

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

А. А. Острейко

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*Лабораторный практикум
для студентов, обучающихся по специальности
общего высшего образования 6-05-0812-01 Техническое
обеспечение производства сельскохозяйственной продукции*

Горки
Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия
2026

УДК 631.171(076.5)

ББК 40.7я73

О-76

*Рекомендовано методической комиссией
факультета механизации сельского хозяйства
23.12.2024 (протокол № 4)
и Научно-методическим советом
Белорусской государственной сельскохозяйственной академии
26.12.2024 (протокол № 5)*

Автор:

старший преподаватель *А. А. Острейко*

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент *А. И. Филиппов*;

кандидат технических наук, доцент *И. В. Дубень*

Острейко, А. А.

О-76

Автоматизация технологических процессов : лабораторный практикум / А. А. Острейко. – Горки : Белорус. гос. с.-х. акад., 2026. – 163 с.

ISBN 978-985-882-837-0.

Изложен порядок подготовки и проведения лабораторных работ. Описана методика выполнения лабораторных работ, приведен теоретический материал для подготовки к ним, рассмотрены назначение, устройство и принцип действия отдельных элементов автоматики и систем автоматики.

Для студентов, обучающихся по специальности общего высшего образования 6-05-0812-01 Техническое обеспечение производства сельскохозяйственной продукции.

УДК 631.171(076.5)

ББК 40.7я73

ISBN 978-985-882-837-0

© Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия, 2026

ВВЕДЕНИЕ

Практикум по дисциплине «Автоматизация технологических процессов» составлен в соответствии с учебной программой учреждения высшего образования для специальности 6-05-0812-01 Техническое обеспечение производства сельскохозяйственной продукции.

Практикум состоит из 12 лабораторных работ. В каждой лабораторной работе практикума указана цель проведения работы, описан порядок ее выполнения и материальное обеспечение, рассмотрены теоретические вопросы по теме занятия, приведены контрольные вопросы и необходимая методическая литература.

В экспериментальной части лабораторной работы имеются необходимые электрические схемы, таблицы для записи результатов исследований и необходимые расчетные формулы.

В лабораторном практикуме дана подробная информация об оборудовании, применительно к которому составлены описания. Порядок выполнения каждой лабораторной работы сопровождается краткими теоретическими сведениями, необходимыми для понимания цели работы, способов ее достижения и смысла полученных результатов.

Выполнение лабораторных работ поможет студентам более глубоко и всесторонне усвоить программный материал, будет способствовать повышению уровня самостоятельного и систематического изучения предмета, повышению качества знаний по изучаемой дисциплине.

Приступая к выполнению лабораторных работ, каждый студент обязан изучить правила техники безопасности и расписаться в журнале инструктажа.

Предварительная подготовка к самостоятельному выполнению каждой лабораторной работы состоит в изучении методических указаний по данной лабораторной работе и соответствующего теоретического материала по конспекту и учебным пособиям.

К выполнению лабораторных работ каждый студент должен тщательно подготовиться: внимательно ознакомиться с содержанием, методикой проведения опытов, оборудованием рабочего места и измери-

тельной аппаратурой, прочитать соответствующие разделы литературных источников.

Далее в соответствии с рабочим заданием студенты, если это необходимо, собирают электрические схемы. При этом необходимо обращать внимание на положение рукояток аппаратов управления (должны находиться в отключенном состоянии), целостность соединительных проводов, плотность контактов, соответствие приборов роду тока и пределам изменения измеряемых величин.

После этого преподаватель проверяет правильность сборки электрической схемы студентами, выполняющими данную работу.

Включать собранную схему можно только после проверки ее преподавателем. Это правило необходимо соблюдать также в том случае, если в схеме произведены какие-либо изменения.

При включении установки необходимо проверить направление вращения валов электрических и рабочих машин, правильность показаний измерительных приборов, четкость работы пускорегулирующей аппаратуры, приборов автоматического управления и т. д. Только убедившись в готовности установки к работе, можно приступать к проведению предусмотренных программой опытов.

Во время выполнения лабораторных работ студенты должны строго выполнять правила техники безопасности и соблюдать учебную дисциплину.

Лица, нарушающие правила безопасности, отстраняются от выполнения работы, самостоятельно изучают правила электробезопасности и выполняют реферат по технике безопасности.

Во время исследований следует внимательно наблюдать за показаниями приборов и режимом работы всего оборудования. Отсчеты по приборам ведут в одном, заранее установленном порядке, записывая в первую очередь те параметры, которые при работе изменяются наиболее быстро. Проводить испытания нужно быстро. Следует помнить, что небрежность в отсчете показаний приборов и записях приводит к неправильным выводам о характеристиках испытываемого оборудования и машин. При наличии грубых ошибок в результатах измерений опыт необходимо повторить.

Проводя исследование, нужно сравнить полученные величины и зависимости с общими закономерностями, известными по литературным источникам.

Если есть аналогия, то опыт прошел успешно; если нет – опыт следует повторить и попытаться самостоятельно разобраться в причинах ошибок, при необходимости – обратиться к преподавателю. Следовательно, после выполнения опыта необходимо приблизительно оценить его результаты и только при удовлетворительности их переходить к следующему опыту.

По окончании всех опытов лабораторной работы необходимо показать преподавателю полученные результаты и с его разрешения разобрать электрическую схему. Приборы и оборудование следует оставить на рабочем месте в том положении, в котором они находились перед началом занятий, затем привести в порядок свое рабочее место.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Работая в лаборатории, нужно быть внимательным и выполнять следующие правила безопасности:

1. Нельзя применять провода с поврежденной изоляцией, а также приборы с неисправными клеммами.

2. Крепление проводов к контактам аппаратов и щитков должно быть достаточно плотным, наконечники проводов при сборке цепи должны надежно зажиматься клеммами.

3. Провода в схеме нужно располагать таким образом, чтобы они как можно меньше перекрещивались и запутывались и легко можно было установить, к какому аппарату присоединен каждый провод. Необходимо, чтобы провода не попадали на подвижные части машин и аппаратов.

4. После сборки схемы с рабочего места нужно убрать все лишние провода, аппараты и приборы.

5. Включение цепи или установки можно производить только после проверки ее преподавателем и с его разрешения.

6. Студент, включающий схему под напряжение, должен предупредить об этом членов своего звена и проверить, не прикасается ли кто-нибудь к токоведущим или вращающимся частям машин.

7. Нельзя прикасаться к клеммам приборов и наконечникам проводов, находящимся под напряжением, а также к клеммам отключенных, но не разряженных конденсаторов. По окончании опытов и выключении схемы конденсаторы следует разрядить длительным (3...5 с) закорачиванием на нейтраль.

8. Перед включением вращающихся электрических и рабочих машин необходимо убедиться в том, что они защищены от прикосновений. Нельзя прикасаться рукой или ногой к вращающимся частям электрических и рабочих машин или производить их торможение.

9. При высокой температуре нагрева деталей, колб ламп накаливания, открытых нагревательных элементов и поверхностей резисторов запрещается прикасаться к ним даже после отключения нагрева, так как это может привести к ожогам, а разрушение стеклянной колбы – к поражению осколками стекла.

10. Во время проведения испытаний нужно быть внимательным и осторожным, не отвлекаться на посторонние дела и разговоры.

11. Всекие переключения в схемах можно производить только после отключения от сети, а при работе с электрической установкой, имеющей вращающиеся части, – только после полной их остановки. Категорически запрещается исправлять схему при включенном напряжении и вращающихся машинах.

12. При обнаружении каких-либо признаков ненормальной работы оборудования (посторонний шум в машинах, дым, запах гари, искрение в местах соединения проводов, обрыв проводов и т. п.) следует немедленно отключить схему и сообщить о случившемся преподавателю.

13. Повторное включение схем и установок под напряжение после внесенных изменений можно выполнять только с разрешения преподавателя и после предупреждения об этом студентов, работающих на данном рабочем месте.

14. Запрещается выполнять лабораторную работу одному. Обязательно присутствие второго лица – для оказания помощи при несчастном случае, пожаре и т. д.

15. Запрещается загромождать рабочее место посторонними предметами (особенно металлическими), а также шапками, пальто, портфелями и сумками.

Запрещается в аудитории находиться в пальто и головном уборе, а также вешать их на лабораторное оборудование.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ НТЦ-46

Лабораторный стенд «Автоматизация в водоснабжении и водоотведении» предназначен для использования в качестве учебного оборудования для проведения лабораторных занятий в виде экспериментальных исследований двух основных видов систем автоматического регулирования (САР): с регулированием по уровню, с регулированием по давлению. На стенде также можно определять характеристики потенциометрического измерительного преобразователя уровня жидкости, электромагнитного реле, рабочие характеристики центробежного насоса, различными способами определять расход жидкости. С его помощью можно изучить устройство реле давления, приборов для измерения давления, температуры; проводить определение порогов срабатывания реле давления, измерения температуры и давления.

Электропитание стенда осуществляется от однофазной сети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Мощность, потребляемая от сети, составляет не более 1,1 кВт.

Общий вид стенда представлен на рис. 1.

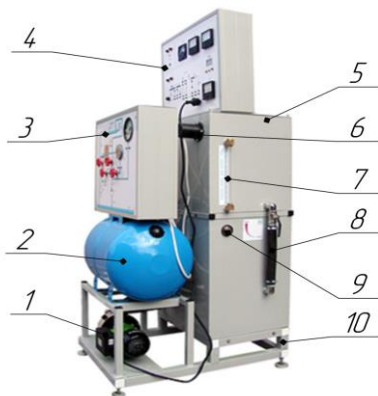


Рис. 1. Общий вид стенда:

1 – насосная установка (однофазный приводной электродвигатель и центробежный насос (Н); 2 – пневматический бак (Б); 3 – модуль гидравлического управления (МГУ); 4 – модуль электрического управления (МЭУ); 5 – гидробак верхний (Б2); 6 – потенциометрический измерительный преобразователь уровня (ДУ); 7 – указатель уровня воды в верхнем гидробаке (УУ); 8 – гидробак нижний (Б1); 9 – указатель уровня воды в нижнем гидробаке; 10 – рама стенда

Гидравлическая схема стенда показана на передней панели модуля гидравлического управления и приведена на рис. 2.

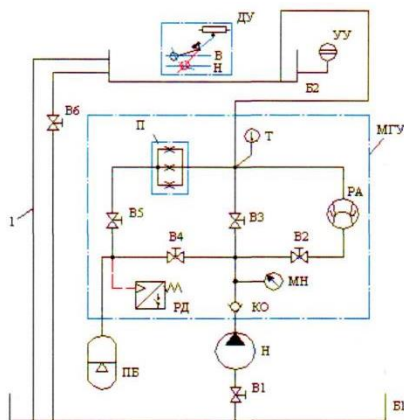


Рис. 2. Гидравлическая схема стенда

В корпусе модуля гидравлического управления установлены все устройства, которые на гидравлической схеме изображены внутри прямоугольника, выделенного штрихованной линией: КО – клапан обратный, РД – реле давления, В2–В5 – вентили, П – имитатор потребителей воды, Т – измерительный преобразователь температуры, РА – расходомер типа СВ-15П, МН – манометр типа МП-100 на давление 1,0 МПа. Обратный клапан установлен в напорную линию насоса с целью предотвращения утечек воды из пневматического бака ПБ через гидронасос Н в нижний гидробак Б1. Вентиль В1 установлен во всасывающем трубопроводе, соединяющим нижний гидробак с насосом. Этот вентиль в процессе эксплуатации стенда всегда открыт. Закрывают вентиль В1 при демонтаже насоса и проведении ремонтных работ. Вентиль В6 установлен в трубопроводе, соединяющем верхний и нижний гидробаки. Открытие и закрытие других вентилей будет дано при подготовке установки к работе при выполнении конкретной лабораторной работы. В дно верхнего гидробака Б2 вварена труба перелива (гидролиния 1 на рис. 2) с большим внутренним диаметром. Перелив предусмотрен на высоте 0,26 м от дна верхнего гидробака, т. е. максимальный уровень воды в верхнем гидробаке составляет примерно 0,26 м. Вода из верхнего гидробака Б2 через трубу перелива перетекает

в нижний гидробак Б1. Благодаря этому при любых ситуациях, возникающих при работе стенда, в нижнем гидробаке всегда есть вода, что предотвращает выход из строя гидронасоса. При этом работа насоса всухую невозможна. Гидронасос имеет следующие технические параметры: тип – «Джамбо 70/50-Н», максимальная производительность – 70 л/мин, максимальный напор – 50 м, потребляемая мощность – 1,1 кВт.

Электрическая схема стенда показана на передней панели модуля гидравлического управления и приведена на рис. 3.

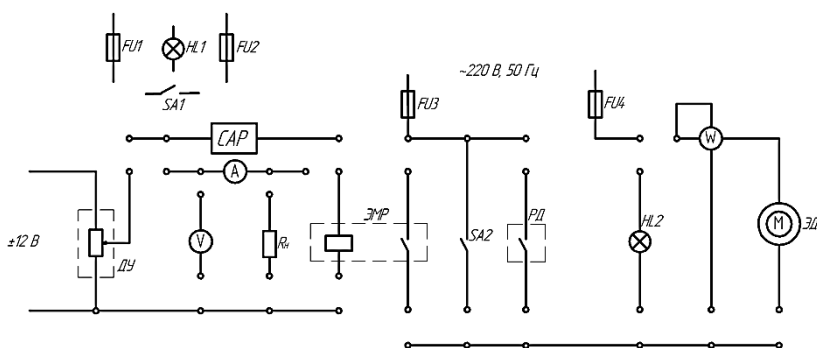


Рис. 3. Электрическая схема стенда:

ДУ – потенциометрический измерительный преобразователь (датчик) уровня (установлен в верхнем гидробаке); ЭМР – электромагнитное реле; РД – реле давления (установлено в корпусе модуля гидравлического управления); ЭД – электродвигатель привода гидронасоса; CAP – система автоматического регулирования; R_H – сопротивление нагрузки; A, V, W – соответственно амперметр, вольтметр, ваттметр; FU1–FU4 – плавкие предохранители; SA1, SA2 – выключатели; HL1, HL2 – лампочки световой индикации

На передней лицевой панели стенда расположены измерительные приборы (ваттметр, вольтметр, амперметр) и сигнальные индикаторы, а также установлен электронный секундомер с трехразрядным цифровым табло и кнопками управления секундомером («Вкл.» – включение питания, «Счет» – включение и выключение секундомера, «Сброс» – сброс показаний цифрового табло). 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, °С.

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

В корпусе модуля электрического управления за лицевой панелью расположены платы автоматики, электромагнитное реле, силовой трансформатор, обеспечивающий необходимые напряжения для питания стенда, выпрямитель. Напряжение питания электрической системы 220 В, 50 Гц переменного тока. Напряжение питания потенциометрического измерительного преобразователя (датчика) уровня 12 В постоянного тока.

