заполнении бака

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

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

## 2.4 Обработка результатов

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

1 По указателю уровня воды в верхнем баке:

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

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

3 Предел измерения амперметра – 1 мА.

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

## 2.5 Контрольные вопросы

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

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

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

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

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

### Лабораторная работа № 3

#### ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКА УРОВНЯ ГЕРКОНОВОГО ТИПА И СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ.

*Продолжительность работы* — 2 ч

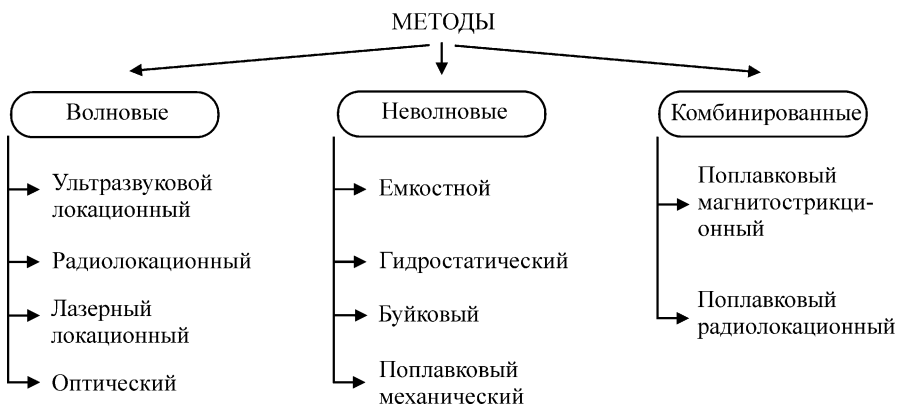
**Цель работы:** 1. Ознакомиться с методами измерения уровня жидкостей и принципом действия наиболее распространенных уровнемеров жидкостей. 2. Изучить устройство и принцип действия уровнемера герконового типа.

3. Определить основные метрологические характеристики уровнемера герконового типа.

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

#### **Общие сведения**

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



*Рис. 14.1.* Методы измерения уровня жидкостей

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

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

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

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

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

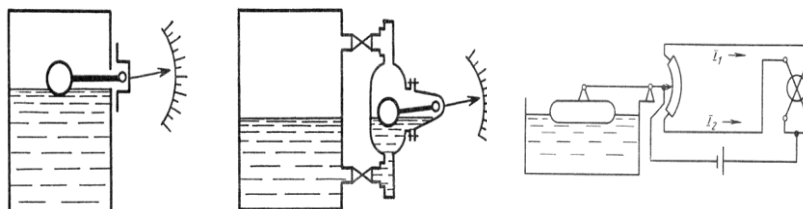


Рис. 14.2. Примеры поплавковых уровнемеров

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

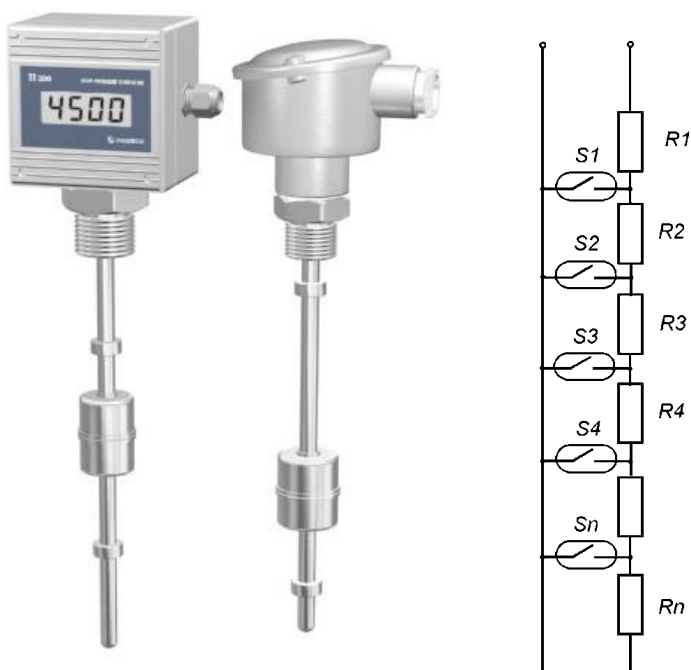


Рис. 14.3. Поплавковый уровнемер с резистивной матрицей и герконовыми реле

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

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

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

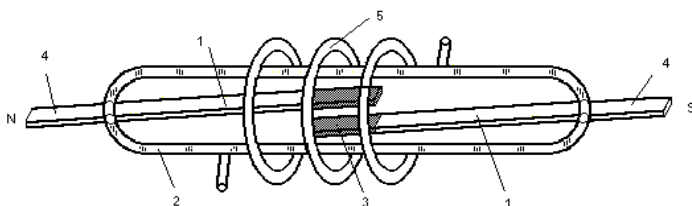


Рис. 7.8. Конструкция геркона

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

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

Временные параметры геркона, такие как время срабатывания  $t_{ср}$ , время отпущения  $t_{отп}$ , дополнительно характеризуются временем дребезга, соответственно при замыкании  $\tau_{др1}$  и размыкании  $\tau_{др2}$  (рис. 7.9, а). Эти временные параметры измеряются по схеме (рис. 7.9, б). Прямоугольные импульсы с генератора подаются на катушку управления герконом (КУ) и один из входов осциллографа. Геркон замыкает цепь постоянного тока источника  $U$ . Напряжение, снимаемое с резистора  $R_n$ , подается на второй вход осциллографа. Сопоставляя эти две осциллограммы, можно произвести измерение временных параметров геркона.

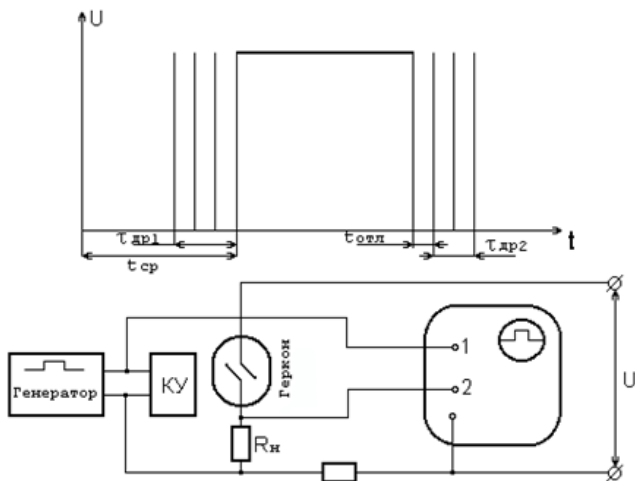
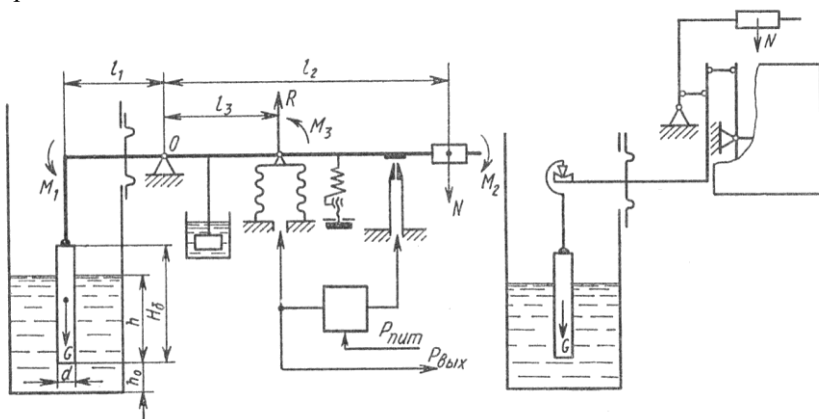


Рис. 7.9. Временные параметры геркона и схема для их измерения

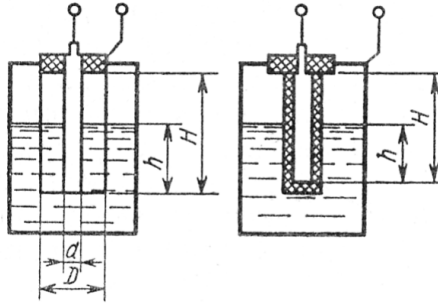
**Буйковые уровнемеры.** В буйковых уровнемерах (рис. 14.4) применяется неподвижный погруженный в жидкость буюк. Принцип действия буйковых уровнемеров основан на том, что на погруженный буюк действует со стороны жидкости выталкивающая сила. По закону Архимеда эта сила равна весу жидкости, вытесненной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

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



**Рис. 14.4. Буйковые уровнемеры**

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



**Рис. 14.5. Емкостные уровнемеры**

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

$$P = \rho gh, \quad (14.1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения.

Из (14.1) имеем

$$h = \frac{P}{\rho g} \quad (14.2)$$

Измерение гидростатического давления может осуществляться:

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

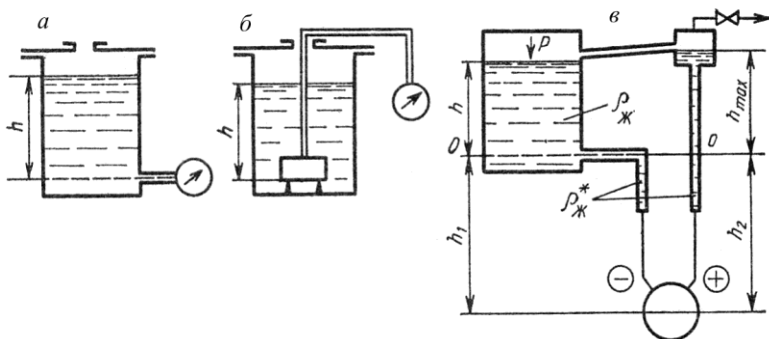
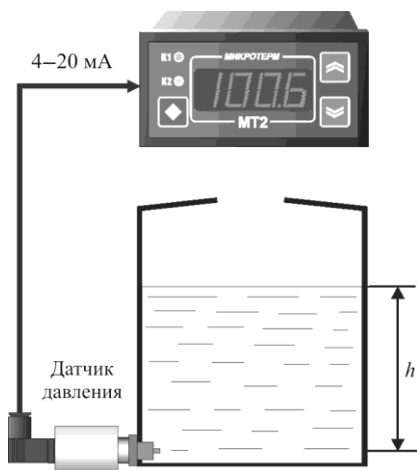


Рис. 14.6. Схемы гидростатических уровнемеров



В настоящей лабораторной работе рассматривается гидростатический уровнемер, состоящий из измерительного преобразователя (датчика) избыточного давления «Сенсор-М-122-т1» и измерителя- регулятора МТ2 (рис. 14.7).

Рис. 14.7. Гидростатический уровнемер

Измерительный преобразователь (датчик) избыточного давления «Сенсор-М-122-т1» преобразует гидростатическое давление столба жидкости  $h$  в унифицированный линейный токовый сигнал, изменяющийся в диапазоне 4-20 мА, а измеритель-регулятор МТ2 преобразует его в цифровой отсчет значения уровня.

**Определение метрологических характеристик гидростатического уровнемера**

Основными метрологическими характеристиками уровнемера являются: диапазон измерений, погрешности (абсолютная, относительная, приведенная) и вариация показаний.

*Диапазон измерений.* Диапазон измерений уровнемера определяется по (14.2). Как видно из формулы он зависит от диапазона преобразования датчика давления, плотности жидкости и ускорения свободного падения.

*Погрешности.* Погрешности уровнемера определяются по известным зависимостям:

– абсолютная погрешность:

$$\Delta h = h - h_d, \quad (14.3)$$

где  $h$  – показание уровнемера (измеренное значение);  
 $h_d$  – действительное значение уровня;

– относительная погрешность:

$$\delta = \frac{h - h_d}{h_d} \cdot 100 \% ; \quad (14.4)$$

– приведенная погрешность

$$\gamma = \frac{h - h_N}{h_N} \cdot 100 \% , \quad (14.5)$$

где  $h_N$  – нормирующее значение (обычно принимается равным верхнему пределу диапазона измерений).

*Вариация показаний.* Вариация показаний определяется по формуле  
$$V = \frac{h_v - h_u}{h_N} \cdot 100 \% , \quad (14.6)$$

где  $h_v$  – показание уровнемера при возрастающих значениях уровня;  
 $h_u$  – при убывающих значениях уровня.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с методами измерения уровня жидкостей и принципом действия наиболее распространенных уровнемеров жидкостей.
2. Изучить устройство и принцип действия гидростатического уровнемера, состоящего из измерительного преобразователя (датчика) давления «Сенсор-М-122-т1» и измерителя-регулятора МТ2.
3. Определить основные метрологические характеристики гидростатического уровнемера воды, руководствуясь приведенными рекомендациями.

Плотность воды принять равной  $998,23 \text{ кг/м}^3$ , ускорение свободного падения –  $9,815 \text{ м/с}^2$ , верхний предел преобразования датчика давления Сенсор-ДИ-М-122-t1 – 16 кПа.

Для определения погрешностей и вариации проводится измерение уровня при его возрастании в диапазоне от 0 до 100 см и убывании от 100 до 0 см. Действительное значение уровня определяется с помощью меры длины (мерной линейки).

4. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 14.1.

*Таблица 14.1*

Результаты измерений и вычислений

Измерено			Вычислено			
$h_d$	$h_b$	$h_u$	$\square$	$\delta$	$\gamma$	$V$
см	см	см	см	%	%	%
0						
20						
40						
60						
80						
100						

При определении абсолютной погрешности  $\square$  по формуле (14.3) используется то показание уровнемера, которое дает большую (по модулю) погрешность.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Какие методы измерения уровня жидкости вам известны?
2. Поясните принцип действия поплавковых уровнемеров.
3. Поясните принцип действия буйковых уровнемеров.
4. Поясните принцип действия емкостных уровнемеров.
5. Поясните принцип действия гидростатических уровнемеров.
6. От чего зависит диапазон измерения гидростатического уровнемера?
7. Назовите основные метрологические характеристики гидростатического уровнемера, как они определяются?

Изучение технологических и принципиальных схем систем автоматического измерения физических величин.

## Лабораторная работа № 4

### ИЗУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ДАТЧИКОВ И РЕЛЕ ДАВЛЕНИЯ

*Продолжительность работы* — 2 ч

**Цель работы:** 1 Получение навыков работы с манометром давления.

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

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

#### 4.1. Теоретические сведения

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

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

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

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

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

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

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

Широко применяют кратные единицы кПа и МПа.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

По метрологическому назначению манометры делятся на образцовые

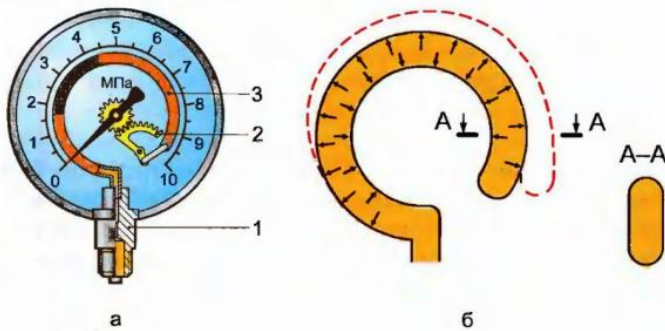
и рабочие. Образцовыми измерительными приборами называются устройства, предназначенные для поверки других измерительных приборов.

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

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

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

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



**Рис. 4.1. Конструкция манометра с трубкой Бурдона**

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

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

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

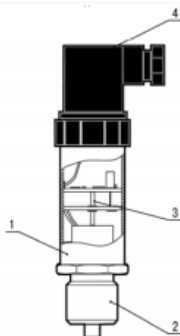
Допустимую погрешность измерения давления манометром определяют из следующего выражения:

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

где  $K$  – класс точности манометра;  
 $P$  – верхний предел измерения давления.

#### Датчики давления тензорезистивного типа

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



**Рис. 4.2. Внешний вид датчика давления тензорезистивного типа**  
1 – корпус, 2 – штуцер, 3 – нормирующий преобразователь, 4 – кабельный ввод.

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



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

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

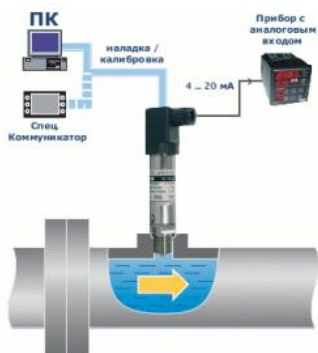
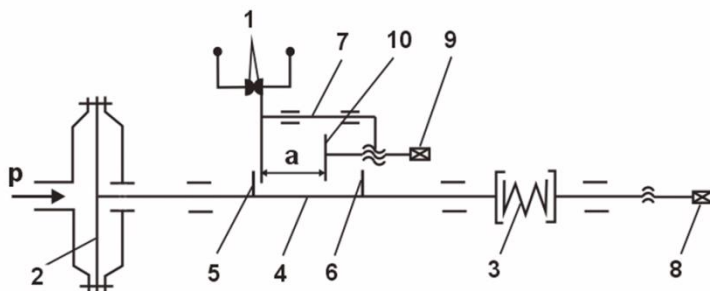


Рис. 4.4. Место установки датчиков давления на трубопроводе

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

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



**Рисунок 5.5 – Схема реле давления**

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

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

## **4.2. Экспериментальная часть**

Описание экспериментальной установки приведено в подразделе 2.3.

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

## **4.3 Проведение испытаний**

### **4.3.1 Подготовка установки к работе**

Перед включением установки необходимо:

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

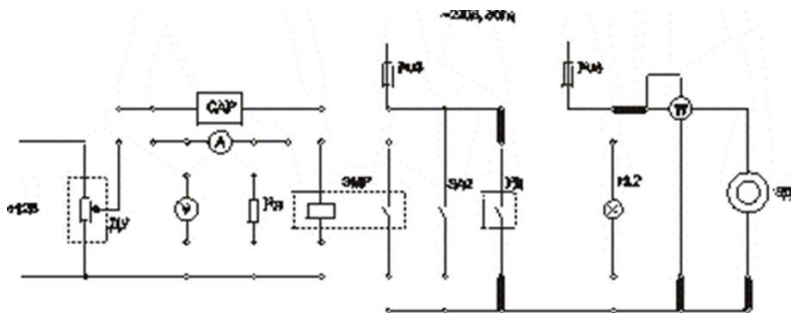


Рис. 4.6. Схема электрических соединений (к лабораторной работе №5)

2. На модуле гидравлического управления закрыть вентили  $V_2$  и  $V_3$  (закрытие вентиля осуществляется путем вращения маховичка управления по часовой стрелке). Вентили  $V_4$ ,  $V_5$  и  $V_6$  необходимо открыть. Причем вентиль  $V_5$  желательно приоткрыть частично. При уменьшении степени открытия вентиля  $V_5$  будет увеличиваться время опорожнения пневматического бака ПБ (см. рисунок 1.3) в верхний бак станда  $B_2$ , а следовательно, увеличится время, на которое будет отключаться насосная установка. При этом будет более удобно проводить испытания.

#### 4.3.2 Методика испытаний

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

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

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

Результаты измерений необходимо занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты исследований

№ опыт а	$p_{\text{верх}}$ -верхний порог срабатывания кгс/см <sup>2</sup>	$p_{\text{ниж}}$ -нижний порог срабатывания кгс/см <sup>2</sup>	$p_{\text{верх}}^{\text{ср}}$ кгс/см <sup>2</sup>	$p_{\text{ниж}}^{\text{ср}}$ кгс/см <sup>2</sup>	$t$ - температура воды, °С
1					
2					
3					
4					
5					

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

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

#### 4.4. Обработка результатов

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

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

#### 4.5. Контрольные вопросы

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

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

3. Назначение и устройство реле давления.

4. Методика экспериментальных исследований реле давления.

### Лабораторная работа № 5

#### ИЗУЧЕНИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА И АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ

*Продолжительность работы* — 2 ч

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

## 2 Экспериментальные исследования САР.

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

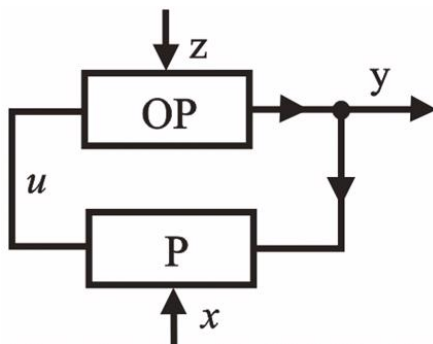
### 5.1 Теоретические сведения

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

Автоматическое регулирование является разновидностью автоматического управления.

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

Функциональная схема исследуемой в работе системы представлена на рисунке 10.1.



**Рис. 5.1.** Функциональная схема САР с регулированием по уровню

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

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

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

Воздействия, передаваемые от одного элемента системы к другому, являются внутренними воздействиями системы. Примером внутреннего

воздействия в системе на рисунке 6.1 является управляющее воздействие  $u$ , вырабатываемое регулятором  $P$  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  $\Delta$ . В этом случае

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

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

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

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

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

## 5.2 Экспериментальная установка

Описание экспериментальной установки приведено в подразделе 2.2.

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

Объектом регулирования (ОР) является верхний гидробак стенда Б2, который имитирует водонапорную башню (см. рисунки 2.2 и 2.3). При открытии вентиля В6 вода начинает перетекать из верхнего бака Б2 в нижний Б1, тем самым имитируется забор воды из водонапорной башни

потребителями. Расход воды из верхнего бака является возмущающим воздействием ( $z$ ), которое приводит к отклонению регулируемой величины ( $y$ ) – уровня воды в баке. Процесс подачи воды в верхний бак механизирован, так как для этого используется насосная установка. Таким образом, основными устройствами объекта регулирования являются верхний гидробак (водонапорная башня) и насосная установка.

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

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

### 5.3 Проведение испытаний

#### 5.3.1 Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

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

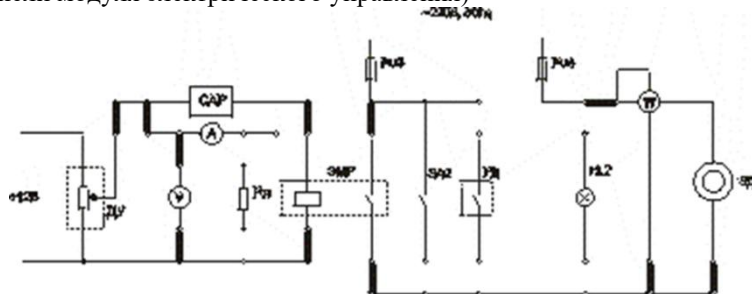


Рисунок 10.2 – Схема электрических соединений

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

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

#### 5.3.2 Методика испытаний

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

1. Провести два опыта при различных степенях открытия вентиля

В6. В первом опыте вентиль В6 открыть почти полностью (при этом рукоятку управления вентилем необходимо установить почти параллельно оси трубопровода).

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

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

Результаты испытаний занести в таблицу 5.1.

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

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

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

#### 5.4 Обработка результатов

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

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

Потребляемая в течение опыта энергия

$$A = \sum_{i=1}^5 W_{эл i} t_{pi}.$$

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

Результаты вычислений необходимо занести в таблицу 10.1, а затем построить графическую зависимость  $A = f(Q_{cp})$  (следует отметить, что для получения более достоверной графической зависимости необходимо проводить большее количество опытов).

Таблица 10.1 – Результаты исследований

Номер опыта	i – порядковый номер срабатывания насосной установки	$t_{pi}$ – время работы насосной установки при i-ом срабатывании	$W_{эл i}$ – потребляемая электродвигателем мощность, Вт	$U_{ост}$ – напряжение при остановке насосной установки	Показания расходомера		$t_{оп}$ – продолжительность опыта, с	$Q_{cp}$ – средний расход воды, м <sup>3</sup> /с	A – потребляемая в течение опыта энергия, кВт-час
					$V_{нач}$ – начальное, м <sup>3</sup>	$V_{кон}$ – конечное, м <sup>3</sup>			
	1								
	2								
	3								
	...								
	10								
	1								
	2								
	3								
	...								
	10								

### 5.5 Контрольные вопросы

1. Преимущества, назначение и структура систем автоматического

регулирования.

2. В чем достоинства и недостатки принципа регулирования по отклонению?

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

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

5. Поясните методику экспериментальных исследований САР.

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

## Лабораторная работа № 6

### ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКОВ РАСХОДА ВОДЫ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА

*Продолжительность работы* — 4 ч

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

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

#### 6.1 Теоретические сведения

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

Различают объемный ( $Q$ ), весовой ( $Q_g$ ) и массовый ( $Q_m$ ) расходы. Единицы измерения этих расходов в системе СИ следующие:  $Q$  – м<sup>3</sup>/с;  $Q_g$  – Н/с;  $Q_m$  – кг/с.

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

Весовой и массовый расходы связаны с объемным следующими зависимостями:

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

Где  $\gamma$  и  $\rho$  - удельный вес и плотность жидкости (газа) соответственно.

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

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

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

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

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

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

Рассмотрим наиболее распространенные методы измерения напорных потоков.

Для определения расхода в напорных потоках достаточно измерять один параметр протекающей жидкости — скорость. Площадь сечения всегда известна и ограничена стенками водовода. Расход определяется путем перемножения скорости потока жидкости на площадь проходного сечения.

Тахометрический метод.

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

Ультразвуковой времяимпульсный метод — зачастую называют просто «ультразвуковой», хотя это не совсем верно, поскольку ультразвуковых методов измерения расхода несколько. Как правило, в водовод монтируется минимум два пьезоэлектрических преобразователя друг напротив друга под углом  $45^\circ$ , которые попеременно работают как излучатель и приемник. Принцип действия данного метода основан на

измерении скорости прохождения ультразвукового сигнала от излучателя до приемника, при этом скорость прохождения сигнала по потоку жидкости выше, чем против потока. Возможно исполнение как с врезными в стенки водовода датчиками, так и с накладными датчиками.