Однофазный электрический двигатель переменного тока, используемый для привода гидронасоса, имеет следующие каталожные параметры: тип – однофазный конденсаторный на напряжение 220 В, номинальной мощностью 1,1 кВт.

Подготовка стенда к работе при выполнении лабораторных работ заключается в изучении его паспорта и подробном ознакомлении со схемой предстоящей лабораторной работы. Необходимо сначала произвести визуальный осмотр стенда с проверкой комплектности и надежности крепления его аппаратов. Вилку кабеля питания включить в розетку электросети 220В, 50 Гц. Ознакомиться и начертить электрическую схему лабораторной установки. Для удобства коммутации элементов электрической схемы между собой с помощью монтажных проводников их контактные зажимы выведены на монтажную панель и на гнезда непосредственно при изображении соответствующих элементов аппарата или прибора. Структурирование электрической системы стенда, которое необходимо выполнять перед началом каждой новой лабораторной работы, осуществляется путем установки перемычек со штекерами (монтажных проводников) в гнезда, установленные на передней панели модуля электрического управления. Установка перемычек выполняется в соответствии со схемой электрических соединений, приводимой в методических указаниях к каждой лабораторной работе. Места установки перемычек на схемах отмечены утолщенной линией. Сборку схемы производить только при отключенной питающей сети с последующей тщательной проверкой правильности соединений в соответствии со схемой лабораторной установки. При этом необходимо убедиться в отсутствии коротких замыканий между элементами схемы.

Затем необходимо обратиться к преподавателю за разрешением на проведение лабораторной работы. Приступая к работе, следует уста-

новить все выключатели в нижнее положение, которое соответствует их отключенному состоянию. Включение питания лабораторной установки стенда осуществляется путем установки выключателя SA1 «Сеть», расположенного в верхнем левом углу передней панели модуля электрического управления, в верхнее положение. При выполнении работы необходимо следить за тем, чтобы величины измеряемых параметров не выходили за пределы их паспортных данных. Снимать показания приборов следует, по возможности, быстро, не допуская чрезмерного перегрева трансформаторов и электрических двигателей.

При эксплуатации лабораторного стенда необходимо соблюдать «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей». Корпус стенда должен быть заземлен при сопротивлении контура заземления не более 4 Ом. Сборку электрических схем для проведения лабораторных работ и технологического обслуживания необходимо производить при отключенном питании стенда и нижнем положении рычага управления автоматическим выключателем. Включение питания лабораторной установки стенда и выполнение работ производить только после разрешения преподавателя. Во время проведения лабораторной работы запрещается соприкасаться с контактами аппаратов и оголенными участками электрической цепи. При замене плавкой вставки предохранителя или перед вскрытием задней крышки стенда необходимо отключить его от питающей сети. К лабораторным работам допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности и изучившие предварительно необходимый материал для подготовки к выполнению лабораторной работы.

Перед началом работы на стенде необходимо заправить нижний гидробак 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 (позиция 9 рис. 1).

Лабораторная работа 1. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ И ХАРАКТЕРИСТИК ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Цель работы: 1) изучить назначение, устройство, работу и характеристики преобразователей уровня;

2) освоить экспериментальное исследование характеристик потенциометрического измерительного преобразователя.

1.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте расположена лабораторная установка стенда НТУ-46 «Автоматизация в водоснабжении и водоотведении», в которой объектом исследования является потенциометрический измерительный преобразователь уровня воды.

Средствами исследования служат вольтметр PV с пределом измерения 10 В, амперметр РА с пределом измерения 1 мА, указатель уровня воды в верхнем баке (1 дел = 4,6 мм = 1 л).

1.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические сведения по измерительным преобразователям (датчикам) уровня.

2. Ознакомиться с устройством и работой измерительных преобразователей уровня.

3. Собрать электрическую схему лабораторной установки (с ее проверкой) для экспериментального исследования характеристик потенциометрического измерительного преобразователя.

4. Снять статическую характеристику $U_2 = f_1(h)$ и вольт-амперную характеристику (ВАХ) $I = f_2(U_2)$.

1.3. Рабочее задание

1. Начертить принципиальную электрическую схему лабораторной установки (рис. 1.1) и табл. 1.1 результатов опытов (измерений и вычислений). Записать характеристики и паспортные величины объекта и средств исследования.

Собрать цепь в соответствии со схемой (рис. 1.1) с использованием монтажных проводников и подсоединить ее к стенду с фазным напря-

жением 220 В (на схеме монтажные проводники для соединения контактных зажимов изображены утолщенной линией).

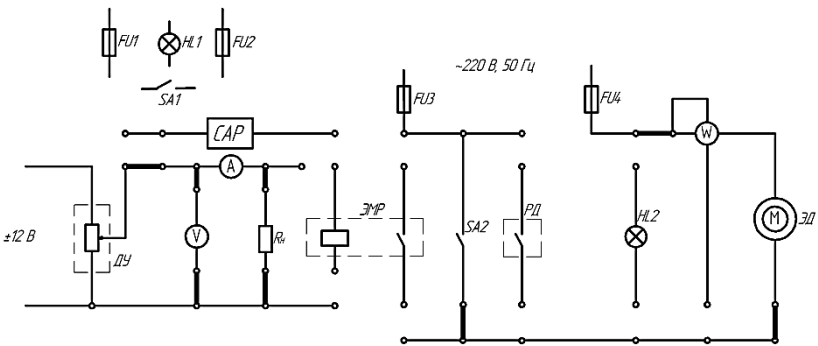


Рис. 1.1. Электрическая схема лабораторной установки для исследования характеристик потенциометрического измерительного преобразователя

После разрешения преподавателя включить установку в сеть с помощью выключателя SA1 «Сеть» на модуле электрического управления, а затем приступить к непосредственному выполнению опытов по снятию статической характеристики $U_2 = f_1(h)$ и вольт-амперной характеристики $I = f_2(U_2)$ потенциометрического измерительного преобразователя.

Таблица 1.1. Результаты опытов по исследованию потенциометрического измерительного преобразователя

Номер измерения	h – уровень воды в баке		U_2 – напряжение на выходе датчика, В	I – сила тока в цепи нагрузки, мА
	В делениях	В миллиметрах		
При заполнении верхнего бака				
1				
...				
6				
При опорожнении верхнего бака				
1				
...				
6				

2. Перед снятием любой экспериментальной точки необходимо выполнить следующее. Убедиться по показателю уровня (позиция 7

рис. 1), что в верхнем баке 5 вода отсутствует. Если верхний бак заполнен водой, то открыв вентиль В6, необходимо слить воду из верхнего бака в нижний бак 8. Вентиль В6 открыт, когда рукоятка управления установлена параллельно оси трубопровода. После слива воды из верхнего гидробака вентиль В6 необходимо закрыть. На модуле гидравлического управления вентиль В3 открыть, а вентиль В2, В4, В5 – закрыть. Закрытие вентилей осуществляется путем вращения маховика управления по часовой стрелке, а открытие – вращением против часовой стрелки, при этом управлении вентилями рекомендуется не прикладывать больших усилий.

Провести сначала экспериментальное исследование характеристик потенциометрического датчика при заполнении верхнего гидробака стенда. При этом, периодически включая и выключая насос с помощью выключателя SA2, расположенного на модуле электрического управления, заполнить верхний гидробак до уровня, при котором начнется перелив воды из верхнего гидробака в нижний. Первое отключение насоса желательно выполнить в момент, когда уровень воды в стеклянной трубке совпадет с нулевым делением указателя. Дальнейшее отключение насоса производить через каждые 10 делений. Таким образом снять шесть экспериментальных точек. Во время выключения насоса необходимо фиксировать:

- координату h – уровень воды в верхнем баке по шкале указателя уровня, причем одно деление соответствует 4,6 мм или 1 л;

- напряжение U_2 на выходе датчика, причем одно деление равно 0,1 В;

- силу тока I в цепи нагрузки, при этом предел измерения амперметра составляет 1 мА.

Таким образом, при управлении насосом необходимо следить за уровнем воды в верхнем гидробаке и за показаниями вольтметра и амперметра.

Результаты измерений при заполнении верхнего бака водой занести в табл. 1.1.

После максимального заполнения верхнего гидробака и отключения насоса, приоткрывая вентиль В6 и перепуская воду из верхнего гидробака в нижний, произвести исследование характеристик потенциометрического измерительного преобразователя уже не при заполнении, а при опорожнении верхнего гидробака, при этом каждое измерение производить, предварительно закрыв вентиль В6. Снять шесть экспериментальных точек.

Результаты измерений при опорожнении верхнего бака водой занести в табл. 1.1.

После проведения всех измерений необходимо отключить питание стенда выключателем SA1 «Сеть» и снять перемычки со штекерами (монтажные проводники) с модуля электрического управления.

3. По данным табл. 1.1 построить статическую характеристику $U_2 = f_1(h)$ и вольт-амперную характеристику $I = f_2(U_2)$ потенциометрического измерительного преобразователя и определить его чувствительность как первую производную выходной величины (напряжения U_2) по перемещению поплавка h (выходной величины) по формуле

$$K_g \approx \frac{dU_2}{dh} = \frac{\Delta U_2}{\Delta h},$$

где ΔU_2 , Δh – соответственно приращения напряжения U_2 и перемещения поплавка в разных точках статической характеристики $U_2 = f_1(h)$.

1.4. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы литературных источников: [1, с. 23–26; 2, с. 206–209; 3, с. 97–99; 4, с. 69–71; 5, с. 31–33; 6, с. 350–387; 7, с. 60–72; 8].

2. Записать основные положения по назначению, устройству и принципу действия потенциометрических измерительных преобразователей и их характеристикам.

3. Записать паспортные данные средств исследования.

4. Записать формулу для расчета чувствительности потенциометрического измерительного преобразователя.

1.5. Общие сведения об измерительных преобразователях.

Назначение, устройство, характеристики потенциометрических измерительных преобразователей

В различных системах автоматики, телемеханики, информационно-измерительной техники, для контроля технологических процессов, исследования параметров машин и агрегатов, животных и растений возникает необходимость преобразования одной физической величины в другую.

Для измерения различных физических величин пользуются измерительными преобразователями. Измерительный преобразователь – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для его передачи и дальнейшего преобразования, обработки или хранения, но неподдающегося непосредственному восприятию наблюдателем. Так, измерительный преобразователь неэлектрической величины в электрическую устанавливает однозначную функциональную зависимость выходной электрической величины Y от входной измеряемой неэлектрической величины X (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Упрощенная структурная схема ИП

Совокупность измерительных преобразователей, объединенных в один конструктивный узел, выносимый на объект измерения, называется датчиком.

Зависимость выходной величины ИП Y от входной X в общем виде выражается уравнением преобразования (функцией преобразования)

$$Y = f(X),$$

которое для некоторых ИП известно, а для других приходится функцию преобразования находить экспериментально, прибегая к градуировке. Результаты градуировки выражаются в виде таблиц, графиков или аналитически. Функциональная связь между измеряемой X и выходной Y величинами, выраженная для установившегося режима, называется статической характеристикой $Y = f(X)$, или иногда характеристикой управления.

В зависимости от функций, выполняемых в измерительной цепи, измерительные преобразователи подразделяют: на первичные, промежуточные, передающие и масштабные. Первичный измерительный преобразователь (первый в измерительной цепи) позволяет получить информацию обычно об одной измеряемой величине.

Статические характеристики реальных первичных преобразователей в основном нелинейные (рис. 1.3).

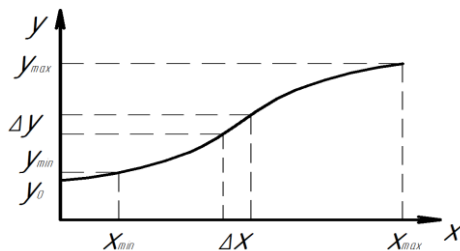


Рис. 1.3. Непрерывная статическая характеристика измерительного преобразователя

Нелинейность характеристик обусловлена физическими свойствами измерительного преобразователя: наличием в них насыщения, зоны нечувствительности, неоднородности электрического и магнитного полей, механическими возмущениями, температурой, влажностью и другими факторами. Статическая характеристика ограничивается нижним ($X_{\min}$, $Y_{\min}$) и верхними ($X_{\max}$, $Y_{\max}$) предельными значениями входной и выходной величин. Разнообразные по устройству и принципу действия измерительные преобразователи имеют различные характеристики и параметры, однако по статической характеристике могут быть определены следующие параметры первичного преобразователя: градуировочная характеристика, чувствительность, коэффициент преобразования, степень нелинейности, остаточный сигнал, порог чувствительности, ширина петли неоднозначности.

Градуировочная характеристика – зависимость между выходной и входной величинами измерительного преобразователя $Y = f(X)$ (рис. 1.3).

Чувствительностью измерительного преобразователя называется предел отношения приращения ΔY выходной величины к приращению ΔX входной величины, когда последнее стремится к нулю

$$S = \lim_{\Delta X \rightarrow 0} \frac{\Delta Y}{\Delta X} . \quad (1.1)$$

Для линейной статической характеристики чувствительность имеет постоянное значение, а для нелинейной статической характеристики чувствительность является функцией измеряемой величины.

Коэффициент преобразования – отношение изменения сигнала на выходе измерительного преобразователя ΔY , отображающего измеря-

мую величину, к вызвавшему его изменению сигналу на входе преобразователя ΔX

$$K = \frac{\Delta Y}{\Delta X}. \quad (1.2)$$

У измерительного преобразователя с линейной статической характеристикой чувствительность и коэффициент преобразования равны.

Степень нелинейности – отношение максимального отклонения по ординатам статической характеристики от аппроксимирующей ее на рассматриваемом участке прямой по всему диапазону изменения ординаты на том же участке.

Остаточный сигнал – значение выходной величины Y_0 измерительного преобразователя, соответствующее входной величине $X = 0$. Остаточный сигнал отрицательно влияет на точность измерительного устройства, так как при этом в зоне малых значений X чувствительность измерительного преобразователя резко падает.

Порог чувствительности – минимальное значение входной величины, вызывающее изменение выходной величины. Появление порога чувствительности вызывается как внешними, так и внутренними факторами (трение, люфты, гистерезис, внутренние шумы).

Погрешности преобразователей подразделяют на абсолютные и относительные. В отличие от погрешностей мер и приборов погрешности преобразователей определяют по входу и выходу.

Абсолютная погрешность (ошибка) есть разность между действительным значением выходной величины Y' и ее расчетным значением Y , т. е.

$$\Delta Y = Y' - Y. \quad (1.3)$$

Относительная погрешность

$$\gamma = \frac{\Delta Y \cdot 100 \%}{Y}. \quad (1.4)$$

Диапазон преобразования – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности измерительных преобразователей.

Кроме перечисленных характеристик преобразователей, при их оценке учитывают следующие свойства: постоянство характеристик во времени, степень обратного воздействия преобразователя на измеряе-

мую величину, удобство монтажа, надежность, условия эксплуатации, взаимозаменяемость, массу, габарит, стоимость и другие факторы.