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

возможно измерение агрессивных сред при использовании накладных датчиков;

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

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

## 6.2 Экспериментальная установка

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

Общий вид стенда представлен на рис.1

На лицевой панели отсека электрооборудования расположены автоматические выключатели, цифровое табло контрольного расходомера, клавишные выключатели насоса, компрессора и нагревателя, сигнальные индикаторы, терморегулятор «Овен» и дополнительные розетки «~220В» для подключения при необходимости компьютера и др.

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

Блок гидроаппаратуры включает:

наборное поле с установленными на ней исследуемыми расходомерами;

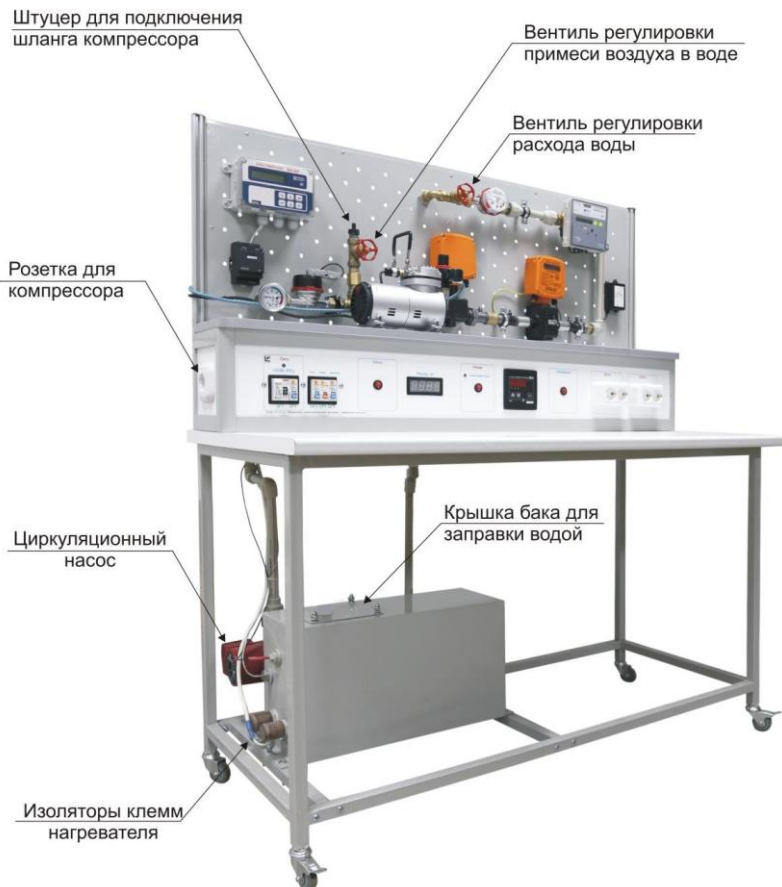
насос, трубопровод и арматуру; измерительную аппаратуру; водяной бак с подогревом; выносной воздушный компрессор.

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

### **6.3 Измерения расхода воды с помощью ультразвукового расходомера**

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

Различают объемный (Q), весовой (QG) и массовый (QM) расходы. Единицы измерения этих расходов в системе СИ следующие: Q – м<sup>3</sup>/с; QG – Н/с; QM – кг/с. Расход – это количество жидкости (газа), проходящей через живое сечение потока в единицу времени. Расход – важнейшая в гидравлике величина.

Различают объемный (Q), весовой (QG) и массовый (QM) расходы. Единицы измерения этих расходов в системе СИ следующие: Q – м<sup>3</sup>/с; QG – Н/с; QM – кг/с.

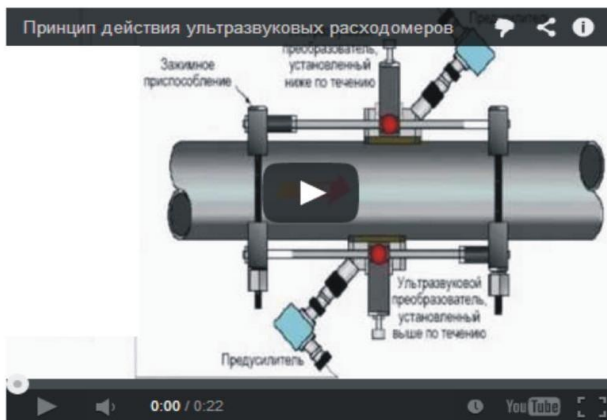


Рис 6.2. Классификация ультразвуковых расходомеров

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

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

Время  $\tau_1$  прохождения звуковым колебанием расстояния между излучателем и приемником.

$$\tau_1 = \frac{L}{c+x} = \frac{L}{c} \cdot \frac{1}{\left(1+\frac{x}{c}\right)} \quad (6.1)$$

где  $L$  - расстояние между излучателем и приемником, м;

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

$x$  - скорость или расход потока, м/с.

При распространении колебаний против скорости потока имеет место обратное явление замедление распространения, также пропорциональное скорости потока. В этом случае время  $\tau_2$  прохождения звуковым колебанием расстояния против скорости потока определяется по формуле

$$\tau_2 = \frac{L}{c-x} = \frac{L}{c} \cdot \frac{1}{\left(1-\frac{x}{c}\right)} \quad (6.2)$$

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

$$\tau_1 = \frac{L}{c} \cdot \left(1 - \frac{x}{c}\right) = \frac{L}{c} - \frac{Lx}{c^2} \quad (6.3)$$

$$\tau_2 = \frac{L}{c} \cdot \left(1 + \frac{x}{c}\right) = \frac{L}{c} + \frac{Lx}{c^2} \quad (6.4)$$

Однако основывать ультразвуковые расходомеры только на измерении  $\tau_1$  и  $\tau_2$  было бы нерационально из-за погрешностей, связанных, с одной стороны, с возможными колебаниями скорости звука  $c$  (из-за изменения плотности потока), а главное с тем, что влияние скорости потока  $x$  на времена  $\tau_1$  или  $\tau_2$  весьма мало по сравнению с влиянием скорости  $c$ .

Иными словами полное изменение  $x$  от нуля до  $x_{\max}$  очень мало изменяет величины  $\tau_1$  и  $\tau_2$  (менее чем на 1%).

Положение резко улучшится, если построить прибор, который реагировал бы на разность времени  $\tau_1$  и  $\tau_2$ .

Из (6.3) и (6.4) получим

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

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

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

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

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

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

- однолучевые или одноканальные;
- двухлучевые или двухканальные.

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

неодинаковые температуры или различный состав среды. Фазовые расходомеры бывают как однолучевые, так и двухлучевые; частотные и импульсные расходомеры, как правило, изготавливаются двухлучевыми.

#### 6.4 Порядок выполнения работы и обработка результатов эксперимента.

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

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

Таблица 6.1

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

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

Вычислить среднее значение расхода исследуемого расходомера:

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

Вычислить среднее значение расхода контрольного расходомера:

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

Вычислить абсолютную погрешность от табличного значения сопротивления для этой температуры:

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

Вычислить относительную погрешность от табличного значения сопротивления для этой температуры:

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

#### **6.4.1 Порядок операций по включению установки в работу.**

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

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

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

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

Включить автоматические выключатели QF1. Загорится индикатор «СЕТЬ».

Включить автоматические выключатели QF2. На табло

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

Включить автоматический выключатель QF3 «НАСОС» на панели стенда.

Включить циркуляционный насос клавишным выключателем «Насос».

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

Снять показания расхода с контрольного расходомера и с исследуемого ультразвукового расходомера

#### **6.4.2 Порядок операций по выключению установки.**

Выключить циркуляционный насос клавишным выключателем «Насос».

Выключить автоматический выключатель QF3 «НАСОС» на

панели стенда.

Выключить автоматические выключатели QF2.

Выключить автоматические выключатели QF1.

Открыть полностью верхний вентиль регулировки расхода воды.

## **6.5 Исследование характеристик вихревого расходомера.**

### **6.5.1 Теоретическая часть.**

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

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

По типу преобразователя вихревые расходомеры можно разделить на три группы:

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

Расходомеры, в первичном преобразователе которых поток закручивается и, попадая в расширенную часть трубы, принимая воронкообразную форму (прецессирует) создает пульсации давления.

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

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

Вихревые расходомеры с обтекаемым телом

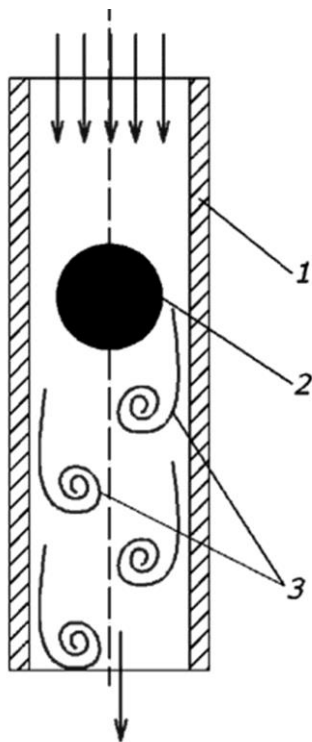


Рисунок 1 - Дорожка Кармана (схема образования вихрей), где 1- трубопровод, 2- тело обтекания, 3- вихри.

Поток, огибая тело, меняет направление движения обтекающих струй и увеличивает их скорость, при этом соответственно уменьшается давление. Далее за минимальным сечением тела происходит уменьшение скорости и увеличение давления. Одновременно на передней стороне тела образуется повышенное давление, а на задней стороне тела — пониженное давление. Пограничный слой, пройдя минимальное сечение тела, отрывается от него и под воздействием пониженного давления, которое образуется за телом, меняет направление движения, создавая вихрь. Это происходит и в верхних, и в нижних частях обтекаемого тела. Образование вихрей с обеих сторон происходит поочередно, так как вихрь с одной стороны мешает образованию вихря с другой. При этом за обтекаемым телом образуется вихревая дорожка Кармана (по имени фон Кармана, описавшего это явление в 1912 году).

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

загрязнённых сред.

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

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

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

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

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

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

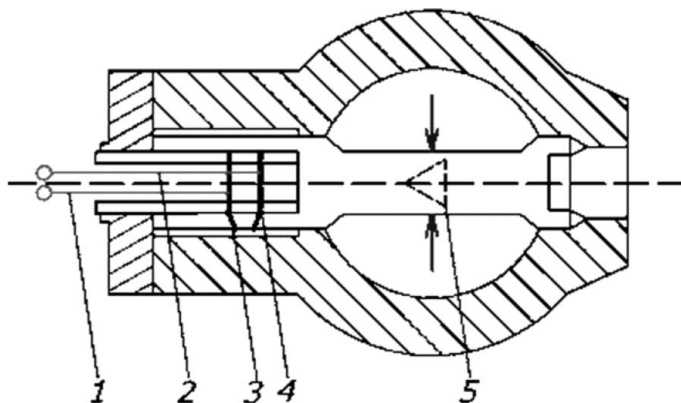


Рисунок 2 - Преобразователь вихревого расходомера спьезоэлементами  
(1,2-электроды; 3,4- пьезоэлементы; 5- обтекаемое тело)

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

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

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

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

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

Вихревые расходомеры с прецессией воронкообразного вихря

Преобразователи этих расходомеров имеют приспособление,

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

Две возможные принципиальные схемы первой ступени преобразователей таких расходомеров (представлены на рисунке 3 а-б), отличающиеся лишь способом закручивания потока.