Исключительное многообразие измерительных преобразователей, применяемых в современной автоматике, вызывает необходимость их классификации. Измерительные преобразователи классифицируют в основном по принципу действия и по назначению. По принципу действия их разделяют на два класса: генераторные (активные) и параметрические (модуляторы).

К генераторным относятся преобразователи, которые под воздействием входных преобразуемых сигналов могут вырабатывать энергию, т. е. являются источниками ЭДС, тока, механической силы, давления и т. п. Параметрическими являются те преобразователи, в которых изменение входного сигнала приводит к изменению их определенных параметров – сопротивления, емкости, индуктивности, упругости и др. Для получения выходного энергетического сигнала в этих случаях требуются дополнительные источники энергии.

Приведем кратко принцип действия различных измерительных преобразователей (ИП).

Резистивные ИП. Они подразделяются на тензометрические или тензочувствительные, реостатные и угольные. Работа резистивных ИП основана: на изменении электрического сопротивления в зависимости от перемещения движка по электрическому проводнику (реостатные); на изменении усилия прижатия угольных дисков (угольные); на механической деформации проводника или полупроводника (тензометрические). Резистивные ИП применяются для измерения перемещений, а также величин, которые могут быть преобразованы в линейное и угловое перемещение тел: давлений, сил, вращающих моментов, уровня жидкости, ускорений и др.

Электромагнитные ИП. Их подразделяют на индуктивные, взаимно индуктивные, магнитоупругие и индукционные. Индуктивные и взаимно индуктивные ИП представляют собой катушку индуктивности или взаимно индуктивности, параметры которой меняются под воздействием измеряемой величины. Магнитоупругие ИП представляют собой разновидность ИП с замкнутым магнитопроводом, а индуктивные ИП – катушку индуктивности, в которой ЭДС находится при ее перемещении в постоянном электрическом поле. Электромагнитные ИП применяются для измерения скорости, линейного и углового перемещения, а также тех величин, которые могут быть преобразованы в перемещение.

Электростатические ИП. Они подразделяются на емкостные и пьезоэлектрические. К емкостным относятся ИП, у которых под действием измеряемой величины изменяются емкость или диэлектрические потери. Работа пьезоэлектрических ИП основана на пьезоэлектрическом эффекте возникновения ЭДС в некоторых кристаллах под действием механических сил. Электростатические ИП применяются для измерения силы, давления, перемещения и количества вещества.

Тепловые ИП. Их подразделяют на терморезисторы и термоэлектрические ИП. Их действие основано на тепловых процессах при нагреве, охлаждении, теплообмене и при других тепловых процессах. В терморезисторах используется зависимость сопротивления проводника или полупроводника от температуры. Действие термоэлектрических ИП основано на возникновении термо-ЭДС при нагреве или охлаждении спая двух разнородных проводников или полупроводников. Тепловые ИП применяются для измерения температуры, скорости и расхода жидких и газообразных сред, малых концентраций газов (вакуум), влажности, перемещения, размеров, химического анализа газовых смесей.

Электрохимические ИП. Они подразделяются на гальванические, полярографические, электролитические ИП. Действие этих ИП основано на явлениях, возникающих при прохождении электрического тока через электролитическую ячейку или вследствие окислительно-восстановительных процессов, происходящих на электродах. Они находят применение при определении состава и концентрации растворов, измерении перемещения, давления и количества электричества.

Ионизационные ИП. Их работа основана на явлениях ионизации газа при прохождении через него ионизирующего излучения, люминесцентного свечения некоторых веществ под действием ионизирующего излучения. Применяются ионизационные ИП для измерения плотности и состава газа, геометрических размеров изделий, состояния и качества деталей и сред в закрытых объемах, перемещения.

Оптические или фотоэлектрические ИП. К этому типу ИП относят: фотоэлементы, фоторезисторы, фототранзисторы, фототеристоры. Основой их действия является зависимость фототока от светового потока, который, в свою очередь, зависит от измеряемой величины. Область применения оптических ИП: измерение прозрачности жидкости, газовой среды; температуры, количества изделий; определение качества сельскохозяйственных продуктов; замер освещенности, линейных

размеров тел; контроль пламени в топках, работы различных защитных устройств.

Рассмотрим резистивный измерительный преобразователь, имеющий место в данной лабораторной работе. Он относится к типу реостатных или потенциометрических измерительных преобразователей, так как реостат активного сопротивления включается по схеме потенциометра. Потенциометрические ИП применяются для контроля линейных и угловых перемещений, а также тех величин, которые могут быть преобразованы в эти перемещения (усилия, давления, уровни и объемы жидкостей). Реостатные ИП применяются также в качестве прецизионных регулируемых резисторов (реохордов) в автоматических мостах и компенсаторах.

Реостатный преобразователь, представляющий собой переменный резистор, используется для преобразования линейного x и углового φ перемещений (входная величина) в электрический сигнал постоянного или переменного тока (U – выходная величина) за счет пропорционального изменения сопротивления. Преобразование перемещений в напряжение или ток осуществляется в соответствии с требуемыми функциональными зависимостями:

$$U = f(x) \text{ и } U = \psi(\varphi). \quad (1.5)$$

Конструктивно потенциометрические измерительные устройства (рис. 1.4) представляют собой каркас прямоугольной или кольцевой формы, на который намотана в один ряд тонкая проволока (рис. 1.4, *a*).

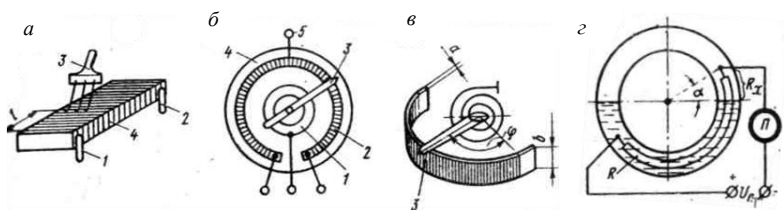


Рис. 1.4. Принципиальная конструкция потенциометрического датчика:
a – прямоугольного; *б* – кольцевого; *в* – секторного; *г* – бесступенчатого угла

Форма каркаса зависит от характера измеряемого перемещения (линейное или угловое). Для изготовления каркасов применяются диэлектрики (гетинакс, пластмасса, керамика) и металлы (дюралюминий

с анодированной поверхностью), покрытые изоляционным лаком. Проволоку для обмотки диаметром 0,03–0,05 мм выполняют из сплавов, имеющих высокое удельное сопротивление, хорошую теплостойкость и малый температурный коэффициент сопротивления: манганин (Cu, Mn, Ni), константан (Cu, Ni), нихром (Mn, Ni, Cr, Fe), фехраль, никелин.

По виткам проволоки 4 скользит щетка 3, называемая движком потенциометра, механически связанная с объектом, перемещение которого нужно измерить. Движок (щетка) выполняется из двух-трех проволок, изготовленных из сплава платины с иридием или платины с бериллием, или в виде плоских пружинных полосок, изготовленных из чистых металлов (платина, серебро) или из сплавов – фосфористая бронза. Качество контакта щетки и обмотки определяется контактным давлением в зависимости от материала контакта и лежит в пределах от тысячных долей до нескольких ньютонов. От концов намотки и от движка сделаны электрические выводы 1, 2, 3, с помощью которых измерительный преобразователь включают в схему. При перемещении движка потенциометра от вывода 1 к выводу 2 щетка переходит от одного витка намотки на другой. При этом длина проволоки между движком и выводом 1 увеличивается, между движком и выводом 2 уменьшается. За счет этого сопротивление между выводами увеличивается от 0 до R , а между выводами 2 и 3 уменьшается от R до 0 (R – сопротивление проволоки, намотанной на каркас). По изменениям этих сопротивлений можно определить перемещение L . Аналогично выполнены потенциометры (рис. 1.4, б, в). Для получения бесконтактного измерительного преобразователя угловых перемещений с плавным выходом используются жидкостные потенциометры (рис. 1.4, г). При перемещении подвижного контакта изменяется напряжение на вторичном приборе П, проградуированном в единицах контролируемого параметра. В последнее время находят применение непроволочные (пленочные) потенциометры, в которых функцию обмотки выполняет пленка из благородного металла, например радия, наклеенного на стекло.

Непроволочные переменные резисторы подразделяют по конструкции несущего слоя на тонкослойные металлические или металлооксидные (СП2), композиционные пленочные (СП3) и композиционные объемные (СП4). Конструкция пленочного переменного резистора показана на рис. 1.5.

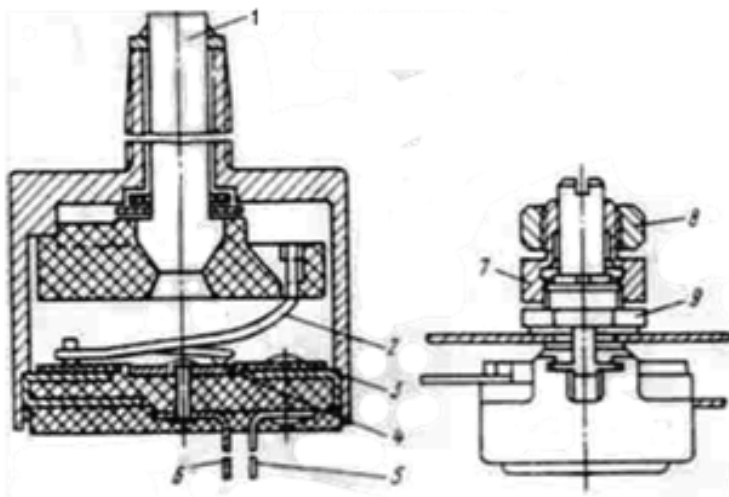


Рис. 1.5. Пленочный переменный резистор:
 1 – ось; 2 – контактная пружина; 3 – основание;
 4 – контактная спайка; 5, 6 – контакты; 7 – зажим; 8 – гайка

Основание 3, на которое нанесен токопроводящий слой, имеет форму подковы. При вращении оси 1 контактная пружина 2 одним концом скользит по основанию 3, а другим – по контактной спайке 4.

Благодаря этому изменяется сопротивление между контактами 5 и 6. Объемные резисторы имеют аналогичную конструкцию, только объемный токопроводящий слой запрессован в канавку изоляционного основания. Некоторые типы резисторов комплектуют специальными стопорящими устройствами. При вращении гайки 8 она сжимает конус цангового зажима 7 и стопорит ось резистора.

Имеется несколько вариантов подключения потенциметрических преобразователей и зависимостей выходного напряжения от изменения сопротивления (характеристик управления) (рис. 1.6).

Выходная характеристика потенциметрического преобразователя может быть линейной или нелинейной. При воспроизведении заданной нелинейной функции сопротивление потенциметра, работающего без нагрузки, должно изменяться по соответствующему нелинейному закону. Это достигается различными способами: изготовлением неоднородной обмотки, намоткой на фигурный каркас (рис. 1.7) и другими вариантами.

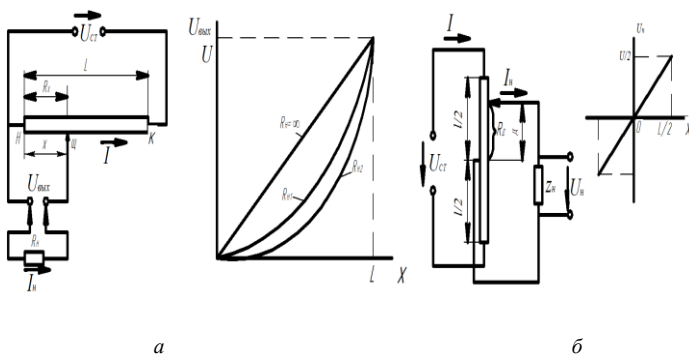


Рис. 1.6. Схемы включения и характеристики управления потенциметрического преобразователя: *а* – обычная схема включения и характеристики управления; *б* – реверсивная схема включения и характеристики управления

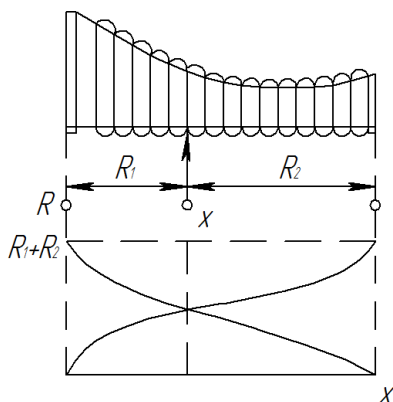


Рис. 1.7. Форма каркаса и зависимость сопротивления от положения подвижного контакта реостатного преобразователя

Характеристика и чувствительность потенциметрического преобразователя рассчитывается аналитически. Например, для схемы (рис. 1.6, *а*) можно составить уравнения из условия, что к зажимам Н и К ненагруженного потенциометра прикладывается постоянное или

переменное напряжение U . При этом сопротивление потенциометра между зажимом Н и щеткой Щ изменяется по закону

$$R_x = R \frac{x}{l}, \quad (1.6)$$

где R_x – сопротивление участка x ;

l – длина потенциометра;

R – полное сопротивление потенциометра.

Выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ снимается с части потенциометра R_x и зависит от перемещения щетки и этим осуществляется преобразование механического перемещения в электрическое напряжение. При смещении щетки вправо от точки Н на величину x выходное напряжение преобразователя в режиме холостого хода

$$U_{xx} = U_{\text{ст}} \frac{R_x}{R} = U_{\text{ст}} \frac{x}{l}. \quad (1.7)$$

Характеристика управления в этом режиме линейна. В нагрузочном режиме характеристика управления становится нелинейной. Выходное напряжение преобразователя

$$U_{\text{вых}} = I_{\text{н}} \cdot R_{\text{н}} = U_{\text{ст}} \frac{x}{l}, \quad (1.8)$$

где $I_{\text{н}}$ – ток, протекающий через нагрузочное сопротивление $R_{\text{н}}$.

Чувствительность потенциметрического преобразователя (соответственно А/м или В/м).

$$K_{\text{п}} = \frac{dI_{\text{н}}}{dx} = \frac{U_{\text{ст}}}{R_{\text{н}} l} \quad \text{или} \quad K_{\text{п}} = \frac{dU_{\text{н}}}{dx} = \frac{U_{\text{ст}}}{l}. \quad (1.9)$$

В соответствии с теоремой об эквивалентном генераторе в случае чисто активной нагрузки

$$I_{\text{н}} = \frac{U_{xx}}{R_{\text{н}} + R_{\text{экв}}}, \quad R_{\text{экв}} = R_x \frac{R - R_x}{R}, \quad (1.10)$$

где $R_{\text{экв}}$ – эквивалентное сопротивление схемы между точками Н и Щ со стороны нагрузки при закороченном источнике питания.

Подставляя (1.7) и (1.10) в (1.9), находим выходное напряжение в нагрузочном режиме

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{ст}} R_x R_n}{RR_n + R_x R - R \cdot x^2}. \quad (1.11)$$

При $x = 0$ имеем $R_x = 0$, $U_{\text{вых}} = 0$; при $x = l$ имеем $R_x = R$, $U_{\text{вых}} = U_{\text{ст}}$.