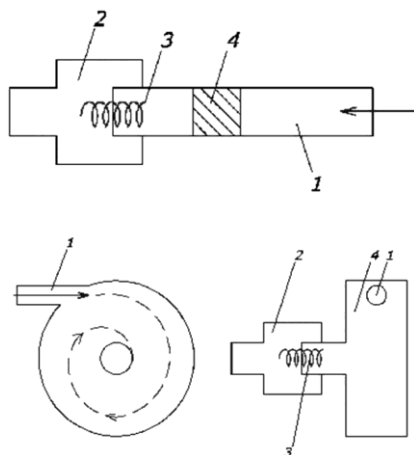
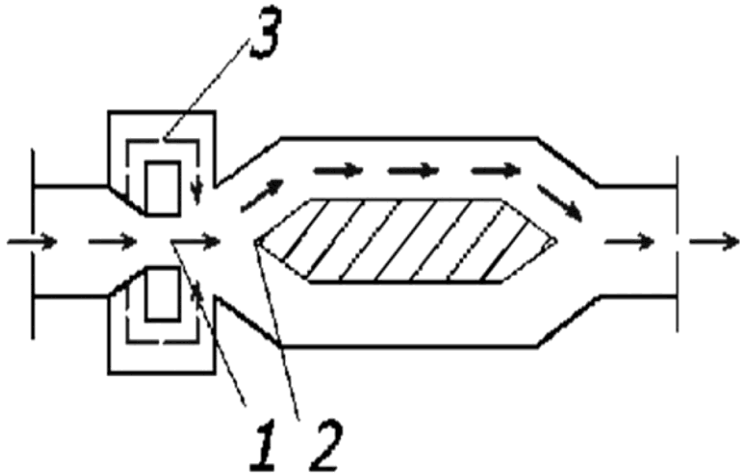


Рисунок 3- схемы первой ступени вихревых преобразователей(а - с винтовым завихряющим устройством, б- с тангенциальным вводом в камеру)

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

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

Вихревые расходомеры с осциллирующей струей



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

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

В преобразователе с обратной гидравлической связью струя,прижатая к нижней стенке диффузора, не вся удаляется через выходной патрубок. Часть ее ответвляется в верхний обводной канал и, выходя через сопло1, перебрасывает струю, выходящую из сопла2, в нижнее положение. После этого произойдет ответвление части струи в верхний обводной канал, струя будет переброшена вниз и наступит процесс ее

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

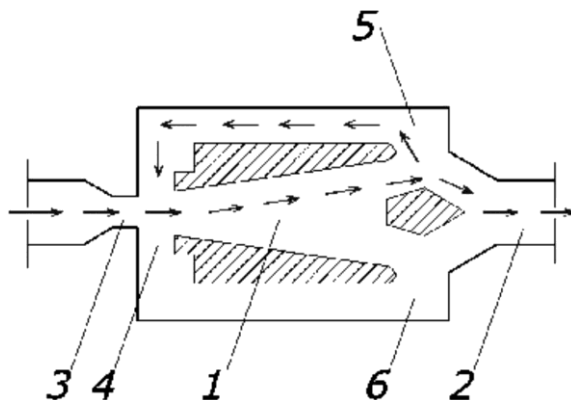


Рисунок 5- Преобразователь вихревого расходомера с колеблющейся струей с обратной гидравлической связью (1- диффузор 2- выходной парубок, 3- сопло1, 4-сопло2, 5-верхний отводной канал,6-нижний обводной канал)

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

К достоинствам таких расходомеров следует отнести:

- Простоту и надежность преобразователя расхода;
- Отсутствие подвижных частей;
- Большой диапазон измерений;
- Линейный измерительный сигнал;
- Достаточно высокую точность измерения;
- Стабильность показаний;
- Независимость показаний от давления и температуры;
- Сравнительная несложность измерительной схемы;
- Возможность получения универсальной градуировки.

Недостатки вихревых расходомеров

- Невозможно использовать при малых скоростях потока (трудно измерять сигналы с маленькой частотой колебаний);

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

Устранить помехи можно:

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

Сферы применения вихревых расходомеров:

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

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

### 6.5.2 Порядок выполнения работы и обработка результатов эксперимента.

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

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

Таблица 6.5.1

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

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

Вычислить среднее значение расхода исследуемогорасходомера:

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

Вычислить среднее значение расхода контрольного расходомера:

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

Вычислить абсолютную погрешность от табличного значения сопротивления для этой температуры:

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

Вычитать относительную погрешность от табличного значения сопротивления для этой температуры:

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

### **6.5.3 Порядок операций по включению установки в работу.**

Тщательно изучить руководство по эксплуатации блока индикации БИ-03.

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

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

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

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

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

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

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

7. Включить циркуляционный насос клавишным выключателем «Насос».

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

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

### **6.5.4 Порядок операций по выключению установки.**

1. Выключить циркуляционный насос клавишным выключателем «Насос».

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

3. Выключить автоматические выключатели QF2.
4. Выключить автоматические выключатели QF1.
5. Открыть полностью верхний вентиль регулировки расхода воды.

### **Лабораторная работа № 7**

## **ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ С ПОМОЩЬЮ ВЛАГОМЕРА МГ-44 Э**

*Продолжительность работы* — 2 ч

**Цель работы:** изучение устройства, принципа действия, технических характеристик и содержит в себе сведения, необходимые для правильной эксплуатации (использования, транспортирования, хранения и технического обслуживания) электронного цифрового измерителя влажности грунта «МГ-44». Получить измерения влажности различных грунтов.

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

### **7.1. Теоретические сведения**

Для определения влажности грунтов применяются различные методы. Лабораторные методы, регламентируемые стандартами Республики Беларусь, применяются для точной оценки влажности. В мелиорации и строительстве точное определение влажности необходимо для последующего расчета плотности сухого грунта и коэффициента уплотнения или определения оптимальной влажности грунта и установления допустимых пределов варьирования коэффициента увлажнения и т.п. Лабораторные эксперименты проводятся в течение определенного времени, зависящего от вида грунта, вследствие чего лаборатория не имеет возможности оперативно сообщить данные о влажности грунта. Полевые испытания грунтов выполняются с целью экспресс оценки показателей физических свойств. Поэтому данные о влажности грунтов получают сразу после выполнения измерений. Такие данные обладают меньшей точностью, но быстрота определения влажности позволяет оперативно отреагировать на ситуацию и принять соответствующее решение о необходимости увлажнения или осушения грунтов.

#### **7.2.1. Определение влажности грунтов методом**

## высушивания до постоянной массы по ГОСТ 5180–84

При реализации этого способа влажность грунта определяют отношением массы воды, удаленной из грунта высушиванием до постоянной массы, к массе высушенного грунта.

При выполнении лабораторного теста по ГОСТ 5180–84 выделяют три стадии:

1. Подготовка к испытанию.
2. Проведение испытания.
3. Обработка результатов испытаний.

Подготовка к испытанию состоит в том, что для определения влажности отбирают пробу грунта массой 15–50 г и помещают в заранее высушенный, взвешенный и пронумерованный стаканчик и плотно закрывают крышкой.



Рис. 7.1. Алюминиевые стаканчики для взвешивания (бюксы)



Рис. 7.2. Взвешивание пустого стаканчика и крышки для определения массы

Выполнение испытания начинают со взвешивания пробы грунта в закрытом стаканчике и определяют его массу. После этого стаканчик открывают и вместе с крышкой помещают в нагретый сушильный шкаф



Рис. 7.3. Взвешивание стаканчика с грунтом и крышкой

Рис. 7.4. Стаканчики с грунтом и крышками в сушильном шкафу

Сушильный шкаф закрывают и производят сушку грунта, называемую первым высушиванием. Температура сушки грунта должна составлять  $105 \pm 2$  °С. Продолжительность этого высушивания зависит от подвида дисперсного грунта. Так песчаные грунты сушат в течение 3 ч, а остальные – 5 ч.

После сушки образец грунта вместе со стаканчиком для взвешивания охлаждают до температуры помещения, используя эксикатор с хлористым кальцием.

Охлажденный образец в стаканчике, закрытом крышкой, взвешивают и, открыв крышку, помешают в сушильный шкаф для повторного высушивания.

Температура повторного, а если потребуется, то и всех остальных высушиваний такая же, как и при первом высушивании грунта, продолжительность повторных высушиваний должна составлять 1 ч для песчаных грунтов.

После повторного высушивания образцы охлаждают и вновь взвешивают. Операции повторного высушивания, охлаждения и взвешивания повторяют до тех пор, пока разность масс грунта со стаканчиком и крышкой при двух последующих взвешиваниях не будет превышать 0,2 г.

В тех случаях, когда при повторном взвешивании грунта, содержащего органические вещества, наблюдается увеличение массы, то за результат взвешивания принимают наименьшую массу.

Завершив испытание, влажность грунта определяют по формуле

$$w = 100 \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m}, \quad (7.1)$$

где  $m$  — масса пустого стаканчика с крышкой, г;  $m_1$  — масса влажного грунта со стаканчиком и крышкой, г;  $m_0$  — масса высушенного грунта со стаканчиком и крышкой, г.

### 7.2.2. Определение влажности грунтов методами и приборами для экспресса оценки

Для определения влажности грунта непосредственно на мелиоративном объекте или строительной площадке применяют методы и приборы экспресс оценки. Приборы, позволяющие выполнять такую оценку, называют влагомерами грунта (рис. 7.5 и 7.6).



Рис. 7.5. Влагомер почв, песка и грунта TDR -100



Рис. 7.6. Влагомер грунта МГ- 44

В настоящее время производители предлагают такие приборы, снабженные зондами различной длины, что позволяет определять влажность грунта как на поверхности, так и на разных глубинах отсыпаемого технологического слоя земляного полотна. Влагомеры просты в использовании, но требуют калибровки

Порядок работ по калибровке подробно описывается производителями в инструкциях по эксплуатации.

Так, влагомер МГ-44 позволяет создать и занести в память процессора любую калибровочную кривую для любого типа грунта.

При измерении электрод нужно погрузить в грунт и включить прибор



Рис. 7.7. Клавиши управления прибором МГ- 44

Порядок работ по калибровке подробно описывается производителями в инструкциях по эксплуатации.

Так, влагомер МГ-44 позволяет создать и занести в память процессора любую калибровочную кривую для любого типа грунта.

При измерении электрод нужно погрузить в грунт и включить прибор

кнопкой, расположенной слева на корпусе (см. рис. 7.8). На дисплее в первой строке появится название продукта, первого в списке калибровок. Во второй строке слева будет указано значение влажности в процентах: «Н= .%», а справа – индикатор заряда батареи. На рис.

8.18 представлены показания прибора, в соответствии с которыми первым продуктом является чернозем, а влажность вследствие того, что электрод не погружен в грунт, имеет нулевое значение (Н=0%).

Для выбора другого грунта нужно нажать кнопку со стрелкой «Влево» (рис. 7.9), при помощи которой выполняется переход к списку калибровок (продуктов), хранящихся в памяти прибора.

Нажатию кнопки «Влево» или «Вправо» выбирается нужная строка (рис. 7.8).



Рис. 7.8. Включение прибора МГ- 44



Рис. 7.9. Название первого в списке калибровок продукта



Рис. 7.10. Нажатие кнопки «Влево» для входа в список калибровок



Рис. 7.11. Выбор нужной строки «Песок»

После появления нужной строки (см. рис. 7.11) нажимается кнопка «Ввод» и на дисплее появляются название продукта и его влажность. На рис. 3.12 приведена измеренная влажность образца песка.



Рис. 3.12. Влажность песка, измеренная прибором МГ- 44

Если влажность грунта, измеренная в лаборатории методом высушивания до постоянной массы, отличается от показаний прибора МГ-44, то возможно внести поправки в показания влагомера. Возможная величина поправки находится в пределах  $\pm 5\%$ , а шаг составляет 0,1%.

Для этого выполняется следующая процедура:

1. Погружение электрода в грунт с известной влажностью.
2. Нажимается кнопка включения.
3. Выбирается в списке нужный грунт.
4. Нажимается «Ввод».
5. Нажимается и удерживается кнопка «Вверх» до тех пор, пока на дисплее во второй строке между показаниями влажности и символом заряда батареи не появится значение поправки в процентах. Например, -0,5%.
6. Кнопка «Вверх» отпускается, а управляя кнопками «Влево» или «Вправо», устанавливается желаемая поправка.

Одновременно с внесением поправки слева внизу меняется и значение влажности, уже скорректированное. Установив желаемое значение и нажимая «Ввод», поправку удаляют с дисплея. Форма калибровочной кривой при внесении поправки не изменяется. Происходит только параллельный перенос характеристики «вниз» или «вверх» в пределах  $\pm 5\%$ . Поправка для каждого из 99 каналов своя и независима.

### 7.3. Экспериментальная часть

#### 7.3.1. Назначение

Электронный цифровой измеритель влажности «МГ-44» (именуемый в дальнейшем прибор), предназначен для измерения относительной влажности грунта при помощи чувствительного радиочастотного датчика.

1. Определение влажности производится с использованием косвенного метода измерения, основанного на зависимости диэлектрических свойств среды от ее влажности. Увеличение диэлектрической проницаемости тестируемого образца, при неизменной температуре, свидетельствует об увеличении содержания воды в материале.

2. Прибор предназначается для работы в районах с умеренным климатом. По защищенности от воздействия окружающей среды, прибор имеет обыкновенное исполнение. В окружающем воздухе в месте установки прибора допускается наличие агрессивных паров и газов и паров в пределах санитарных норм, согласно нормам СН-245-71.

### 7.3.2. Технические данные

1. Диапазон измеряемой прибором относительной влажности грунта, %: 1-40(100) зависит от калибровки
2. Предел основной абсолютной погрешности во всем диапазоне измерения влажности, %:  $\pm 1$  (в указанную погрешность укладывается 90% измерений).
3. Время установления рабочего режима, с: 3
4. Время единичного измерения, сек. не более: 3
5. Питание прибора осуществляется от внутреннего источника  $\pm 10$  постоянного тока  $\pm 9$  вольт.
6. Отсчет измеряемой относительной влажности производится по жидкокристаллическому индикатору, расположенному на передней панели индикаторного устройства.
7. Габаритные размеры индикаторного устройства, мм: 145×80×40
8. Датчика: длина электрода- 500 мм, длина корпуса датчика- 140 мм, диаметр – 10 мм
9. Масса, кг, не более: 0.3
10. Температура анализируемого грунта: -20...+60°C.
11. Температура окружающего воздуха от -20 до +70°C.
12. Изменение показаний прибора от изменения температуры окружающего воздуха на каждые 10°C относительно нормальной (20°C), в пределах от +1°C до +40°C, не превышает 0,2 значения основной абсолютной погрешности.
13. Потребляемая электрическая мощность прибора, не более 0,1 Вт.  
В состав влагомера входят входят:
  - Датчик;
  - Устройство обработки данных и индикации;
  - Сигнальный кабель 0.7 метра.