Чем меньше R_n , тем больше нелинейность характеристики управления. Для уменьшения влияния нагрузки выбирают нагрузочное сопротивление в соотношении $R_n = (10 \dots 100)R$. Характеристика управления реальных потенциометрических преобразователей имеет ступенчатый характер, так как перемещение щетки с одного витка проволоки на другой вызывает скачкообразное изменение выходного напряжения. Ошибка, вызываемая ступенчатостью характеристики, составляет

$$\Delta U = \frac{U_{\text{ст}}}{2\omega}, \quad (1.12)$$

где ω – полное число витков потенциометра.

Для уменьшения ошибки ступенчатости увеличивают число витков, уменьшая при этом диаметр проволоки. Однако с увеличением числа витков резко растет сопротивление потенциометра, что приводит к увеличению нелинейности характеристики.

Рассмотренный преобразователь позволяет измерять сопротивление только одного знака. На рис. 1.6, б показана схема реверсивного потенциометрического преобразователя. Он имеет отвод от средней точки обмотки, от которой происходит отсчет перемещения щетки. При изменении направления перемещения щетки от средней точки обмотки происходит изменение знака выходного напряжения. Положительным считается $U_{\text{вых}}$, измеренное от щетки к центру потенциометра. Если щетка Щ находится выше центра, то $U_{\text{вых}} > 0$, если ниже центра, то $U_{\text{вых}} < 0$. Знак выходного напряжения зависит от координаты x .

Выбор резистора (постоянного или переменного) для конкретной схемы необходимо выполнять с учетом условий работы (рассеиваемой мощности, температуры окружающей среды), а также требований, предъявляемых к характеристикам потенциометра.

Достоинством потенциометрических ИП является высокая точность, стабильность характеристик, большая выходная мощность, простота конструкции, возможность питания постоянным и переменным током, безынерционность, малые габариты, обычно они не нуждаются в усилителях. Недостаток – наличие скользящего контакта, который

обуславливает низкую надежность преобразователя, сильное влияние нагрузки на линейность характеристики управления, ошибка ступенчатости в изменении сопротивления от витка к витку, возникновение термо-ЭДС, особенно в цепях постоянного тока и в условиях повышенной температуры, подверженность механическим воздействиям, загрязнение и окисление контактов.

Рассчитаем характеристику и чувствительность потенциометрического ИП уровня поплавкового типа, установленного на стенде, аналитически (рис. 1.8).

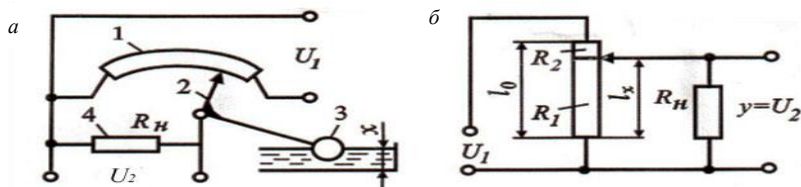


Рис. 1.8. Схемы потенциометрического ИП:
а – принципа действия; б – электрическая

Чувствительным элементом потенциометрического ИП является поплавок 3. В нем можно выделить два преобразующих элемента. Первый преобразует изменение положения поплавка x в отклонение движка 2 потенциометра 1, включенного в электрическую цепь с напряжением U_1 . При перемещении движка потенциометра изменяется напряжением U_2 на резисторе нагрузки 4. Следовательно, второй преобразующий элемент преобразует сигнал перемещения движка в выходной сигнал – напряжение U_2 . В результате ИП выдает унифицированный аналоговый электрический сигнал. Применяя законы Ома и Кирхгофа для соответствующих элементов электрической цепи, получим

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_l}{R_0} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_l R_2}{R_0 R_n}}, \quad (1.13)$$

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

R_n – сопротивление резистора нагрузки;

R_0 – полное сопротивление потенциометра.

$$R_0 = R_1 + R_2. \quad (1.14)$$

Если выбрать сопротивление нагрузки R_n значительно больше полного сопротивления потенциометра R_0 , то характеристика преобразователя будет практически линейной

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_1}{R_0} = U_1 \cdot \frac{l_x}{l_0}, \quad (1.15)$$

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

l_0 – длина потенциометра.

Можно подобрать плечи рычага, связывающего поплавков с движком потенциометра так, чтобы в требуемом диапазоне измерения уровня жидкости x связь между l_x и x была линейной

$$l_x = K_1 \cdot x, \quad (1.16)$$

где K_1 – коэффициент передачи первого преобразующего элемента – двухплечного рычага.

Статическая характеристика потенциометрического ИП уровня в этом случае будет линейной

$$Y = K \cdot x, \quad (1.17)$$

где $Y = U_2$;

$K = K_1 \cdot K_2$;

K_2 – коэффициент передачи второго преобразующего элемента – потенциометра.

Важной характеристикой потенциометрического ИП является чувствительность, представляющая собой первую производную выходной величины (напряжения U_2) по перемещению поплавка x (входной величине)

$$K_n = \frac{dy}{dx} = K_1 \frac{U_1}{l_0}. \quad (1.18)$$

Таким образом, чувствительность K_n можно рассматривать как коэффициент усиления потенциометрического ИП.

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

При проведении исследований потенциметрических ИП часто одновременно со статической характеристикой $U_2 = f_1(x)$ определяют его вольт-амперную характеристику (ВАХ), представляющую собой зависимость

$$I = f_2(U_2), \quad (1.19)$$

где I – ток в цепи нагрузки R_n .

Следует отметить, что ВАХ является по сравнению со статической характеристикой менее информативной, поскольку зависимость $I = f_2(U_2)$ изменяется с изменением сопротивления нагрузки R_n , т. е. для каждого значения R_n имеется своя вольт-амперная характеристика.

Контрольные вопросы

1. Объяснить назначение, устройство и принцип действия потенциметрических (реостатных) измерительных преобразователей различной конструкции.
2. Дать пояснение основным статическим и вольт-амперным характеристикам потенциметрических измерительных преобразователей.
3. Какие параметры первичного преобразователя можно определить по статической характеристике?
4. Привести классификацию первичных измерительных преобразователей, указав при этом их принцип действия.
5. Из каких материалов изготавливаются отдельные элементы потенциметрических измерительных преобразователей: проволока, пленка, каркас?
6. Назвать и объяснить варианты подключения потенциметрических измерительных преобразователей и их характеристики управления.
7. Каковы преимущества и недостатки потенциметрических измерительных преобразователей?
8. По каким параметрам выбирают потенциметрические (реостатные) измерительные преобразователи?
9. Как выполняется расчет чувствительности потенциметрического измерительного преобразователя уровня поплавкового типа, установленного на стенде?

Лабораторная работа 2. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ И ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДАВЛЕНИЯ

Цель работы: 1) ознакомиться с физической сущностью понятия давления, единицами и методами его измерения;

2) изучить назначение, классификацию, устройство, принцип действия и основные характеристики различных типов измерительных преобразователей давления.

2.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте расположена лабораторная установка стенда НТЦ-46 «Автоматизация в водоснабжении и водоотведении», в которой объектом исследования является реле давления и термометр сопротивления (терморезистор).

Средствами исследования являются манометр типа МП-100 МН с пределом измерения 1 МПа и указатель температуры Т с пределом измерения 100 °С.

2.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические сведения по методам определения давления и измерительным преобразователям давления.

2. Ознакомиться с основными характеристиками измерительных преобразователей давления.

3. Собрать электрическую схему лабораторной установки (с ее проверкой) для снятия верхнего P_v и нижнего P_n порогов срабатывания реле давления, температуры воды θ_v .

4. Определить исходные данные и рассчитать необходимые величины: средние арифметические значения верхнего $P_{v, \text{ср}}$ и нижнего $P_{n, \text{ср}}$ порогов срабатывания реле давления.

5. Изучить области применения различных типов измерительных преобразователей давления.

2.3. Рабочее задание

1. Начертить принципиальную электрическую схему лабораторной установки (рис. 2.1) и табл. 2.1 результатов опытов (измерений и вычислений). Записать характеристики и паспортные величины объекта и средств исследования.

2. Собрать цепь в соответствии со схемой (рис. 2.1) с использованием монтажных проводников и подсоединить ее к стенду с фазным напряжением 220 В (на схеме монтажные проводники для соединения контактных зажимов изображены утолщенной линией).

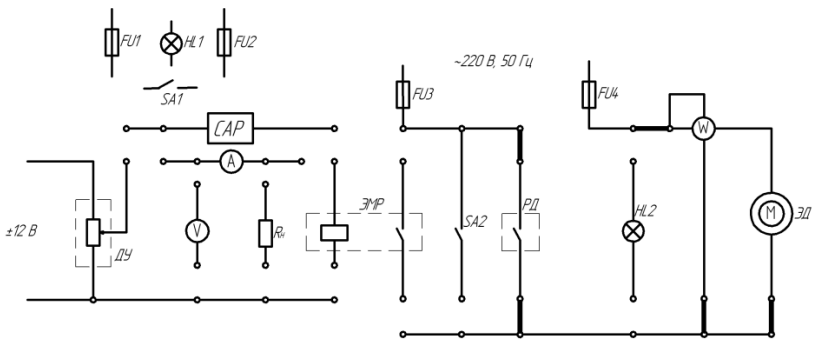


Рис. 2.1. Электрическая схема лабораторной установки для определения порогов срабатывания реле давления и температуры воды

После разрешения преподавателя включить установку в сеть с помощью выключателя SA1 «Сеть» на модуле электрического управления, а затем приступить к непосредственному выполнению опытов по снятию данных верхнего и нижнего порогов срабатывания реле давления и температуры.

Таблица 2.1. Результаты опытов по определению порогов срабатывания реле давления и температуры

Номер измерения	Верхний порог срабатывания P_v , МПа	Нижний порог срабатывания P_n , МПа	Среднее арифметическое значение верхнего порога срабатывания $P_{v. ср.}$, МПа	Среднее арифметическое значение нижнего порога срабатывания $P_{n. ср.}$, МПа	Температура воды θ_v , °С
1					
2					
3					
4					
5					

3. Перед снятием любой экспериментальной точки необходимо выполнить следующее. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В2, и В3 (закрытие вентилей осуществляется путем вращения

маховичка управления по часовой стрелке), а вентили В4, В5 и В6 необходимо открыть вращением маховичка управления против часовой стрелки, при этом управлении вентилями рекомендуется не прикладывать больших усилий. В открытом положении рукоятка вентиля В6 параллельна оси трубопровода. Вентиль В5 желателен приоткрыть частично, что позволяет при уменьшении степени его открытия увеличивать время опорожнения пневматического бака ПБ в верхний бак стенда Б2, а следовательно, увеличивать время, на которое будет отключаться насосная установка. При этом будет более удобно проводить испытания.

Включить установку в сеть с помощью выключателя SA1 «Сеть», а выключателем, расположенным на электродвигателе, включить насос. При проведении опытов насосная установка будет работать в автоматическом режиме.

Провести экспериментальные исследования по определению порогов срабатывания реле давления в пятикратной повторности. При этом необходимо в каждом опыте по манометру МП фиксировать давление P_v (верхнее), при котором отключается насосная установка, и давление P_n (нижнее), при котором включается насосная установка. Необходимо также зафиксировать температуру воды θ_v . Результаты измерения каждого опыта заносить в табл. 2.1. Опыты необходимо повторить 5 раз.

После проведения всех измерений необходимо отключить питание стенда выключателем SA1 «Сеть» и снять перемычки со штекерами (монтажные проводники) с модуля электрического управления.

Для каждого опыта необходимо определить (обработать результаты исследований):

- средние арифметические значения верхнего $P_{v, \text{cp}}$ и нижнего $P_{n, \text{cp}}$ порогов срабатывания реле давления:

$$P_{v, \text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} P_{v, i}}{5}, \quad P_{n, \text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} P_{n, i}}{5}, \quad (2.1)$$

где $P_{v, i}$, $P_{n, i}$ – соответственно пороговые значения верхнего и нижнего порогов срабатывания реле давления каждого опыта;

- допустимую погрешность измерения давления манометром:

$$\delta = \frac{k \cdot P_{\text{np}}}{100}, \quad (2.2)$$

где $k = 1,5$ – класс точности манометра;

$P_{\text{np}} = 1 \text{ МПа}$ – верхний предел измерения давления манометром.

2.4. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы литературных источников: [3, с. 121–128; 4, с. 93–97; 8; 9, с. 66–76; 10, с. 207–218].

2. Записать основные положения по методам определения давления и используемых измерительных преобразователей давления.

3. Записать паспортные данные по объекту управления и средствам исследования.

4. Записать формулы для расчетов средних арифметических значений верхнего $P_{в. ср}$ и нижнего $P_{н. ср}$ порогов срабатывания реле давления, а также определения допустимой погрешности измерения давления манометром.

2.5. Основные сведения по методам определения давления, измерительным преобразователям и реле давления

Давлением называют физическую величину, характеризующую интенсивность действия силы на поверхность.

За единицу давления в международной практической системе СИ принимают Паскаль – давление силы в 1 Ньютон на площадь в 1 квадратный метр ($1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$). Однако на практике используются приборы для измерения давления, имеющие различную размерность единиц давления (табл. 2.2).

Таблица 2.2. Соотношения между размерностями единиц измерения давления

	Па, Н/м ²	бар	атм.	мм рт. ст.	мм вод. ст.	кгс/см ²
Па, Н/м ²	1	$9,87 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$
бар	$1 \cdot 10^6$	1	0,987	$7,5 \cdot 10^2$	$1,02 \cdot 10^4$	1,02
атм.	$1,01 \cdot 10^5$	1,013	1	759,9	10332	1,03
мм рт. ст.	133,3	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$1,32 \cdot 10^{-3}$	1	13,3	$1,36 \cdot 10^{-3}$
мм вод. ст.	10	0,000097	$9,87 \cdot 10^{-5}$	0,075	1	$1,02 \cdot 10^{-4}$
кгс/см ²	$9,81 \cdot 10^4$	0,98	0,97	735	$1 \cdot 10^4$	1

Примечание. Физическая атмосфера – 101 325 Па; мм рт. ст. – 133,322 Па; мм вод. ст. – 9,80665 Па.