## 7.4. Устройство и работа прибора

Общий принцип работы прибора состоит в следующем:

Датчик излучает направленную электромагнитную волну высокой частоты, часть которой поглощается на молекулах воды, при распространении в веществе, а часть отражается в направлении датчика. Измеряя коэффициент отражения волны от вещества, который прямо пропорционален содержанию воды, выводим значение относительной влажности на индикатор.

На передней панели прибора находятся: жидкокристаллический индикатор, кнопки управления микропроцессором. В верхней части корпуса находится ввод сигнального кабеля. Корпус датчика герметичный, в тыльной части находится сигнальный разъем.

## 7.5. Порядок выполнения работы

1. При измерении, электрод погрузить в грунт.

2. Включить прибор кнопкой, расположенной слева на корпусе.

Кнопку необходимо удерживать в процессе работы с прибором.

На дисплее Вы увидите: в первой строке название продукта первого в списке калибровок, во второй слева - значение влажности в %: «Н=...%», справа-индикатор заряда батареи.

3. Нажав кнопку со стрелкой «Влево», Вы переходите к списку калибровок, хранящихся в памяти прибора. С помощью кнопок «Влево», «Вправо» выбираете нужную строку, нажимаете «Ввод», - на дисплее название продукта и его влажность.

4. Вы можете внести поправку (в пределах  $\pm 5\%$  с шагом 0.1%) в показания прибора в случае, если показания прибора и влажность продукта, полученная лабораторным термостатно-весовым методом, не совпадают. Для этого выполните следующую процедуру:

1. Погрузите датчик в грунт, влажность которого точно известна.

2. Нажмите кнопку включения

3. Выберете в списке нужную Вам строку.

4. Нажмите «Ввод».

5. Нажмите и удерживайте кнопку с изображением стрелки

«Вверх» до тех пор, пока на дисплее во второй строке между показаниями влажности и символом заряда батареи не появится значение поправки в %. Например:

## ГРУНТ

**H=25,0%**

**-0.5%**

Отпускайте кнопку со стрелкой «Вверх».

Кнопками, установите желаемую поправку.

Одновременно с внесением поправки слева внизу меняется и значение влажности, уже скорректированное. Установив желаемое значение, жмите «Ввод», и значение поправки исчезнет с дисплея.

Форма калибровочной кривой при внесении поправки не изменяется. Происходит только параллельный перенос характеристики «вниз» - «вверх» в пределах  $\pm 5\%$ .

Поправка для каждого из 99 каналов своя и независима.

5. Выполните три серии многократных измерений одной и той же физической величины  $w$  влажности грунта на экспериментальном участке ( $n = 10$ ) для различных грунтов.

6. Результаты измерений необходимо занести в таблицу 7.1 и выключить влагомер.

Таблица 7.1. Результаты серий многократных измерений влажности грунта

№ МВИ	Номер наблюдения $n$								
	1	2	3	4	5	6	...	10	среднее
МВИ1									
МВИ2									
МВИ3									

### 7.6. Обработка результатов

1. Используя результаты измерения влажности, необходимо определить средние арифметические значения  $w_{cp}$  для различных грунтов.

2. Необходимо также, используя выражение (5.2), определить допустимую погрешность измерения влажности влагомером МГ- 44 Э.

### Контрольные вопросы

1 Классификация, устройство, принцип действия, достоинства и недостатки, области применения приборов для измерения влажности

грунта.

2 Устройство, принцип действия, достоинства и недостатки, области применения влагомера МГ-44 Э.

3 Методика экспериментальных исследований влажности грунта с помощью влагомера МГ-44 Э.

## **Лабораторная работа № 8** **Изучение иглофильтровой установки**

### **8.1 Характеристика иглофильтровой установки IgE-81**

Иглофильтровая установка IgE-81, по сравнению с традиционными конструкциями, характеризуется следующими качествами:

- небольшим затратам труда как при монтаже, так и при демонтаже установки (соединения иглофильтров с коллектором, а также соединения отдельных элементов коллектора делаются просто, быстро и герметично),

- лёгким транспортом и меньшими затратами труда при нём (лёгкий материал иглофильтров и коллекторов, а также уменьшённое количество составных частей),

- большой прочностью иглофильтров, дающей возможность применять их многократно (материал иглофильтров устойчивый к коррозии и к низким температурам, а простая конструкция самого фильтра облегчает его очистку),

- двумя видами посадочных труб, с двумя видами длины, входящих в состав комплекта, облегчающими установку иглофильтров в разных грунтовых условиях и на произвольной глубине.

#### **Варианты установок IgE 81/32 и IgE 81/63**

Иглофильтровые установки доступны в двух вариантах исполнения: IgE 81/32 и IgE 81/63. Эти варианты отличаются друг от друга прежде всего применяемыми иглофильтрами. Чаще всего применяется вариант IgE 81/32, основанный на эластичном иглофильтре с диаметром 32 мм.

В случае варианта IGE 81/63 находят применение иглофильтры диаметром 63. Использование этого варианта ведет к более интенсивному удалению воды. По сравнению с IGE 81/32, дополнительно для каждого иглофильтра, для его подключения к вытяжному коллектору, требуется эластичный соединитель с уплотнителями. Иным также, является вытяжной коллектор и заглушки для закрытия штуцеров коллектора.

## Описание конструкции и основные данные

**Все металлические элементы установки изготовлены из алюминия.**

Патрубок фланцевый (поз. 1 перечня) с одной стороны закончен фланцем, а с другой насадкой с внешней фасонной деталью (тип V – мужская насадка)

133. Патрубок является элементом, служащим для быстрого соединения насосного агрегата с вытяжным коллектором иглофильтровой установки и сбрасывающим коллектором. Он должен быть прочно привинчен (с резиновой прокладкой) к вытяжному и сбрасывающему патрубку агрегата.

Распределитель фланцевый (поз. 2) закончен с одной стороны фланцем, как патрубок, (поз. 1), с другой стороны имеет два входа, законченные внутренними фасонными деталями 133.

Распределитель используется (привинчивается с резиновой прокладкой к патрубку вытяжного насосного агрегата) тогда, когда проект осушки предусматривает применение двух линий вытяжного коллектора (установок).

Эластичное соединение (поз. 3) изготовлен из эластичного армированного шланга ПВХ, D 110 мм, длиной около 2,5 м, и закончен с одной стороны насадкой с внешней фасонной деталью 133 (тип M – женская насадка), с другой внутренней фасонной деталью 133. Шланг на концах тампонирован резиновыми патронами и креплен металлическими бандажами.

Соединение служит подключению вытяжного коллектора иглофильтровой установки к насосному агрегату, либо произведения любого изменения направления расположения вытяжного и сбрасывающего коллектора.

Участок вытяжного коллектора **IgE 81/32** (поз. 4) сделан из трубы D 133 мм, длиной 5 м, законченной фасонными деталями 133 (внешней и внутренней). Патрубки для подключения иглофильтров размещены на коллекторе каждый 1 м.

Участок коллектора служит соединению иглофильтров с насосным агрегатом и является сборочным трубопроводом с вакуумметрическим давлением для всех водозаборов.

Колено **90°** (поз. 6) сделано из сварных участков трубы 133, и закончено фасонными деталями 133 (внешней и внутренней). Служит изменению направления вытяжного или сбрасывающего коллектора на 90°.

Эластичный иглофильтр **32** (поз. 7) изготовлен из эластичной и полупрозрачной полиэтиленовой трубы 0 32x3,4 мм, длиной 7 м,

законченной фильтром с сеткой, длиной 0,3 м; 0,6 погонного метра или 1 погонный метр. Служит для забора воды из грунта.

Прокладка иглофильтра (поз. 8) изготовлена из резины в форме кольца типа

„О“, размерами 023,5x7,7 мм. Служит для герметичного соединения иглофильтра с патрубком вытяжного коллектора.

Прокладка **133** (поз. 9) изготовлена из резины в форме кольца типа „О“, размерами □ 187x22 мм. Служит для герметизации всех соединений вытяжного коллектора и соединений подмывных труб 133 (поз. 16) с подмывными шлангами (поз. 15).

Пробка (поз. 10) изготовлена из резины в форме усечённого конуса, размерами 038/046x40 мм. Предназначен для закрытия (заглушения) патрубков вытяжного коллектора в случае не применения в данном месте иглофильтра, либо его аварийного выхода из строя.

Внешняя заглушка (поз. 11) сделана из заглушенной внешней фасонной детали и смычки рычага. Служит для замыкания конца вытяжного коллектора. Может также употребляться для заглушения патрубка вытяжного насосного агрегата (оснащённого патрубком или распределителем) по ходу проверки его способностей создания вакуумметрического давления.

Подмывная труба **50** (поз. 13) сделана из трубы D 50 мм, законченной с одной стороны внутренней фасонной деталью, и служит для установления (заложения) иглофильтров в грунте без применения обсыпки. Длина трубы = 6 погонных метров.

Подмывной шланг **50** (поз. 12) изготовлен из безалина D 50 мм, длиной 7,5 м, законченный с одной стороны внешней фасонной деталью 50 с коленом и смычкой рычага, а с другой стороны переходной муфтой для пожарных рукавов 52. Служит для соединения подмывной трубы 50 с подмывным насосом.

Прокладка **50** (поз. 14) изготовлена из резины в форме кольца типа „О“. Служит для герметизации соединения подмывной трубы 50 с подмывным шлангом 50.

Подмывная труба **133** (поз. 16) сделана из трубы D 133 мм, законченной с одной стороны внутренней фасонной деталью и зацепкой для вытаскивания, с другой стороны нарезкой в виде зубьев, и служит для установления (заложения) иглофильтров в грунте тогда, когда требуется применение обсыпки иглофильтров.

Она сделана в двух вариантах длины (4,5 и 6,0 м) для облегчения заложения иглофильтров на разной глубине.

Подмывной шланг **75** (поз. 15) изготовлен из безалина 0 75 мм, длиной 7,5 м, законченный с одной стороны фасонной деталью 133 с коленом и

смычкой рычага, а с другой стороны переходной муфтой для пожарных рукавов 75. Служит для соединения подмывной трубы 133 с подмывным насосом.

Дополнительные элементы, присутствующие в установке **Ige 81/63**  
Фрагмент вытяжного коллектора IgE 81/63 (поз. 17) выполнен из трубы D 133 мм, и длиной 5 м законченный фитингами 133 (наружным и внутренним). Штуцера, для подключения иглофильтров, расположены на коллекторе каждый 1 м. Данный коллектор отличается от коллектора применяемого в установке IgE 81/32 видом штуцеров. В место цилиндрического фитинга, использован внутренний фитинг – наконечник к быстроразъемному соединению V51.

Фрагмент коллектора служит для подключения иглофильтров с насосным агрегатом и создает сборный декомпрессионный трубопровод для всех водозаборов.

Эластичный иглофильтр **63** (поз.18) выполнен из эластичной и полупрозрачной полиэтиленовой трубы 63x5,8 мм, длиной 6 м, законченной сетчатым фильтром длиной 0,6 м, а с другой стороны наконечником M 51. Служит для забора воды из грунта.

Эластичный соединитель **51** мм (поз.19) – выполнен из эластичного армированного шланга ПХВ D51 длиной около 2,5 м, законченный двумя наконечниками типа M 51 (быстроразъемными соединителями). Шланг крепится металлическими хомутами. Соединитель служит для подсоединения иглофильтра 63 к вытяжному коллектору.

Уплотнитель эластичного соединителя **51** мм (поз.20) – предназначен для подключения соединителя 51 с вытяжным коллектором и иглофильтром 63.

Подмывная труба **108** (поз. 21), выполнена из трубы D 108 мм, законченной с одной стороны фитингом типа M и рукояткой для вытягивания, служит для установки подмывных иглофильтров 63 в грунте.

Наружная заглушка **51** (поз. 22), служит для закрытия штуцеров вытяжного коллектора, в случае отсутствия в данном месте иглофильтра или его аварийного отключения.

Вариантные элементы

Вариантными элементами установки являются проходные трубы (поз 23 списка), входящие в состав сбрасывающего трубопровода. Они могут быть применены для:

- Откачки воды, сбрасываемой насосным агрегатом,
- Продления фрагментов установки, соединения вытяжных коллекторов удаленных от себя фрагментов установки.

Проходные трубы должны подбираться в зависимости от условий

работы установки.

Установка иглофильтров

Иглофильтры устанавливаются (закладываются) в грунте методом подмывания с помощью подмывных труб, соединённых с подмывным насосом или с гидрантом. Комплект иглофильтровой установки IgE 81/32 содержит два вида подмывных труб (посадочных):

- с малым диаметром D 51 мм,
- с большим диаметром D 133 мм.

с дифференцированной длиной для облегчения подмывания на разных глубинах. Комплект иглофильтровой установки IgE 81/63 содержит с подмывную трубу с диаметром D 108 мм.

Подмывная труба 50 (поз. 13) служит для установления иглофильтров в грунтах не требующих фильтрационной обсыпки, а подмывная труба 133 (поз. 16) служит для установления иглофильтров в случае необходимости применения фильтрационной обсыпки. Подмывная труба 108 (поз. 21) служит для установления иглофильтров 63mm (IgE 81/63)

Фильтрационную обсыпку делается:

- в переслоенных грунтах (имеющих не пропускаемые слои) на такую высоту, чтобы обсыпка соединила все слои осушаемого грунта, однако, чаще всего на всю высоту подмывания иглофильтра.

- в однородных грунтах, пылевых, на высоту около 0,5 м выше верхнего края фильтра (практически 2 ведра обсыпки).

Грануляцию фильтрационной обсыпки подбирается соответственно к грунту, в котором будет заложен фильтр, применяя принцип:

$$D_{50}/d_{50} = 5 \square 10$$

где:  $D_{50}$  – средняя толщина гранул обсыпки,  $d_{50}$  – средняя толщина гранул грунта.

Иглофильтры устанавливаются каждый метр, по предварительно назначенной линии, обращая внимание на то, чтобы все фильтры определённого ряда иглофильтров (подключённые к одному насосу), находились на одном уровне.

Для установки иглофильтров на строительной площадке требуется подготовленная бригада около 4 - 5 человек.

Установка **IgE 81/63** (иглофильтры **63 мм**)

Установленные в грунте иглофильтры соединяются с вытяжным

коллектором при помощи быстроразъемных элементов эластичного соединителя 51 (поз. 19). С одной стороны, соединитель крепится к штуцеру коллектора, с другой к штуцеру, которым заканчивается иглофильтр 63 (стыковка наконечников, надевание крюков, закрытие рычага). Соединения всех быстроразъемных элементов должны уплотняться при помощи уплотнителей.

## 8.2 Действия по ходу установления иглофильтра

Типичный порядок действий при установлении иглофильтра следующий:

- соединить подмывную трубу (поз. 13 и 16 перечня, либо 21 для IgE 81/63) с подмывным насосом либо гидрантом с помощью подмывного шланга (поз. 12 и 15),
- при заложении иглофильтра вручную, следует подмывную трубу поставить вертикально краем на подпору (например, на кусок толстой доски), рядом с назначенным местом заложения иглофильтра,
- при заложении иглофильтра подмывной трубой с помощью трубоукладчика, следует поддержать трубу на канате трубоукладчика, 15-20см над местом заложения иглофильтра,
- включить подмывной насос или открыть гидрант,
- в момент, когда вода вытекает из подмывной трубы, снять трубу с подпоры и опустить на грунт.

**Внимание:** Правильный ход опускания (погружения в грунт) подмывной трубы характеризуется равномерным выходом воды вокруг трубы. Этого можно добиться путём маневрирования подмывной трубой (вертикальные и круговые движения)

- после подмыва подмывной трубы на требуемую глубину, следует прекратить приток воды, и в течение короткого времени держать трубу в таком положении, не допуская до её дальнейшего погружения,
- отключить подмывной шланг от подмывной трубы,

**Внимание:** Если из подмывной трубы, после отключения подмывного шланга, вытекает вода, следует трубу медленно поднимать вверх, вплоть до момента прекращения вытекания воды.

**Дальнейшие действия:**

- а) при установлении иглофильтра подмывной трубой 50 либо 108:
  - ввести иглофильтр в трубу на полную глубину, обращая внимание на

то, чтобы не повредить сетку фильтра, придерживая (легко вжимая в трубу) иглофильтр, следует сделать несколько вертикальных движений трубой (поднимая и опуская на около 1 метр). С того момента, когда поднимаемая труба не вытаскивает иглофильтра из грунта – полностью вытащить посадочную трубу.

- при установлении иглофильтра подмывной трубой 133:

- насыпать в трубу около 1/2 ведра обсыпки,

- ввести иглофильтр в трубу на полную глубину, обращая внимание на то, чтобы не повредить сетку фильтра,

- сделать дальнейшую обсыпку на запланированную глубину,

- придерживая (легко вжимая в трубу) иглофильтр, вытащить посадочную трубу из грунта.

Внимание: 1) При вытаскивании посадочной трубы из грунта следует обратить внимание, чтобы не вытащить иглофильтра из обсыпки.

2) Поддерживание подмывной трубы 133 (108) во время её подмывания и вытаскивания, осуществляется с помощью трубокладчика (канат зацепляется за специальную зацепку на трубе), либо вручную, с помощью петель, изготовленных из конопляного каната или клиновых ремней.



### 8.3 Укладка и монтаж вытяжного коллектора

Вытяжной коллектор иглофильтровой установки следует укладывать с небольшим подъёмом по направлению к насосу, либо горизонтально, в расстоянии около 0,5 м от линии подмывных иглофильтров, непосредственно на ровном грунте (поверхности территории, берме траншеи), либо на деревянных подпорах, подкладываемых в районе соединений участков. Участки вытяжного коллектора следует укладывать окончаниями с внешней фасонной деталью (смычкой рычага) по направлению к агрегату. Все патрубки коллектора, служащие для соединения с иглофильтрами, должны быть направлены вверх.

Монтаж вытяжного коллектора (отдельных участков коллектора, эластичных соединений, колен, заглушек) осуществляется путём составления окончаний, установок крюков и закрытия рычагов.

Изменение направления расположения коллектора осуществляется путём применения эластичного соединения (поз. 3 перечня) либо колен (поз. 6 перечня).

Окончание коллектора закрывается заглушкой (поз. 11 перечня).



### 8.4 Соединение иглофильтров с коллектором

Установленные (заложённые) в грунте иглофильтры соединяется с вытяжным коллектором с помощью резиновых прокладок типа, О” (поз. 8 перечня). Для этого, на окончания иглофильтров следует надеть в/у прокладки, передвигая их на расстояние 4 - 5 см от окончания иглофильтра, после чего иглофильтр вместе с прокладкой вжимается

перпендикулярно в патрубки коллектора.

Иглофильтры с вытяжным коллектором следует соединять таким образом, чтобы высота всех колен иглофильтров над коллектором была наименьшая и одинаковая. В случае мелко заложённых иглофильтров, можно этого добиться путём перемещения коллектора по отношению к подрывным иглофильтрам.

При употреблении меньшего количества иглофильтров чем количество патрубков на коллекторе, свободные патрубки следует заглушить резиновыми пробками (поз. 10 перечня).

#### **8.4.1 Соединение иглофильтровой установки с насосным агрегатом**

Для соединения собранной иглофильтровой установки IgE-81 с насосным агрегатом применяется эластичное соединение (поз. 3 перечня) и патрубок фланцевый (поз. 1 перечня).





## 8.5 Эксплуатация установки

Рекомендуется, чтобы в первоначальный период эксплуатации иглофильтровой установки (с момента пуска насосного агрегата, до момента достижения запланированной депрессии), эксплуатация должна вестись под надзором специалиста. В этот период проверяются запроектированные условия работы иглофильтровой установки (глубину заложения иглофильтров, обсыпку, количество иглофильтров подключённых к одному агрегату, и т.п.) и вводятся возможные дополнения и изменения.

Дальнейшая эксплуатация и контроль над работой иглофильтровой установки может осуществляться под надзором подготовленных сотрудников. Контроль над работой установки облегчают полупрозрачные иглофильтры и контрольно-измерительные приборы, такие как вакуумметры, пьезометры, водомеры.

Осушение должно вестись без перерывов в выкачивании воды. Воду из траншеи следует отводить на расстояние больше, чем радиус воронки депрессии.

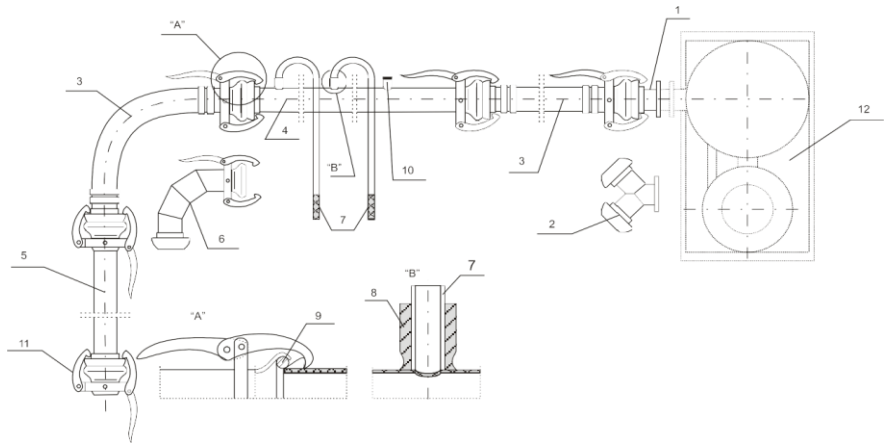
непромокаемой курткой, резиновыми сапогами и перчатками. Кроме того следует:

- защитить откосы траншеи от возможного обвала при подмывании иглофильтров,
- не закладывать иглофильтров под энергетическими проводами,
- проверить герметичность и надёжность соединений, и устранить возможные изгибы проводов, доводящих воду к посадочной трубе,
- обеспечить стабильность вытяжного коллектора иглофильтровой установки на время эксплуатации.

При эксплуатации осушительной установки и подмывании иглофильтров, действуют соответствующие положения Безопасности и гигиены труда, касающиеся обслуживания насосов, электрических двигателей и внутреннего сгорания, и т.п.

Во время монтажа и демонтажа установки, а также при подмывании следует сохранить осторожность во время манипулирования зажимным рычагом соединений.

Схема иглофильтровой установки **IgE 81/32**



- 1 – патрубок фланцевый; 2 – распределитель фланцевый; 3 – эластичное соединение;  
 4 – вытяжной коллектор; 5 – труба; 6 – колено 90°; 7 – эластичный иглофильтр;  
 8 – прокладка иглофильтра; 9 – прокладка 133; 10 – пробка резиновая;  
 11 – наружная внешняя заглушка; 12 – насос.

## Лабораторная работа № 9

### АВТОМАТИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ДАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОМПРЕССОРА (ГИДРОАККУМУЛЯТОРА)

*Продолжительность работы* — 2 ч

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

2 Экспериментальные исследования САР.

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

#### 9.1 Теоретические сведения

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

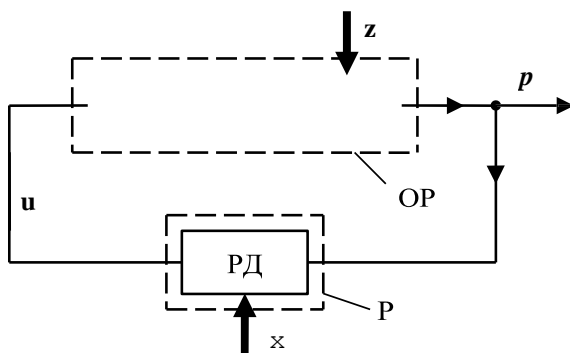
САР с регулированием по давлению находят применение, в основном, в городах. В этом случае резервуары с водой не возвышаются над зданиями, как это имеет место в САР с регулированием по уровню, а, как

правило, их располагают ниже уровня поверхности земли. Для создания избыточного давления используются компрессоры, с помощью которых нагнетается воздух в резервуары с водой.

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

## 9.2. Экспериментальная установка

Функциональная схема исследуемой в работе системы представлена на рисунке 7.1.



**Рис. 6.1. Функциональная схема САР с регулированием по давлению**

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

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

Возмущающим воздействием  $z$  является расход воды потребителями.

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

Пневматический бак представляет собой резервуар, разделенный водонепроницаемой упругой диафрагмой, по одну сторону которой находится вода, а по другую – воздух под давлением. Предусмотрена возможность изменения давления воздуха, для чего в корпус пневмобака

установлен ниппель с золотником, имеющий такие же присоединительные размеры, как и ниппель с золотником автомобильного колеса (место установки ниппеля с золотником закрыто резиновой заглушкой).

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

### 6.3. Проведение испытаний

#### 6.3.1. Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

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

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

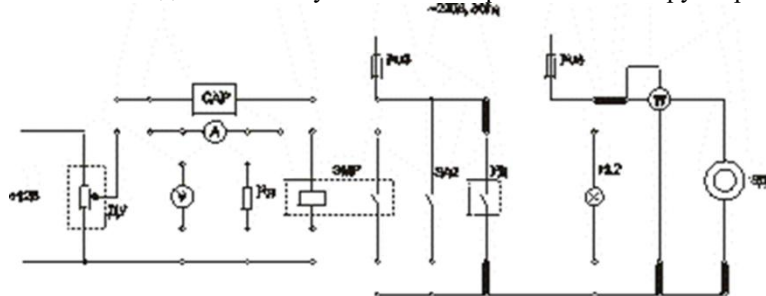


Рис. 6.2 – Схема электрических соединений

#### 6.4.2 Методика испытаний

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

1. Закрыть вентиль В2 и включить электрическое питание стенда.

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

Опыты по п.1 необходимо повторить трижды.