Измерять давление необходимо для управления различными технологическими процессами и для обеспечения безопасности производства. Кроме того, по давлению выполняют косвенные измерения других параметров (температуры, уровня, расхода и др.). Обычно измеряют избыточное давление $P_{изб}$, где за точку отсчета принимают атмосферное (давление столба воздуха на уровне моря). Сумму атмосфер-

ного $P_{\text{атм}}$ и избыточного давления $P_{\text{изб}}$ называют абсолютным P_{abs} давлением. Если абсолютное давление меньше атмосферного, то их разность называют разрежением или вакуумом. Разность двух давлений P_1 и P_2 (рис. 2.2) называется перепадом давления.

$$\Delta P = P_1 - P_2. \quad (2.3)$$

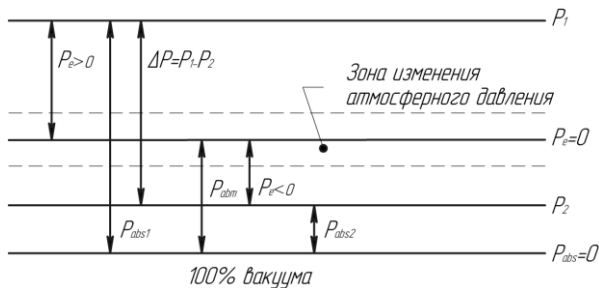


Рис. 2.2. Различные виды давления

Положительная разница между абсолютным давлением P_{abs} и значением атмосферного давления $P_{\text{атм}}$ называется избыточным давлением, где $P_e > 0$, т. е. избыточное давление – это величина, на которую измеряемое давление больше атмосферного. Для измерения этого вида давления используют специальные приборы – манометры.

Вакуум, или по-другому вакуумметрическое давление, – это величина, на которую измеряемое давление меньше атмосферного, т. е. $P_e < 0$. Если избыточное давление обозначается в положительных единицах, то вакуум – в отрицательных. Приборы, способные измерять этот тип давления, называют вакуумметрами.

По принципу действия приборы для измерения давления разделяются на жидкостные, пружинные, электрические, мембранные, сифонные, грузопоршневые и некоторые другие. По виду выходного сигнала манометры разделяют на приборы с электрическим и пневматическим сигналом, по конструкции – показывающие и самопишущие, по назначению – рабочие и контрольные. Измерительные преобразователи давления представляют собой обширную группу разнообразных приборов, предназначенных для измерения сил давлений, жидкостей и газов. Одна часть измерительных преобразователей преобразует силы давления в механическое перемещение или усилие, воспринимающие органы которых подвергаются непосредственному действию измеряемого давления. Для измерения давлений свыше 10^8 Н/м применяются измерительные преобразователи другого типа, в которых используется явление изменения электрического сопротивления проводников под

действием давления. Измерительные преобразователи, контролирующие малые давления газов, реагируют на изменение их вязкости, теплопроводности, степени ионизации и на другие параметры.

Жидкостные измерительные преобразователи подразделяют: на U-образные (рис. 2.3, *а*), колокольные (рис. 2.3, *б*), гидростатические, или дифференциальные (рис. 2.3, *в*).

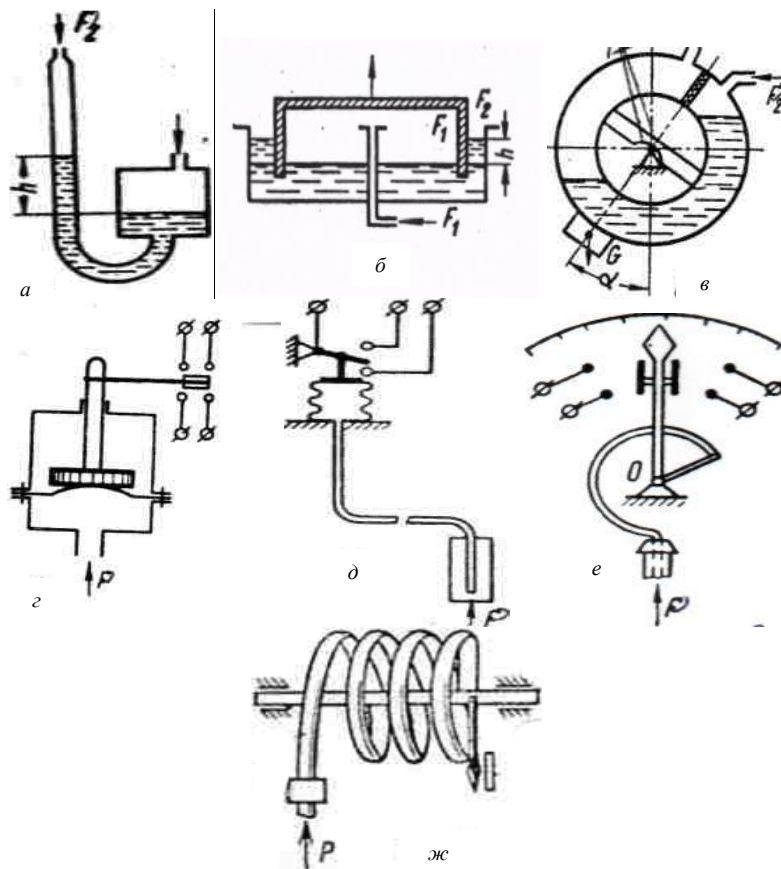


Рис. 2.3. Измерительные преобразователи давления:

а – жидкостной с U-образной системой; *б* – жидкостной с колокольной системой; *в* – гидростатический (дифференциальный); *г* – мембранный; *д* – сифонный; *е* – с манометрической трубкой; *ж* – с многовитковой трубчатой пружиной

В U-образной системе разность давлений $\Delta P = P_1 - P_2$ уравнивается весом столба жидкости

$$\Delta P = \gamma h, \quad (2.4)$$

где γ – удельный вес жидкости.

В колокольной системе избыточное давление вызывает перемещение колокола, позволяющее определять давление P_1 .

В дифференциальной системе угол поворота λ камеры кольцевых весов пропорционален разности давлений $\Delta P = P_1 - P_2$.

Камера представляет собой металлическую трубку в виде кольца, устанавливается она на призме. Перетекание жидкости под действием давления приводит к изменению центра тяжести кольца, что вызывает поворот его вместе со стрелкой на призме относительно шкалы.

В мембранах измерительных преобразователей (рис. 2.3, з) пластина (мембрана), находясь под давлением контролируемой среды, перемещает шток, жестко связанный с контактной системой. Простота конструкции, надежность, достаточная точность измерений обусловили широкое распространение датчиков этого типа.

Сильфонные измерительные преобразователи (рис. 2.3, д) представляют собой гофрированные тонкостенные трубки, выполненные из упругого материала. Разность наружного и внутреннего давлений создает силу, под действием которой происходит растяжение или сжатие сильфона. Перемещение свободного конца сильфона передается указательной стрелке и подвижным контактам.

В измерительном преобразователе с манометрической трубчатой пружиной (рис. 2.3, е) изогнутая по дуге тонкостенная упругая трубка овального сечения стремится выпрямиться при увеличении давления контролируемой среды внутри нее. Перемещение свободного конца трубки приводит в действие указательную стрелку, связанную с контактной системой. Трубчатая пружина имеет в сечении овальную форму, изготовленную из латуни или стали. При повышении давления сечение трубчатой пружины старается приблизиться к окружности, что создает напряжение, стремящееся ее выпрямить. Один конец витка пружины закреплен в штучере, соединенном с измеряемой средой, второй конец соединен со стрелкой. При повышении давления в полости пружины она пытается разогнуться и поворачивает стрелку относительно шкалы или замыкает контакты.

Приборы с многovitковой трубчатой пружиной бывают или самопишущие или для дистанционной передачи показаний (рис. 2.3, ж).

Измерительные преобразователи других типов с другими конструктивными формами воспринимающих органов представлены на рис. 2.4.

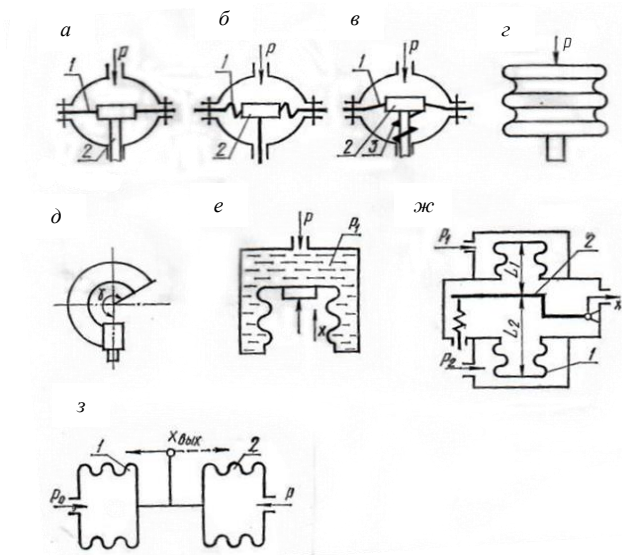


Рис. 2.4. Виды измерительных преобразователей давления:

а – с круглой мембраной; *б* – с гофрированной мембраной; *в* – с хлопающей мембраной; *г* – сильфонный; *д* – трубчатый (пружина Бурдона); *е* – с гармониковой мембраной; *ж, з* – дифференциальная и компенсационная схемы с сильфонными элементами

В качестве чувствительных органов в них используются эластичные и другие мембраны, сильфоны, трубчатые пружины, поплавки, термоэлектрические баллоны, диафрагмы.

Чувствительный элемент выполнен в виде круглой мембраны 1 (резины, сталь) (рис. 2.4, *а*), которая под действием давления прогибается, заставляя смещаться шток 2 на величину, пропорциональную приложенному давлению. Такие мембраны могут измерять давление от 10^4 до 10^8 Па. Чувствительный элемент с гофрированной мембраной 1 (рис. 2.4, *б*) служит для измерения давления от 1 до 10^6 Па. Гофрировка увеличивает чувствительность и ход штока 2, который может достигать нескольких миллиметров. Чувствительный релейный элемент

имеет вид хлопающей мембраны (рис. 2.4, *в*) по форме купола из материала с высоким пределом упругости. С увеличением давления до какого-то максимального значения мембрана практически не прогибается. При давлении $P > P_{\text{макс}}$ мембрана достаточно быстро меняет свой прогиб на противоположный. При уменьшении давления ниже $P_{\text{макс}}$ под воздействием пружины 3 мембрана также скачкообразно восстанавливает свое исходное положение и форму.

Сильфонный упругий чувствительный элемент (рис. 2.4, *з*) представляет собой гофрированную трубку, имеет перемещение до нескольких сантиметров и используется в широком диапазоне давлений от 10^{-1} до 10^5 кПа.

Сильфон обычно устанавливают так, чтобы он работал на сжатие, так как при этом он выдерживает большое давление и имеет меньшую нелинейность характеристики. Трубчатый упругий элемент (пружина Бурдона) (рис. 2.4, *д*) запаян с одного конца и изогнут в форме незамкнутого кольца. Сечение трубки чаще всего бывает овальным или эллипсным. Для увеличения хода свободного конца трубки применяют геликоидальные или винтовые трубки.

На рис. 2.4, *е* показан чувствительный элемент с гармониковой мембраной, а на рис. 2.4, *ж, з* – дифференциальная и компенсационная схемы с сильфонными элементами.

Принцип действия электрических манометров основан на использовании электрических явлений: на способности пьезоэлектрических материалов создавать ЭДС, терморезисторов – менять сопротивление под нагрузкой, катушек со стальным сердечником – менять индуктивность с изменением магнитного поля при перемещении сердечника внутри катушки, конденсатора – менять параметры за счет изменения расстояния между электродами или их площади и других явлений.

В преобразователе давления часто используют упругие элементы в виде мембран (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Преобразователь давления с тензорезистором:
1 – корпус; 2 – мембрана; 3 – тензорезистор

В корпусе 1 измерительного преобразователя укреплена мембрана 2, на которую наклеивают тензорезистор 3 (как правило, сложной формы). Для обеспечения наибольшей чувствительности форма и размеры тензорезистора должны соответствовать размерам мембраны. Мембрану в этом случае выбирают возможно меньшего диаметра и меньшей толщины. Преобразователи давлений с тензорезисторами позволяют измерять давление до 40 МПа.

В пьезоэлектрическом преобразователе давлений (рис. 2.6) газ или жидкость, через мембрану 1 действует на два пьезоэлемента 2 и 3, размещенные в корпусе преобразователя таким образом, что на их внутренних плоскостях, соприкасающихся с металлической прокладкой 8, генерируются заряды одного знака. ЭДС, развиваемая под действием сжимающего усилия, отводится из корпуса преобразователя с помощью проводника 7, подсоединенного к металлической прокладке.

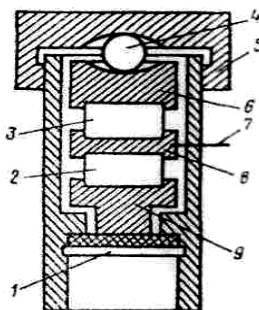


Рис. 2.6. Конструкция пьезоэлектрического преобразователя давления:

- 1 – мембрана; 2, 3 – пьезоэлементы; 4 – шарик;
- 5 – крышка; 6, 9 – прокладки;
- 7 – проводник; 8 – металлическая прокладка

Для равномерного нагружения пьезоэлементов их крепят между двумя прокладками 6 и 9. Через прокладку 9 давление действует на нижний пьезоэлемент, а верхний пьезоэлемент через прокладку 6 и шарик 4 упирается в крышку 5 корпуса. Пьезоэлементы в корпусе преобразователя размещают таким образом, что на выход преобразователя поступают (по проводнику 7) отрицательные заряды, а положительные через корпус отводятся на землю. Поскольку заряды в преобразователе возникают только при переменных воздействиях на мембрану, такие преобразователи применяют для измерения давлений, изменяющихся в диапазоне частот от 10 до 80 000 Гц.

В реостатном преобразователе давления (рис. 2.7) в корпусе 2 закреплена мембрана 1 с припаянной иглой 3. Конец иглы соединен с подвижным контактом 4 переменного резистора 5. При воздействии газа или жидкости на мембрану преобразователя она деформируется и через иглу перемещает подвижный контакт. Изменение положения подвижного контакта приводит к соответствующему изменению сопротивления преобразователя.

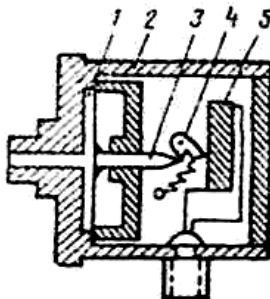


Рис. 2.7. Конструкция реостатного преобразователя давления;
1 – мембрана; 2 – корпус; 3 – игла;
4 – подвижный контакт; 5 – переменный резистор

Для адаптации измерительного прибора к тяжелым условиям работы используют разделители с плоской или трубчатой мембранами. Мембрана, изготовленная из соответствующего материала, разделяет среду измерения и средство измерения. Давление измеряемой среды гидравлически переносится на устройство передачи давления. Отсек для измеряемой среды закрывает эластичная мембрана. Пространство между мембраной и устройством постоянно заполнено жидкостью. Если со стороны среды измерения происходит давление, оно передается на жидкость через эластичную мембрану и далее через капилляр на измерительный элемент.

Возможны различные комбинации вариантов конструкции и материала разделителей и жидкостей для них для измерений давлений от 10 мбар до 1,6 бар с учетом других требований, таких как экстремальные температуры (диапазон от -90 до 400 °C, агрессивность, коррозионность, абразивность, вязкость, гетерогенность, токсичность, текучесть и стерильность среды измерения и требований к точности измерений в экстремальных условиях.

Рассмотрим наиболее широко используемые манометры.

Манометры с упругим чувствительным элементом широко распространены в сфере технических измерений давления благодаря своей прочности и простоте обращения. Они содержат чувствительные элементы, которые упруго меняют свою форму под воздействием давления. Как правило, чувствительные элементы исполняются из медных сплавов, легированных сталей или из специальных материалов, если речь идет о специфических измерительных задачах. Давление измеряется по отношению к исходному давлению (эталонное давление). В качестве исходного давления служит, как правило, атмосферное давление. Это означает, что манометр или вакуумметр указывают, насколько измеренное давление выше или ниже атмосферного давления, присутствующего в момент измерений. Существует стандартный ряд измеряемых диапазонов, давление указывается стрелкой на циферблате. Манометры с гидрозаполнением используются для измерения давления в условиях сильных пульсаций и (или) вибраций. Функцию сигнализации можно обеспечить путем комбинирования манометра с электроконтактами. Для автоматизации производственных процессов манометры комбинируются с датчиком выходного электрического сигнала, например 4–20 мА. По форме пружины и принципам измерений манометры разделяются: с трубкой Бурдона, с пластинчатой пружиной, с коробчатой пружиной, абсолютного давления, дифференциальные (рис. 2.8).

Манометры с трубкой Бурдона. Трубчатые пружины 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.

Манометры с пластинчатой пружиной. Пластинчатые пружины представляют собой тонкие гофрированные мембраны кругообразной формы, которые зажимаются или привариваются по краю между двумя фланцами и вступают в соприкосновение с измеряемой средой только с одной стороны. Вызванный в результате такого соприкосновения прогиб пропорционален величине давления. Движение передается посредством стрелочного механизма на шкалу. Пластинчатые пружины обладают сравнительно высоким перестановочным усилием.

В результате кольцеобразного крепления пластинчатые пружины менее восприимчивы к вибрациям по сравнению с трубчатыми пружинами, однако погрешность показаний при изменениях температуры у них больше. Диапазоны их показаний лежат в пределах 0...16 мбар и 0...40 бар с классом точности 0,6 и 2,5.

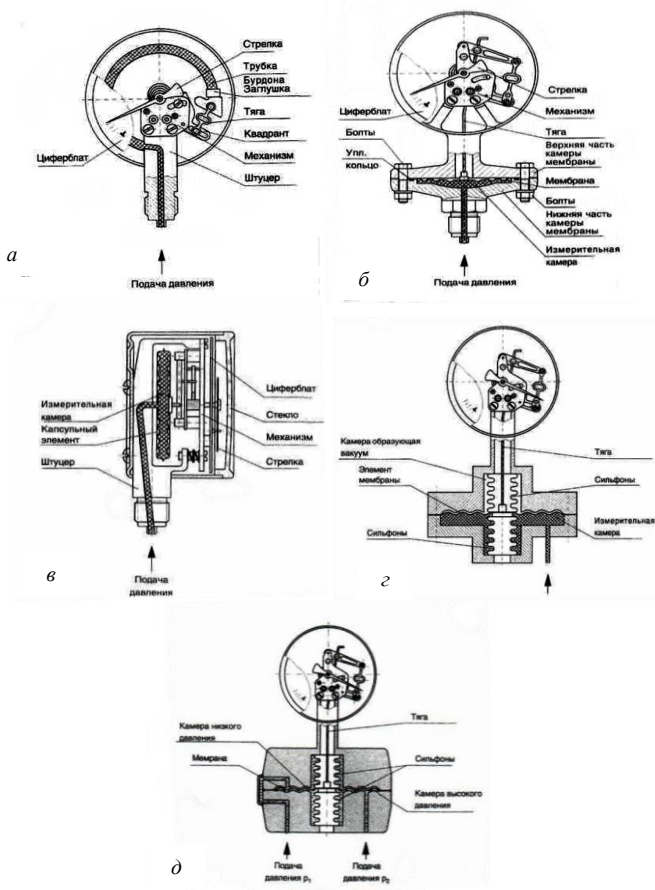


Рис. 2.8. Типы конструкции манометров давления:
а – с трубкой Бурдона; *б* – с пластинчатой пружиной;
в – с коробчатой пружиной;
г – абсолютного давления; *д* – дифференциальный

Для измерений давления до 40 или 60 бар применяются, как правило, согнутые с углом витка около 270° , кругообразные пружины. Для измерений давления с более высокими значениями используются пружины с несколькими лежащими друг над другом витками и одинаковым витковым диаметром (винтовая пружина) или со спиралеобразными витками, лежащими в одной плоскости (плоская спиральная пружина). Трубочатые пружины обладают сравнительно низким перестановочным усилием. Поэтому их защита от перегрузки может проводиться только с ограничениями. Показания лежат в диапазоне от 0...0,6 до 0...5 000 бар при точности показаний (классе) от 0,1 до 4,0 %.

Манометры с коробчатой пружиной. Давление измеряемой среды воздействует на внутреннюю сторону коробки, состоящей из двух кругообразных, гофрированных, герметично прилегающих друг к другу мембран. Возникающее под давлением поступательное движение пропорционально величине давления. Движение передается на шкалу с помощью стрелочного механизма. Манометры с коробчатой пружиной особенно пригодны для измерений давления газообразных сред. Защита от перегрузки возможна только в определенных границах. Для повышения чувствительности в манометре может устанавливаться ряд коробчатых пружин («пакет» коробчатых пружин). Диапазоны показаний лежат в пределах от 0...2,5 мбар до макс. 0...0,6 бар с классом точности от 0,1 до 2,5.

Манометры абсолютного давления. Данные приборы используются для измерений давления независимо от колебаний атмосферного давления окружающей среды. В соответствии с различными сферами применения и диапазонами показаний, манометры для измерений абсолютного давления изготавливают согласно принципам измерений и формам чувствительных элементов, которые применяются в манометрах для измерений относительного давления. Давление измеряемой среды определяется по отношению к базовому давлению, которое равняется абсолютному давлению с величиной 0 (абсолютный вакуум). Это означает, что на стороне измерительного элемента, не соприкасающейся с измеряемой средой, должно присутствовать базовое давление. Присутствие базового давления при использовании соответствующей формы пружин достигается посредством вакуумирования и герметизации соответствующей измерительной камеры или облегающего корпуса.

Передача движения измерительного элемента и индикация давления осуществляются аналогично выше описанным манометрам избыточного давления. Диапазоны показаний лежат в пределах от 0...16 мбар до макс. 0...40 бар с классом точности от 0,6 до 2,5.

Манометры дифференциальные. Приборы дифференциального давления применяются для измерений разницы между двумя отдельными давлениями. Базовым давлением является то, которое присутствует на стороне, взятой за эталонную. В качестве чувствительных элементов используются пружины тех же форм, что и в манометрах избыточного давления. Как правило, чувствительные элементы подвергаются воздействию давления с обеих сторон. Установленная таким образом разность давлений передается с помощью стрелочного механизма непосредственно на шкалу. Если измеряемые давления одинаковы, измеряемый элемент остается неподвижным, и показания прибора отсутствуют. Измерение низких разностных давлений возможно даже при высоком статическом давлении. Защита от высоких перегрузок обеспечивается с помощью пластинчатых чувствительных элементов. При выборе манометра следует учитывать допустимое статическое (рабочее) давление, а также максимально допустимую перегрузку. Для преобразования деформации чувствительного элемента в показаниях стрелки используются принципы, аналогичные принципам действия манометров избыточного давления. Диапазоны показаний лежат в пределах от 0...2,5 мбар до 0...40 бар с классом точности от 0,6 до 2,5.

Измерительные преобразователи 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 гидролинии заданного давления. Обычно реле давления выполняют в виде устройства, содержащего миниатюрный гидродвигатель с поступательным движением ведомого звена (гидроцилиндр, мембрана, сиффон), который в одну сторону перемещается под действием давления жидкости или газа, а в другую возвращается под действием возвратной пружины. Ведомое звено гидродвигателя очень часто управляет электрическими контактами.

На рис. 2.9 показана схема реле давления, используемого на стенде для управления электродвигателем насосной установки.

Реле давления имеет постоянно замкнутые контакты 1. При увеличении давления P до давления, равного верхнему порогу срабатывания P_v диафрагма 2 перемещается вправо, сжимая пружину 3 и размыкая 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 перемещается вле-

во, однако это не приводит к замыканию контактов 1 до тех пор, пока давление P не достигнет нижнего значения P_n (при этом упор 6, воздействуя на верхнюю рычажную систему 7, замкнет контакты 1, что приведет к включению насосной установки).

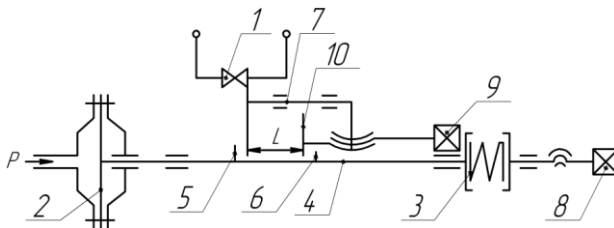


Рис. 2.9. Схема реле давления лабораторной установки:
1 – контакты замкнутые; 2 – диафрагма; 3 – пружина; 4 – толкатель;
5, 6, 10 – упоры; 7 – верхняя рычажная система; 8, 9 – винты

При воздействии на винт 8 и изменении усилия пружины 3 изменяется P_n давление, при котором отключается насосная установка. При воздействии на винт 9 и перемещении упора 10 изменяется P_n давление, при котором включается насосная установка. Так при уменьшении размера l снижается P_n .

Контрольные вопросы

1. Пояснить физическую сущность понятия давление и объяснить единицы ее измерения.
2. Пояснить методы измерения давления и используемые измерительные преобразования на основе этих методов.
3. Объяснить устройство и принцип действия манометрических измерительных преобразователей давления.
4. Объяснить устройство и принцип действия электрических измерительных преобразователей давления.
5. Дать характеристику измерительным преобразователям давления.
6. Пояснить необходимость использования распределителей давления.
7. Объяснить конструкцию и принцип действия манометров с трубкой Бурдона, пластинчатой и коромысловой пружинами.
8. Объяснить конструкцию и принцип действия манометров абсолютного давления и дифференцированного.

Лабораторная работа 3. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ И РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Цель работы: 1) изучить назначение, устройство, основные технические показатели и характеристики центробежного насоса;
2) экспериментально определить рабочие характеристики центробежного насоса.

3.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте расположена лабораторная установка стенда НТЦ-46 «Автоматизация в водоснабжении и водоотведении», в которой объектом исследования является центробежный насос «Джамбо 70/50-Н».

Средствами исследования служат ваттметр PW (1 дел = 100 Вт), манометр МН типа МП на давление 1,0 МПа, расходомер РА типа СВ-15Г, электронный секундомер.

3.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические сведения по центробежным насосам.
2. Ознакомиться с основными техническими показателями центробежных насосов.
3. Собрать электрическую схему лабораторной установки (с ее проверкой) для снятия рабочих характеристик насоса в зависимости от его подачи Q : напора $H = f_1(Q)$, мощности $N = f_2(Q)$ и КПД $\eta = f(Q)$.
4. Определить исходные данные и рассчитать необходимые величины для построения рабочих характеристик насоса: $H = f_1(Q)$, $N = f_2(Q)$, $\eta = f(Q)$.
5. Изучить области применения центробежных насосов.

3.3. Рабочее задание

1. Начертить принципиальную электрическую схему лабораторной установки (рис. 3.1) и табл. 3.1 результатов опытов (измерений и вычислений). Записать характеристики и паспортные величины объекта и средств исследования.
2. Собрать цепь в соответствии со схемой (рис. 3.1) с использованием монтажных проводников и подсоединить ее к стенду с фазным

напряжением 220 В (на схеме монтажные проводники для соединения контактных зажимов изображены утолщенной линией).

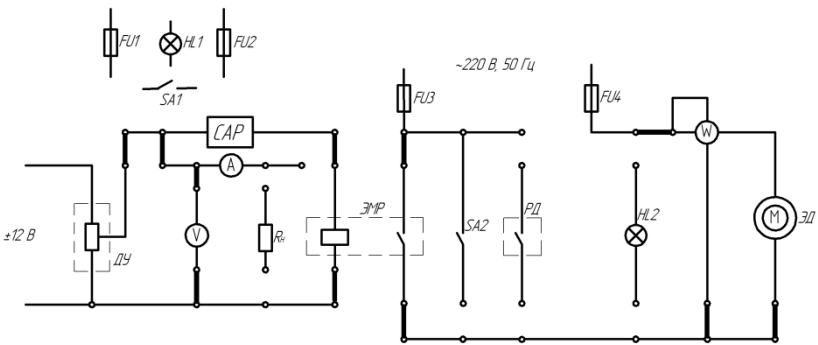


Рис. 3.1. Электрическая схема лабораторной установки для исследования опытных данных работы центробежного насоса

После разрешения преподавателя включить установку в сеть с помощью выключателя SA1 «Сеть» на модуле электрического управления, а затем приступить к непосредственному выполнению опытов по снятию рабочих характеристик центробежного насоса.

Таблица 3.1. Результаты опытов по исследованию рабочих характеристик центробежного насоса

Номер измерения	Давление на выходе насоса $P_{\text{нас}}$, Па	Объем воды, проходящей через расходомер V , м ³	Время прохождения объема t , с	Мощность электродвигателя $P_{\text{дв}}$, Вт	Подача насоса Q , м ³ /с	Мощность насоса $N_{\text{нас}}$, Вт	Напор насоса H , м	Полезная мощность насоса $N_{\text{п}}$, Вт	КПД насоса, η
1									
:									
6									

3. Перед снятием любой экспериментальной точки необходимо выполнить следующее. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В3, В4 и В5 (закрытие вентилей осуществляется путем вращения маховика управления по часовой стрелке), а вентиль В2 необходимо открыть вращением маховика управления против часовой стрел-

ки. При этом управлении вентилями рекомендуется не прикладывать больших усилий.

Включить установку в сеть с помощью выключателя SA1 «Сеть», а выключателем, установленным на электродвигателе, включить насос. Вначале, воздействуя на вентиль В2, необходимо определить максимальное давление, которое развивает насос по манометру МН. Затем, разбив диапазон измерения давления насоса на пять интервалов, провести шесть опытов. В каждом опыте давление должно быть постоянным. Первый опыт следует начать с минимального давления насоса при минимальном сопротивлении сети, на которую работает насос, что регулируется вентилем В2.

В каждом опыте необходимо измерять: давление на выходе насоса $P_{\text{нас}}$ по манометру МН, Па; время t прохождения через расходомер объема воды V (объем воды необходимо предварительно задавать, например, $V = 0,01 \text{ м}^3 = 10 \text{ дм}^3$), с; мощность $P_{\text{дв}}$, подводимую к электродвигателю по ваттметру РW (показания ваттметра необходимо умножать на 100), Вт.

Результаты измерений необходимо занести в табл. 3.1.