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

Таблица 7.1. Результаты исследований по определению параметров регулирования

j – номер опыта	Пороговые значения давлений, кгс/см <sup>2</sup>		Показания расходомера, м <sup>3</sup>		V <sub>пв.i</sub> – объем пневматического бака, заполняемый водой, м <sup>3</sup>	V <sub>пб.ср</sub> – среднее значение	Средние пороговые значения давлений, кгс/см <sup>2</sup>	
	$p_{верх.i}$	$p_{ниж.i}$	$V_{нач.i}$	$V_{кон.i}$			$p_{верх.ср}$	$p_{ниж.ср}$
1								

2								
3								

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

Результаты испытаний занести в таблицу 7.2

Таблица 7.2 – Результаты исследований САР

Номер опыта	$k$	порядковый	$t_{р.к}$ – время работы	$W_{эл.к}$ потребление	Показания расходомера	$t_{он}$ продолжит	$Q_{сп}$ средний	$A$ потребление

				$V_{нач}$ – начальное, м <sup>3</sup>	$V_{кон}$ – конечное, м <sup>3</sup>			
1	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
2	1							
	2							
	3							
	4							
	5							

### 6.5 Обработка результатов

Объем пневматического бака, заполняемый водой

Объем пневматического бака, заполняемый водой

$$V_{пб.i} = V_{кон.i} - V_{нач.i}$$

Среднее значение объема бака, заполняемого водой

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

Средние пороговые значения давлений:

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

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

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

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

Потребляемая в течении опыта энергия

$$A = \sum_{i=1}^3 W_{эл.k} t_{p.k}$$

При вычислении А необходимо значение  $W_{эл.k}$  подставлять в кВт, а

$t_{p.k}$  – в часах.

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

### **6.6 Контрольные вопросы**

1 Какие устройства входят в состав объекта регулирования и регулятора?

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

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

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

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

### **Лабораторная работа №10.**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО МАНОМЕТРА В СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ**

### **Цели работы:**

1. Изучить устройство и принцип работы электроконтактного манометра (далее по тексту ЭКМ).

2. Научиться применять ЭКМ в схемах управления электрическим оборудованием (в том числе в системах позиционного регулирования).

### **Описание работы**

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

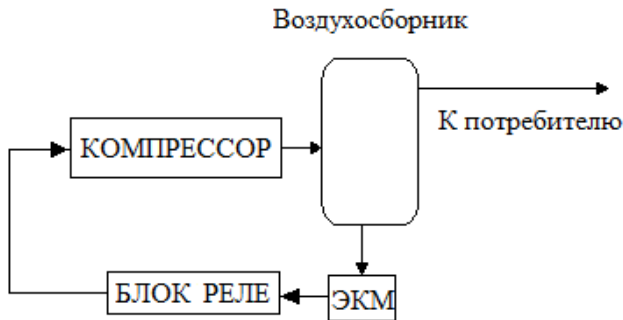
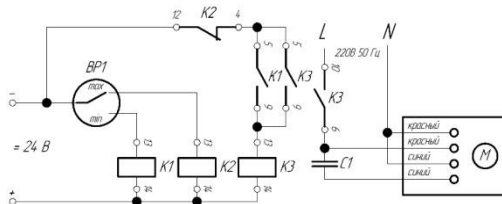


Рисунок 10.1 – Структурная схема автоматизации компрессора

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

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

Принципиальная электрическая схема управления компрессором представлена на рисунке 5.2.



Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
С1	Конденсатор МПГО	1	4 мкФ
К1-К3	Реле электромагнитное	3	24 В
М	Двигатель КД-30-У4	1	50 Вт 220 В
BP1	ЭКМ	1	

Рисунок 10.2 – Принципиальная электрическая схема управления электродвигателем компрессора

## Теоретические основы

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

Различают следующие виды давлений (см. рисунок 5.3):

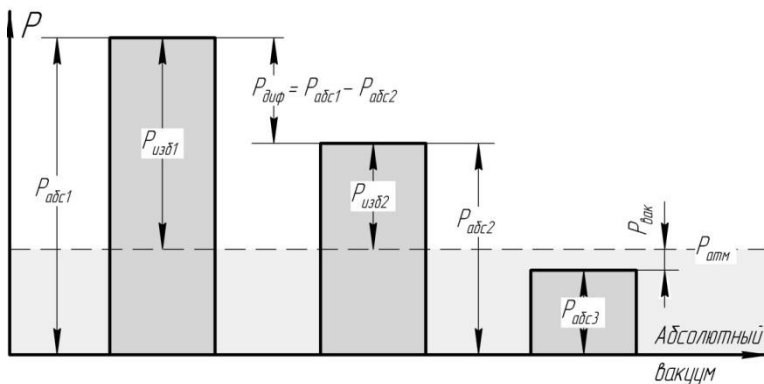


Рисунок 5.3 – Виды давлений

*Атмосферное (барометрическое) давление  $P_{атм}$*  является следствием веса воздуха. Оно зависит от высоты и на уровне моря составляет:  $1013 \text{ мбар} = 1,01325 \text{ бар} = 760 \text{ мм ртутного столба} = 101325 \text{ Па}$ .

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

*Дифференциальное давление* – разность двух абсолютных давлений.

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

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

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

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

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

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

Официально признанной единицей измерения давления является Паскаль, Па (Pa).

1 Па = 1 Н/м<sup>2</sup> (давление силы в 1 Ньютон на площадь в 1 квадратный метр). Производные от этой единицы 1 кПа = 1000 Па и 1 МПа = 1 000 000 Па.

В различных отраслях техники используются следующие единицы: миллиметры ртутного (мм.рт.ст.) и водного (мм.вд.ст. или кгс/м<sup>2</sup>) столба, физическая атмосфера (атм), техническая атмосфера (ат или кгс/см<sup>2</sup>), бар.

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

Таблица 10.1 – Соотношение между единицами измерения давления

	МПа	бар	мм.рт.ст. т.	мм.вд.ст.	атм.	кгс/см <sup>2</sup>
1 МПа	1	10	7500,7	1,02·10 <sup>5</sup>	9,8692	10,2
1 бар	0,1	1	750,07	1,02·10 <sup>4</sup>	0,98692	1,02
1 мм.рт.ст. т.	133,32 Па	1,333·1 0 <sup>-3</sup>	1	1,36·10 <sup>1</sup>	1,316·1 0 <sup>-3</sup>	1,36·1 0 <sup>-3</sup>
1 атм.	0,1013 3	1,0133	760	1,0332·10 <sup>4</sup>	1	1,0333
1 кгс/см <sup>2</sup>	0,098	0,98	735,6	10 <sup>4</sup>	0,96784	1

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

Трубчатые пружины Бурдона представляют собой кругообразно согнутые трубки с овальным поперечным сечением. Давление измеряемой среды воздействует на внутреннюю сторону этой трубки, в результате чего овальное поперечное сечение принимает почти круглую

форму. В результате искривления пружинной трубки возникают напряжения в кольцах трубки, которые разгибают пружину. Не зажатый конец пружины выполняет движение, пропорциональное величине давления. Движение передается посредством стрелочного механизма на шкалу.

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

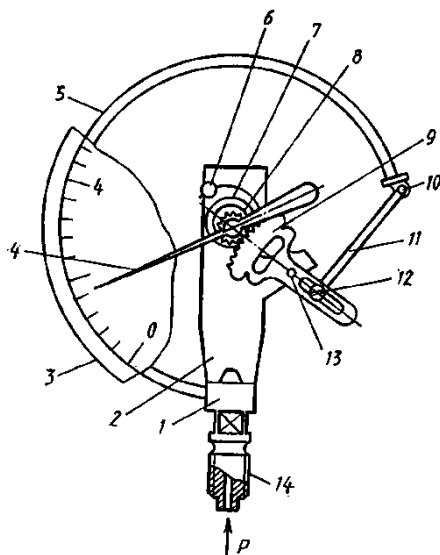
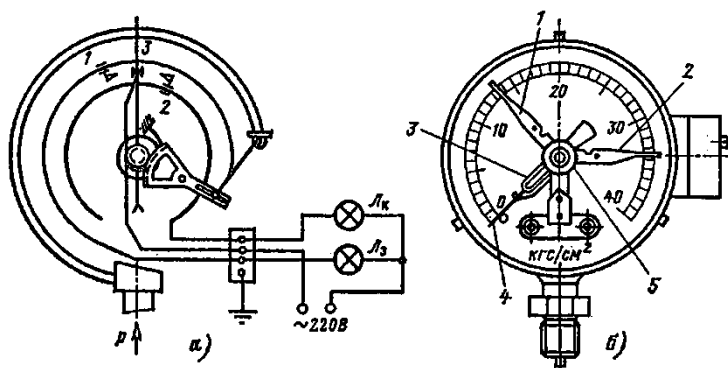


Рисунок 10.4 – Устройство манометра с одновитковой трубчатой пружиной

Манометр состоит из трубчатой пружины 5, один конец которой впаян в отверстие держателя 1, а другой (подвижный) конец наглухо запаян и несет на себе наконечник 10. Полость пружины связана с измеряемой средой через канал в держателе 1, снабженным радиальным штуцером 14. Держатель прибора оснащен платой 2, на которой монтируется трибкосекторный механизм. Последний включает зубчатое колесо (трубку) 8 и зубчатый сектор 9. Для исключения люфта в передаточном механизме используется спиральная пружина 7, один конец которой с помощью штифта крепится на оси трубки, а другой – к колонке 6, укрепленной на плате 2. К хвостовику сектора 9 с помощью винта 12 крепится тяга 11. Посредством тяги перемещение свободного конца

пружины передается зубчатому сектору, который имеет ось вращения 13. Вращение зубчатого сектора передается трубке, на оси которой насажена стрелка 4 для отсчета показаний на шкале 3. Регулировка хода стрелки производится винтом 12.

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



**Рисунок 5.5 – Показывающий электроконтактный манометр:  
а – схема манометра; б – внешний вид манометра**

ЭКМ отличается от обычного манометра лишь наличием специальных электроконтактов 1, 2, 3. Установка электроконтактов 1 и 2 может быть произведена на любые отметки рабочей части шкалы манометра вращением винта в головке 5, находящейся на наружной стороне стекла.

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

### **Ход работы**

1. Ознакомиться с теоретической частью данной работы.

2. Изучить структурную (рисунок 5.1) и принципиальную электрическую (рисунок 5.2) схемы автоматизации компрессорной установки.

3. С помощью мультиметра определить выводы контактов ЭКМ.

4. Установить нижний и верхний пределы срабатывания ЭКМ на отметках шкалы соответствующих 0,2 и 0,8 кгс/см<sup>2</sup>.

5. Осуществить сборку схемы управления компрессорной установки согласно принципиальной электрической схеме.

6. После проверки собранной схемы преподавателем произвести ее запуск, и убедиться в ее исправности. Результаты наблюдений за работой занести в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Анализ работы схемы

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

7. Сделать выводы, ответить на контрольные вопросы.

### Содержание отчета

1. Название и цели работы.

2. Структурная схема автоматизации компрессора с кратким описанием (пояснением) ее работы.

3. Принципиальная электрическая схема управления электродвигателем компрессора.

4. Эскиз конструкции манометра с одновитковой трубчатой пружиной с обозначением всех элементов, входящих в его устройство.

5. Схема ЭКМ.

6. Таблица с записями результатов наблюдения за работой системы управления компрессором в зависимости от состояния контактов ЭКМ.

7. Выводы по работе.

## **Контрольные вопросы**

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

### **Лабораторная работа № 11**

## **ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИП РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЕЛЕИНСПЕКЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ WPS-716 GJN-C58PT**

### **Назначение и область применения**

Система телеинспекции трубопроводов с кабелем 120 м, диаметром 9,5 мм в барабане, цветной камерой, клавиатурой и блоком управления, аккумулятором, кейсом позволяет в режиме реального времени обследовать внутреннюю поверхность трубопроводов различных назначений, оценить повреждения, локализовать место засора.

Телеинспекция – это обследование трубопроводов с помощью видеоборудования. Проталкиваемая в трубопроводе камера фиксирует все, что видит ее зоркий многомегапиксельный глаз. Картинка сразу же транслируется на экран – так в режиме реального времени в высоком разрешении видны все трещины, пробоины, наслоения на стенках, состояние дна трубопроводов, других закрытых полостей. Система телеинспекции – это лучший способ узнать, где проблемное место в трубопроводе.

Использование современных технологий наблюдается во всей деятельности человечества. Они позволяют значительно уменьшить трудозатраты и ускорить практически любой рабочий процесс. При проведении работ с трубами используется методика телеинспекции. Далее рассмотрим, что она собой представляет, каких видов бывает и каким образом проводится.

Она состоит из комплекса оборудования, главным из которых является видеорегистратор. С его помощью проходит телеинспекция трубопроводов без их вскрытия. Прибор опускается во внутреннюю полость канализационной трубы (рис. 22.1).



Рис. 11.1. Система телеинспекции трубопроводов WPS-716 GJN-C58PT

Технические характеристики (табл. 22.1):





- диаметр исследуемых труб – до 600 мм;
- длина исследуемых труб – 120 м;
- камера поворотная – диаметр 50 мм;
- передатчик – 512 Гц;
- длина прутка – 120 м;
- диаметр прутка – 9,5 мм;
- счетчик метража – есть;
- габариты /масса – 770×371×820 мм/40 кг.