Во избежание перегрева и преждевременного выхода насоса не следует продолжительное время (более 30 с) работать на максимальном давлении, так как в этом случае не может быть протока воды через насос, что видно по расходомеру, показания которого в этом случае не изменяются.

После проведения всех измерений необходимо отключить питание стенда выключателем SA1 «Сеть» и снять перемычки со штекерами (монтажные проводники) с модуля электрического управления.

При обработке результатов исследования принять следующие допущения: давление на входе насоса $P_{\text{вх}}$ принято равным атмосферному давлению на основании наличия подпора жидкости на входе в насос (уровень воды в нижнем баке выше уровня расположения насоса) и сравнительно низких потерь давления во всасывающем трубопроводе; вертикальные координаты на входе $Z_{\text{вх}}$ и выходе $Z_{\text{вых}}$ насоса равны между собой при условии, что не учитывается вертикальный размер насоса

$$Z_{\text{вх}} = Z_{\text{вых}}, \quad (3.1)$$

средние скорости течения воды на входе $v_{\text{вх}}$ и выходе $v_{\text{вых}}$ равны между собой

$$v_{\text{вх}} = v_{\text{вых}}. \quad (3.2)$$

Для каждого опыта необходимо определить:

- подачу

$$Q = \frac{V}{t}; \quad (3.3)$$

- мощность насоса

$$N_{\text{нас}} = P_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{дв}}, \quad (3.4)$$

где $\eta_{\text{дв}}$ – КПД электродвигателя (принимаем $\eta_{\text{дв}} = 0,5$);

- напор насоса с учетом вышеизложенных допущений

$$H = \frac{P_{\text{нас}}}{\rho \cdot g}, \quad (3.5)$$

где $\rho = 1\,000 \text{ кг/м}^3$ – плотность жидкости (вода);

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

- полезную мощность насоса

$$N_{\text{п}} = P_{\text{нас}} \cdot Q; \quad (3.6)$$

- КПД насоса

$$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{нас}}}. \quad (3.7)$$

Результаты вычислений занести в табл. 3.1 и по ее данным построить рабочие характеристики насоса: зависимости напора от подачи $H = f_1(Q)$, мощности насоса от подачи $N = f_2(Q)$, КПД насоса от подачи $\eta = f_3(Q)$.

3.4. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы литературных источников: [11, с. 129–189; 12, с. 89–140; 13, с. 215–253; 14; 15].

2. Записать основные положения по назначению, устройству, принципу действия центробежных насосов и по их характеристикам.

3. Записать паспортные данные по объекту управления и средств исследования.

4. Записать формулу для расчета подачи Q , мощности насоса $N_{\text{нас}}$, напора H , полезной мощности $N_{\text{п}}$ и КПД η насоса.

3.5. Общие сведения о назначении, устройстве, принципе действия и характеристиках центробежных насосов

Насосы – гидравлические машины, предназначенные для создания напорного потока жидкой среды (напор – энергетический показатель). Этот поток создается в результате силового воздействия на жидкость в проточной полости или рабочей камере насоса. Под насосным агрегатом следует понимать двигатель и насос, объединенные в одно целое общим основанием и корпусом.

По характеру силового воздействия на жидкость различают насосы динамические и объемные. В динамическом насосе силовое воздействие на жидкость происходит в проточной полости неизменного объема, постоянно сообщаемой со входом и выходом насоса. В объемном насосе силовое воздействие на жидкость осуществляется в рабочей камере, периодически изменяющей свой объем и попеременно сообщаемой со входом и выходом насоса.

Динамические насосы не обладают свойством герметичности. При неподвижном рабочем колесе, устанавливаемом в проточной полости, при неработающем насосе жидкость практически беспрепятственно может перетекать со входа на выход и наоборот. Динамические насосы из-за не герметичности не способны развивать высокие давления. Но так как проточная полость у этих насосов постоянно сообщена со входом и выходом и жидкость подается непрерывным потоком, динамические насосы, по сравнению с объемными имеют более высокие подачи. Также из-за не герметичности динамические насосы, не снабженные специальными устройствами, не обладают свойством самовсасывания. Следовательно, если насос установлен выше уровня жидкости в баке, из которого она засасывается, то в начальный момент, когда всасывающий трубопровод и насос заполнены воздухом, насос не способен создать разрежение, достаточное для подъема жидкости, и начать работу. Поэтому перед включением динамический насос необходимо заливать водой и удалять из него воздух.

Объемные насосы обладают свойством герметичности, самовсасывания, способны создавать высокие давления. В принципе, если вытеснитель в рабочей камере имеет идеальное уплотнение, то такой насос способен создавать сколь угодно высокое давление. Но в связи с тем, что объемный насос постоянно работает в режиме переключения камер с периодическим подключением каждой камеры то к всасыва-

нию, то к выходу насоса, он имеет невысокую подачу, по сравнению с динамическим насосом. Объемные насосы находят наибольшее применение в машиностроительных гидроприводах.

Таким образом, динамические насосы способны создавать высокие подачи при относительно невысоких давлениях, а объемные насосы, наоборот, обеспечивают высокие давления при относительно невысоких подачах.

К динамическим насосам относятся лопастные, электромагнитные и насосы трения. Лопастные насосы бывают двух типов: центробежные и осевые. К насосам трения относят: вихревые, шнековые, дисковые, струйные и некоторые другие.

Центробежные насосы чаще всего находят применение в области водоснабжения и водоотведения, теплоэнергетике, атомной промышленности и их можно классифицировать по следующим основным признакам:

- направлению оси расположения, вращения или движения рабочих органов (горизонтальный, вертикальный);
- расположению рабочих органов и конструкций опор (консольный, моноблочный, с выносными опорами, с внутренними опорами);
- расположению входа в насос (с боковым входом, с осевым входом, двухстороннего входа);
- числу ступеней и потоков (одноступенчатый, двухступенчатый, многоступенчатый, однопоточный, двухпоточный, многопоточный);
- условиям отвода жидкости из рабочего колеса (спиральный, кольцевой, с направляющим аппаратом);
- роду перекачиваемых жидкостей (насосы для чистых жидкостей и для гидросмесей).

Преимущества центробежных насосов по сравнению с насосами других типов:

- пологие характеристики $H = f_1(Q)$ и $\eta = f_2(Q)$, в результате чего высокие значения напоров H и КПД сохраняются в широком диапазоне подач Q ;
- большая частота вращения, что позволяет в качестве привода для насосов использовать электродвигатели и турбины;
- плавное изменение мощности N , что позволяет выполнить пуск насоса при закрытой выходной заслонке или при закрытом обратном клапане;

- устойчивость в работе насосов и расширение технических показателей H и Q при последовательном или параллельном соединении насосов при работе на один трубопровод;

- плавное протекание переходных процессов при изменении режима работы гидросистемы;

- расположение насоса выше уровня жидкости в расходной емкости;

- изменение показателей насосов H , Q , η за счет различных факторов: отбочки диаметра рабочего колеса, изменение частоты вращения за счет изменения величины и частоты тока, напряжения и некоторых других;

- невысокая стоимость насоса из-за использования в конструкции насоса сравнительно дешевых конструкционных материалов: стали, чугуна, бронзы, полимерных материалов.

Центробежные насосы обладают и рядом недостатков:

- требуют заливки жидкости перед пуском;

- имеют склонность к кавитации;

- имеют пониженное значение КПД при перекачивании вязких жидкостей;

- имеют небольшое КПД при малой подаче жидкости Q и большом значении напора H ;

- насосы целесообразно использовать в области больших подач Q и низких напоров H жидкости.

Рассмотрим принцип действия и конструкцию некоторых наиболее распространенных типов центробежных насосов, включая и насос, используемый в лабораторной установке.

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

Принципиальная схема центробежного насоса приведена на рис. 3.2.

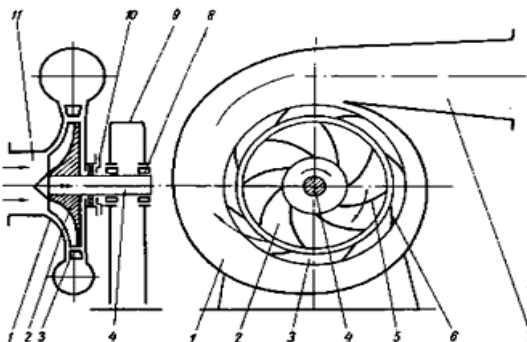


Рис. 3.2. Принципиальная схема устройства центробежного насоса:
 1 – рабочая камера; 2 – рабочее колесо; 3 – направляющий аппарат; 4 – вал;
 5 – лопатка рабочего колеса; 6 – лопатка направляющего аппарата;
 7 – нагнетательный патрубок; 8 – подшипник; 9 – корпус насоса;
 10 – гидравлическое торцовое уплотнение; 11 – всасывающий трубопровод

На рис. 3.3 показан в разрезе горизонтальный центробежный насос консольного типа, с осевым входом, одноступенчатый, однопоточный.

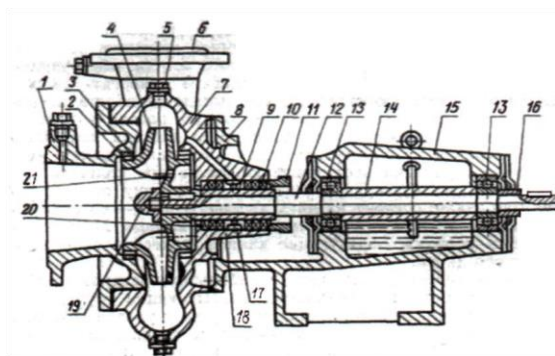


Рис. 3.3. Разрез центробежного насоса:
 1 – входной всасывающий патрубок; 2 – уплотняющее кольцо; 3 – защитное кольцо;
 4 – рабочее колесо; 5 – пробка закрытия отверстия подключения всасывающей трубы;
 6 – выходной нагнетательный патрубок; 7 – спиральный корпус; 8 – кронштейн;
 9 – втулка защитная; 10 – набивка; 11 – крышка сальника; 12 – вал; 13 – шарикоподшипники (опоры вала); 14 – втулки распорные; 15, 16 – стойка опорная с масляной ванной;
 17 – кольцо гидравлического уплотнения; 18 – корпус сальника в виде целой отливки с корпусом насоса; 19 – гайка; 20 – грундебукса; 21 – отверстие разгрузочное

Рабочее колесо 4 установлено на вал 12 с помощью шпонки. Для фиксации рабочего колеса в осевом направлении предназначена гайка 19. Вал установлен на двух подшипниках качения 13, смазываемых жидкой смазкой (в других конструкциях насосов подшипники смазываются консистентной смазкой). Уплотняющий узел насоса состоит из грунdbufксы 20, набивки сальника 10, кольца гидравлического уплотнения 17 и крышки сальника 11. Грунdbufкса, представляющая собой бронзовое ступенчатое кольцо, служит для предохранения от износа корпуса, в котором установлен уплотняющий узел.

Схема консольного насоса представлена на рис. 3.4, характерной особенностью которого является консольное расположение рабочего колеса 4. Корпус 2, 3 – спиральный с осевым подводом жидкости. Рабочее колесо состоит из ведущего *б* и ведомого *а* дисков, соединенных между собой лопастями *в*. Между ними и дисками образуются каналы.

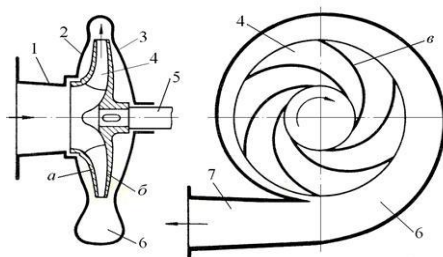


Рис. 3.4. Принципиальная схема центробежного насоса консольного типа:
1 – всасывающий трубопровод; 2, 3 – корпус; 4 – рабочее колесо; 5 – вал;
6 – спиралеобразный отвод; 7 – диффузор; *а* – ведомый диск;
б – ведущий диск; *в* – лопасти

Лопасты изогнуты в сторону, противоположную направлению вращения рабочего колеса. Рабочее колесо 4 ведущим диском крепится на валу 5. Центробежное колесо имеет следующий принцип действия. Вращение от двигателя передается рабочему колесу посредством вала, вследствие чего поток жидкости в его контактах закручивается и действующие в нем центробежные силы заставляют жидкость перемещаться от центра к периферии, обтекая лопасти. На вход рабочего колеса жидкость поступает непрерывно через конфузор подвода из всасывающего трубопровода 1. Следовательно, рабочее колесо сообщает жидкости преимущественно кинетическую энергию. Жидкость выходит с большой скоростью из рабочего колеса и попадает в спиралеоб-

разный отвод 6, плавное расширение которого к выходу обеспечивает при весьма небольших гидравлических потерях перевод значительной доли кинетической энергии потока в потенциальную, чему способствует и диффузор 7, имеющийся в выходном патрубке насоса. Рабочее колесо увлекает жидкость в пространство между его дисками и боковыми стенками отвода, уменьшает давление жидкости от периферии к центру по параболической зависимости. Рабочие колеса центробежных насосов имеют 6...12 лопастей, очертание которых выполняется по спиральной или цилиндрической поверхности, для подачи чистых жидкостей. В сочетании со спиральным отводом при этом обеспечиваются насосу хорошие гидродинамические качества.

Насосные агрегаты с консольными насосами выпускают двух типов: К (консольный) и КМ (консольный моноблочный). Агрегат типа К представляет собой консольный насос и электродвигатель, установленные на общей раме и валы их соединены втулочно-кольцевой муфтой. В агрегате типа КМ к электродвигателю фланцевого исполнения присоединен консольный насос так, что образуется общий корпус (моноблок). Обозначения и маркировка насосов, за исключением специальных конструкций, определены ГОСТом 22247-76, например: К-8/18, КМ-90/20 (цифры за буквами определяют номинальную подачу ($\text{м}^3/\text{ч}$) и напор (м) водяного столба). Насосные агрегаты К и КМ предназначены для перекачивания чистых неагрессивных жидкостей при температуре до 85°C и охватывают номинальные подачи 10...360 л/ч и напоры 10...100 м при КПД 0,5...0,83.

Центробежные насосы типа Д имеют двусторонний вход жидкости в рабочее колесо (рис. 3.5).

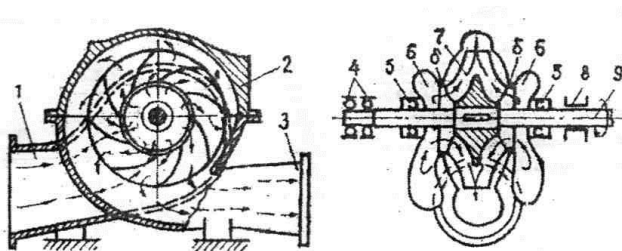


Рис. 3.5. Схема принципа действия центробежного насоса двустороннего входа:

- 1 – подвод; 2 – крышка; 3 – корпус; 4 – подшипники; 5 – втулки; 6 – лопасти;
- 7 – каналы рабочего колеса; 8 – опора; 9 – приводной вал

Из подвода 1 жидкость попадает в лопасть 6, а из нее – в каналы рабочего колеса 7, затем – в спиральный отвод, образованный корпусом 3 и крышкой 2. Двусторонний вход жидкости обеспечивает уравновешенность осевых сил рабочего колеса, меньшие гидравлические сопротивления, что несколько повышает КПД насоса. Двойное уплотнение вала и рабочего колеса аналогичны тем, что применяют в консольных насосах. В обозначении насоса двустороннего входа, например Д200-95 указывается тип – Д, номинальные подача – $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напор 95 м. Выпускаемые типоразмеры охватывают подачу $90 \dots 12\,500 \text{ м}^3/\text{ч}$, напор $12 \dots 137 \text{ м}$ при КПД $0,64 \dots 0,92$.