Таблица 11.1. Технические характеристики системы телеинспекции трубопроводов WPS-716 GJN-C58PT

Номер п. п.	Наименование узла, агрегата	Изображение	Технические характеристики
1	2	3	4
1	Камера поворотная		Матрица – 1/3 дюйма CCD; угол обзора – 120°, автоуровень; вращение по горизонтали – 360°, по вертикали – 180°; формат записи – AVI, JPEG, MP4; разрешение – более 1,0 мегапикселя; защита – сапфировое стекло; освещение – 12 LED светодиодов с регулировкой

			освещения; степень защиты – IP 68; габариты – диаметр 50 мм, длина 160 мм
--	--	--	---

Продолжение табл. 11.1

1	2	3	4
2	Направляющие		Поддержка камеры в центре исследуемого объекта – ø110 мм, ø150 мм, ø220 мм
3	Центратор		Колесный универсальный для исследования труб диаметром от 110 до 500 мм
4	Пульт управления		Размер: 32×83×116 мм; рабочий ток – 20 мА; блок питания камеры – 12 В
5	Блок управления		Мониторинг и запись видео, и написание текста; носитель: SD-карта 8 ГБ и устройство для чтения карт памяти или USB-накопитель (до 256 ГБ); клавиатура – QWERTY / USB (пылевлагозащитная)
6	Передатчик		Частота – 512 Гц; радиус действия – 4 м
7	Монитор		Диагональ – 9 дюймов TFT; разрешение – 800×480 пикселей; запись, воспроизведение – аудио / видео / скриншот / текст; карта памяти – SD 8–32 Гб; язык меню – английский, русский; формат изображения – 4:3
8	Кейс		Кейс – ударопрочный, герметичный; габариты/масса/материал – 511×430×200 мм, 5 кг/ABS пластик

1	2	3	4
9	Блок питания		Напряжение – 8,1 В; мощность – 14 Вт; емкость – 4400 мА/ч; время до полной зарядки – не более 5 ч; время автономной работы – не менее 4 ч
10	Барабан		Барабан – нержавеющая сталь; пруток – прочное, износостойкое стекловолокно; длина прутка – 120 м; диаметр прутка – 9,5 мм; счетчик метража – есть; габариты/масса – 770×371×810 мм/30 кг

Проведение видеодиагностики систем водоснабжения и водоотведения направлено на быстрое выявление слабых мест в трубах. Изучение состояния внутренних полостей труб, без их разбора, с помощью видеорегистратора позволяет выявить образовавшиеся дефекты. В дальнейшем совершается их устранение методиками с наружной стороны, либо применяя устройства для работы изнутри.

Проведение телеинспекции систем водоснабжения и водоотведения может потребоваться в следующих случаях:

1) при возникновении нужды в подключении к действующим системам. В этом случае использование системы теледиагностики понадобится для оценки состояния места планируемого подключения новой ветки;

2) для локализации места повреждения и дальнейшего его ремонта в конкретном узле. Это приводит к снижению затрат на полную раскопку или выемку из общего стояка. Такие работы проводятся для раннего выявления износа стенок, который проявляется при плановом старении оборудования или в аварийных режимах. При образовании больших пробоев в водопроводных и канализационных трубах могут возникнуть проблемы с просадкой грунта или заливанием стен по стояку в зависимости от способа прокладки. Эти факторы несут существенный вред экологическому состоянию окружающей среды. Поэтому использование указанной аппаратуры является актуальным;

3) для диагностирования состояния систем водоснабжения и водоотведения. Процедура является нужной при работах устройств с использованием системы телеизмерений. Она направлена на выявление вероятных дефектов на ранней стадии формирования. Это позволяет

значительно снизить расходы на проведение плановых работ. Не потребуется демонтировать изношенные участки. Для устранения выявленных дефектов используются роботы, которые укрепляют ослабшие участки;

4) при образовании заторов в системах водоснабжения и водоотведения частных и общественных зданий. С оборудованием можно быстро определить место образования затора. Это позволит принять соответствующие меры по восстановлению нормального прохода внутри труб. С видеосъемкой при плановых проверках можно определить места вероятного образования наростов, которые могут привести к затору;

5) для анализа состояния вновь смонтированных труб, подлежащих к сдаче в эксплуатацию. Процедура является обязательной к исполнению. В процессе приемки трубопроводов водоснабжения и водоотведения применение системы телеинспекции позволяет определить качество проведенных монтажных работ. При необходимости устраняются выявленные дефекты. Как правило, все расходы ложатся на подрядную организацию, проводившую монтажные работы.

Методика направлена на проверку отсутствия таких недостатков:

- наличие скоплений разнообразного вида мусора;
- нахождение в трубопроводе посторонних предметов;
- наблюдение ненадежных соединительных швов в местах стыковки;
- присутствие на внутренней полости труб механических повреждений.

**Применяемое оборудование.** Видеодиагностика труб водоснабжения и водоотведения может проводиться системами, которые отличаются по модификации и виду исполнения. Базовая их часть имеет идентичные элементы. Она состоит из оборудования:

- блоков управления системой (рис. 22.2, 22.3, табл. 22.2, 22.3);
- камеры наблюдения, которая помещается в трубопровод;
- камеры и монитора для проведения визуального контроля;
- жесткого шнура для проталкивания камеры;
- светодиодов, предназначенных для улучшения освещенности при проведении видеосъемки;
- датчиков для определения расстояния;
- монитора для вывода изображения с камеры наблюдения.



Рис. 11.2. Мобильный блок управления

Таблица 11.2. Условное обозначение мобильного блока управления

1	Штекер соединительного кабеля	7	Поворот камеры вверх
2	Поворот камеры вправо	8	Поворот камеры влево
3	Поворот камеры вниз	9	Индикатор Включения/Выключения
4	Скорость	10	Авто/меню
5	Ближний фокус	11	Дальний фокус
6	Яркость	12	Яркость +



Рис. 11.3. Стационарный блок управления

Т а б л и ц а 11.3. Условное обозначение стационарного блока управления

1	Предохранитель	13	Остановка воспроизведения
2	Вход для подключения зарядного устройства	14	Возврат воспроизведения
3	Выход постоянного тока, 12 В	15	Тумблер включения/выключения
4	Выбор позиции	16	Контроллер яркости светодиодов (САМ1)
5	Индикатор уровня заряда батареи	17	Видео выход
6	Уменьшение кадра	18	BNC видео вход
7	Вверх меню	19	RNC видео вход
8	Вниз меню	20	Наушники
9	Увеличение кадра	21	Микрофон
10	Слот для SD-карты	22	Разъем для подключения камеры
11	Запись/остановка записи	23	USB-порт
12	Меню	24	Клавиатура

### **Порядок подготовки и работа с системой телеинспекции**

Производство работ начинается с подготовки оборудования (рис. 22.4). Оборудование подготавливается в следующей последовательности.

1. Откройте чемодан и расстелите навес.
2. Подсоедините один конец кабеля к шкиву.
3. Подключите другой конец к блоку управления.
4. Соберите предохранитель.
5. Подключите один конец кабеля к ручке управления.
6. Подключите другой конец к тросу.
7. Откройте серию C50.
8. Поверните ручку переключателя в положение «ON/BATT».

### **Сборка и установка видеокамеры**

Видеокамера подключается в следующей последовательности (рис. 22.5).

1. Состыкуйте передатчик с разъемом видеокамеры.
2. Затяните передатчик и разъем.
3. Другой конец камеры состыкуйте с разъемом.
4. Затяните камеру и передатчик.
5. Передатчик привинтите к одному концу катушки и разъему.
6. Затяните передатчик и разъем.

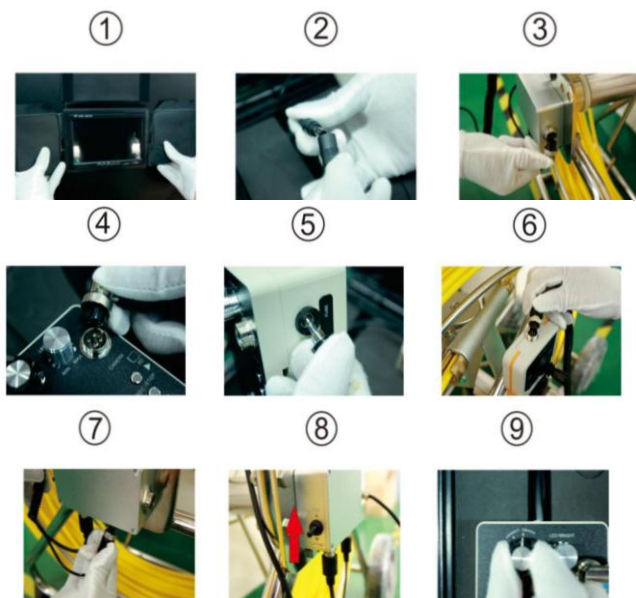


Рис. 11.4. Последовательность подготовки оборудования



Рис. 11.5. Последовательность подключения видеокамеры

### Установка направляющих на видеокамеру

Установка направляющих на видеокамеру выполняется в следующей последовательности (рис. 22.6).

1. Перед началом работы вставьте 4 винта РМЗ×10 и затяните их перед установкой камеры.

2. Закрепите колесо на V-образном кронштейне, затянув 2 винта РМЗ×14.

3. Вверните два винта РМЗ×16, чтобы закрепить V-образный кронштейн, но не затягивайте их перед установкой камеры. Затяните все винты после установки камеры.



Рис. 11.6. Последовательность сборки и установки направляющих

### Установка телескопической направляющей

Установка телескопической направляющей выполняется в следующей последовательности (рис. 22.7).

1. Установите аккумулятор на светодиодный источник света.

2. Вставьте светодиодный источник света в направляющую.

3. Вставьте световой барьер и защитное стекло и затяните их.

4. Вставьте слайдер в камеру.

5. Зафиксируйте ее.

6. Затяните три равномерно распределенных винта.



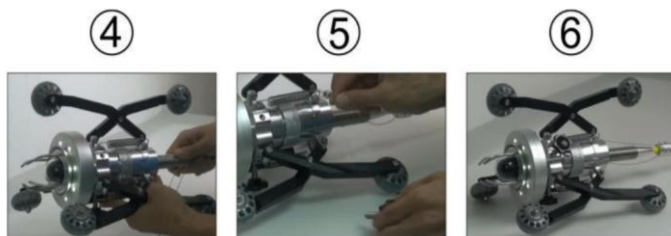


Рис. 11.7. Порядок установки телескопической направляющей

### **Счетчик расстояния обследуемого трубопровода**

Настройка и регулировка счетчика расстояния обследуемого трубопровода выполняется в следующей последовательности.

1. Нажмите кнопку «METRIC/IMPERIAL» вместо метрических и британских единиц.

2. Нажмите кнопку «Сброс», чтобы сбросить значение длины кабеля.

3. Нажмите и удерживайте кнопку «METRIC/IMPERIAL» в течение 3 с, подсчет отображения скрыть. Нажмите и удерживайте кнопку еще раз в течение 3 с.

Камера наблюдения выполнена таким образом, чтобы фокусировать съемку по центру. Это позволяет оператору просматривать стенки трубопровода в полном объеме. Также камера выполняется с повышенной защитой от воздействия влаги и грязевых частиц.

Для передачи изображения в системах видеодиагностики используются оптоволоконные кабели со значительной длиной, которые позволяют обследовать труднодоступные места. Специальные барабаны помогают осуществлять сматывание или разматывание кабеля. Практически любой монитор можно подключить к такому виду оборудования: от самого простого до моделей с высокой четкостью, которые имеют большое количество функций. Режим реального времени используют самые простые мониторы при трансляции картинки. Функцию записи имеют более сложные модели.

С жестким шнуром можно менять направление съемки камеры. Это позволяет детально рассмотреть требуемый участок канализации. Устройство с датчиками помогает определить расстояние, пройденное прибором. Это позволяет с точностью обнаружить место засора или повреждения. При использовании устройства без соединительного кабеля управление производится с помощью дистанционного пульта управления.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое телеинспекция систем водоснабжения и водоотведения?
2. В каких случаях требуется обследование трубопроводов с помощью системы телеинспекции?
3. Назовите оборудование, применяемое при обследовании систем водоснабжения и водоотведения.
4. Опишите основные составные части и узлы системы телеинспекции трубопроводов WPS-716 GJN-C58PT.
5. Назовите основные преимущества использования системы телеинспекции.

2. Изучение датчика уровня потенциометрического и системы измерения уровня.
3. Изучение датчика уровня герконового типа и системы контроля уровня.
4. Изучение современных датчиков и реле давления.
5. Изучение потенциометрического датчика давления и автоматической системы измерения давления.
6. Изучение датчиков расхода воды и автоматической системы измерения расхода.
7. Изучение датчиков влажности почвы и систем измерения влажности.
8. Изучение автоматической системы регулирования уровня воды с трехстержневым датчиком.
9. Изучение автоматической системы регулирования уровня воды с герконовым датчиком.
10. Изучение автоматической системы регулирования давления с электроконтактным манометром.
11. Изучение автоматической системы контроля и регулирования влажности почвы.