Электрические центробежные насосы серии «Джамбо» являются поверхностными со встроенным эжектором. Они сочетают в своем устройстве преимущества центробежных насосов с практичностью самовсасывающих моделей (рис. 3.6).

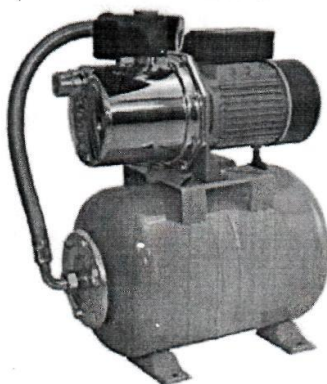


Рис. 3.6. Общий вид насоса серии «Джамбо 70/50Н-50»

Встроенный внутренний эжектор с системой труб Вентури обеспечивает хорошие условия всасывания на входе в насос и позволяет создавать высокое давление на выходе. Центробежный насос данной серии позволяет перекачивать воду с меньшими, по сравнению с обычными, центробежными насосами, требованиями к чистоте и наличию растворенных газов.

Центробежные насосы «Джамбо 60/35 П», «Джамбо 60/45», «Джамбо 70/50 Н» имеют корпус, выполненный из нержавеющей стали, а корпус насоса «Джамбо 60/35» полностью выполнен из чугуна.

Рабочее колесо и проточный блок (направляющий аппарат – трубка Вентури – сопло) выполнены из износостойких практических материалов. Переходной фланец выполнен из алюминия, но со стороны насосной части он отделен от контакта с водой задней крышкой из пластмассы. Для предотвращения внешних утечек из насосной части применены графитно-керамические торцовые уплотнения. Благодаря свойству самосмазывания вследствие сочетания гидродинамического и капиллярного эффектов уплотнения центробежных насосов являются практически вечными.

Применяемый электродвигатель – однофазный асинхронный короткозамкнутый, состоящий из статора, подшипниковых щитов, короткозамкнутого ротора и коробки выводов статорной обмотки, в которой находится конденсатор и клеммные колодки для соединения выводных концов электродвигателя с питающим кабелем подключения к однофазной сети переменного тока напряжением 220 В. Статор электродвигателя защищен термopротектором, отключающим электродвигатель при перегреве обмотки. Он также охлаждается вентилятором, расположенным на заднем конце ротора.

Насосы серии «Джамбо» автоматически поддерживают необходимое давление в системе водоснабжения, самостоятельно включаясь и отключаясь по мере расходования воды потребителями. Насосы-автоматы «Джамбо» по принципу управления различаются по давлению и по потоку.

Системы автоматизированного водоснабжения с насосами серии «Джамбо» обеспечивают плавный пуск с целью снижения пускового тока, предотвращения гидроудара при пуске насоса, снижение механических нагрузок на насос и обратный клапан, поддержание диапазона давления по заданным значениям, а также защиту от «сухого хода» и неуправляемой непрерывной работы, перегрузки по току, перепадов напряжения.

Параметры насоса-автомата «Джамбо 70/50 Н-50», используемого в лабораторном стенде НТЦ-46, следующие:

- номинальная мощность электродвигателя – 1,1 кВт;
- гидроаккумулятор – объем 50 л = 0,95 м³.

Подача, л/мин	65	61	57	53	46	37	26	16	7
Напор, м	5	10	15	20	25	30	35	40	45

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

Подачей насоса Q (м³/с) называется объем жидкости, проходящей в единицу времени через напорный выходной патрубок. Подача насоса зависит от геометрических размеров проточной полости и рабочего органа и скорости его движения, а также от утечек жидкости внутри насоса между областями нагнетания и всасывания.

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

$$H = H_{\text{вых}} - H_{\text{вх}}, \quad (3.8)$$

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

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

Учитывая, что напор в любом сечении трубопровода равен сумме геометрического Z , пьезометрического

$$\frac{P_{\text{вых}} - P_{\text{вх}}}{\rho \cdot g} \quad (3.9)$$

и скоростного

$$\frac{\alpha \cdot v^2}{2g} \quad (3.10)$$

напоров, можно записать

$$H = (Z_{\text{вых}} - Z_{\text{вх}}) + \frac{P_{\text{вых}} - P_{\text{вх}}}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_{\text{вых}} \cdot v_{\text{вых}}^2 - \alpha_{\text{вх}} \cdot v_{\text{вх}}^2}{2g}, \quad (3.11)$$

где $P_{\text{вых}}$, $P_{\text{вх}}$ – соответственно давление на выходе и входе в насос, Па;

$v_{\text{вых}}$, $v_{\text{вх}}$ – соответственно средняя скорость жидкости на выходе и входе в насос, м/с;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

$\alpha_{\text{вых}}$, $\alpha_{\text{вх}}$ – соответственно коэффициенты Кориолиса на выходе и входе в насос. Они учитывают неравномерность распределения скоростей по живому сечению и представляют собой отношение действительной кинетической энергии потока к энергии, подсчитанной по средней скорости. Если скорости во всех точках живого сечения потока одинаковы, $\alpha = 1$, если же скорости неодинаковы, $\alpha > 1$.

С учетом принятых допущений (см. пункт 3 рабочего задания)

$$Z_{\text{вх}} = Z_{\text{вых}}, v_{\text{вх}} = v_{\text{вых}} \quad (3.12)$$

напор насоса

$$H = \frac{P_{\text{нас}}}{\rho \cdot g}. \quad (3.13)$$

Индексы «вых», «вх» относятся к напорному выходному и входному патрубкам соответственно.

Давление насоса (Па)

$$P = \rho g H. \quad (3.14)$$

Мощностью насоса (Вт) называется мощность, потребляемая насосом

$$N = M\omega, \quad (3.15)$$

где M – вращающий момент на валу насоса, Н·м;

ω – угловая скорость вала насоса, с^{-1} .

Полезной мощностью (Вт) называется мощность, приобретаемая жидкостью при прохождении ею насоса

$$N_{\text{п}} = \rho g Q H. \quad (3.16)$$

Отношение полезной мощности $N_{\text{п}}$ к мощности насоса N определяет КПД насоса

$$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N}. \quad (3.17)$$

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

Рабочие характеристики центробежного насоса – зависимости $H = f_1(Q)$, $N = f_2(Q)$ и $\eta = f_3(Q)$.

Получают рабочие характеристики при постоянной частоте вращения вала насоса. Зависимость $H = f_1(Q)$ называют главной характеристикой, а расчетные характеристики насоса, полученные при номинальной частоте вращения, называют внешними. Проводя испытания насоса при различных частотах вращения вала насоса, иногда получают универсальную характеристику насоса, представляющую собой семейство зависимостей $H = f(Q)$, построенных при постоянных значениях КПД. Значение универсальной характеристики насоса особенно

важно в тех случаях, когда привод насоса осуществляется от двигателя, имеющего переменную частоту вращения.

Для определения всасывающей способности насоса и условия возникновения кавитации проводят кавитационные испытания и строят кавитационные характеристики – зависимости $H = f_1(Q)$, $N = f_2(Q)$ и $\eta = f_3(Q)$.

$$H = \frac{P_{\text{вак}}}{\rho \cdot g}, \quad (3.18)$$

где $P_{\text{вак}}$ – вакуумметрическое давление на входе насоса.

При проектировании, экспериментальных, конструкторских и эксплуатационных исследованиях лопастных насосов широко используются методы теории подобия. Теория подобия позволяет проводить эксперименты на моделях, а затем достаточно точно рассчитывать полученные характеристики на натуральные насосы больших размеров или для одного и того же насоса рассчитывать новые характеристики в случаях изменения диаметра рабочего колеса или частоты вращения.

Теория подобия насосов базируется на общей теории гидродинамического подобия потоков. Полные подобия насосов возможны лишь при наличии их геометрического, кинематического и динамического подобия.

Контрольные вопросы

1. Что такое насос и насосный агрегат?
2. Каково назначение и классификация гидронасосов, достоинства и недостатки динамических и объемных насосов?
3. Пояснить основные технические показатели и характеристики центробежных насосов.
4. Как устроен и работает центробежный насос: консольный, двустороннего входа?
5. Пояснить особенности конструкции и параметры насоса-автомата серии «Джамбо».
6. Пояснить область применения центробежных насосов.

Лабораторная работа 4. ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПО УРОВНЮ

Цель работы: 1) изучить назначение, устройство, принцип действия системы автоматического регулирования уровня воды в резервуаре;
2) освоить экспериментальные исследования системы автоматического регулирования с регулированием по уровню.

4.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте расположена лабораторная установка стенда НТЦ-46 «Автоматизация в водоснабжении и водоотведении», в которой объектом исследования является уровень воды в верхнем баке с указанием уровня воды (1 дел = 4,6 мм = 1 л) и насосная установка, включающая центробежный насос с приводным однофазным электродвигателем, являющаяся исполнительным механизмом.

Средствами исследования являются скоростной расходомер РА типа СВ-15Г ($Q_n = 1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$), электронный секундомер, ваттметр РВ (1 дел = 100 Вт).

4.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические сведения по системам автоматического регулирования с регулированием по уровню.

2. Ознакомиться с техническими средствами автоматизации, входящими в объект регулирования и регулятора.

3. Собрать электрическую схему лабораторной установки (с ее проверкой) для снятия времени работы насосной установки при i -м срабатывании $t_{р. i}$, потребляемой мощности электродвигателя $P_{дв. i}$, показания расходомера: начальное $V_{нач. i}$ и конечное $V_{кон. i}$.

4. Определить исходные данные и рассчитать необходимые величины: средний расход воды $Q_{ср}$ и потребляемую в течение опыта энергию A .

5. Построить по результатам вычислений графическую зависимость $A = f(Q_{ср})$ с ее анализом.

6. Разработать на основании принципиальной электрической схемы структурную схему системы автоматизации.

4.3. Рабочее задание

1. Начертить принципиальную электрическую схему лабораторной установки (рис. 4.1) и табл. 4.1 результатов опытов (измерений и вычислений). Записать характеристики и паспортные величины объекта и средств исследования.

2. Собрать цепь в соответствии со схемой (рис. 4.1) с использованием монтажных проводников и подсоединить ее к стенду с фазным напряжением 220 В (на схеме монтажные проводники для соединения контактных зажимов изображены утолщенной линией).

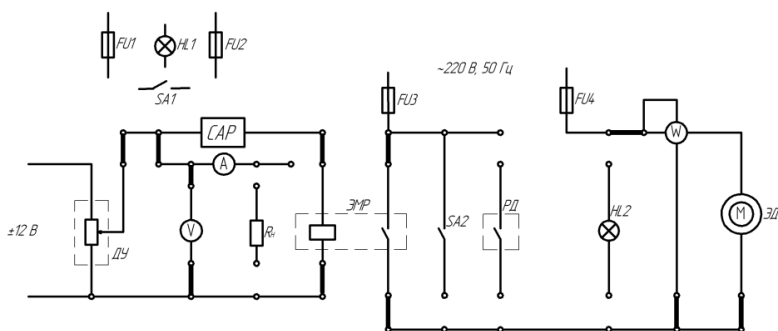


Рис. 4.1. Электрическая схема лабораторной установки для исследования характеристик САР с регулированием по уровню

3. Перед снятием любой экспериментальной точки необходимо выполнить следующее. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В3, В4, В5 (закрытие вентиля осуществляется путем вращения маховичка управления по часовой стрелке), а вентиль В2 полностью открыть вращением маховичка управления против часовой стрелки, при этом управлении вентилями рекомендуется не прикладывать больших усилий.

Включить установку в сеть с помощью выключателя SA1 «Сеть», а выключателем, установленным на электродвигателе, включить насос. При проведении опытов насосная установка будет работать в автоматическом режиме и насос начнет подавать воду из нижнего бака в верхний бак через скоростной расходомер РА. Провести два опыта при пяти срабатываниях насосной установки и при различных степенях открытия вентиля В6. В первом опыте вентиль В6 открыть почти полностью, при этом рукоятку управления вентилем необходимо устано-

вить почти параллельно оси трубопровода. При этом в каждом опыте необходимо зафиксировать начальные показания скоростного расходомера $V_{нач. i}$. Одновременно с включением насосной установки необходимо с помощью электронного секундомера начать отсчет времени. Опыт закончить сразу же после пятого срабатывания насосной установки. При этом следует, нажав кнопку «Счет», остановить секундомер и зафиксировать время опыта $t_{оп}$ и показания скоростного расходомера $V_{кон. i}$. Также при каждом срабатывании насосной установки необходимо, не останавливая секундомер, фиксировать время работы насосной установки $t_{р. i}$ и мощность, потребляемую электродвигателем при i -м срабатывании, $P_{дв. i}$ (показания ваттметра умножить на 100). Далее, для достижения отключения насосной установки, необходимо прикрыть вентиль В6 и добиться заметного уменьшения расхода воды из верхнего бака в нижний, что будет соответствовать уменьшению забора воды потребителями. Осуществляя настройку вентиля В6, необходимо следить за скоростью уменьшения уровня воды в трубке, установленной в верхнем баке. При этом выполнить второй опыт. Результаты измерений каждого опыта заносить в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Результаты опытов по определению характеристик САР с регулированием по уровню

Номер опыта	i -й порядковый номер срабатывания насосной установки	Время работы насосной установки при i -м срабатывании $t_{р. i}$, с	Мощность, потребляемая электродвигателем $P_{дв. i}$, Вт	Показания расходомера, м ³		Продолжительность опыта $t_{оп}$, с	Средний расход воды, м ³ /с	Энергия, потребляемая в течение опыта A , кВт·ч
				начальное $V_{нач. i}$	конечное $V_{кон. i}$			
1	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
2	1							
	2							
	3							
	4							
	5							

После проведения всех измерений необходимо отключить питание стенда выключателем SA1 «Сеть» и снять перемычки со штекерами (монтажные проводники) с модуля электрического управления.

Для каждого опыта необходимо определить (обработать результаты исследований):

- средний расход воды (расход, подаваемый насосом в бак Б2 равен потребляемому расходу)

$$Q_{\text{ср}} = \frac{V_{\text{кон}} - V_{\text{нач}}}{t_{\text{оп}}}; \quad (4.1)$$

- потребляемую в течение опыта энергию

$$A = \sum_{i=1}^{i=5} P_{\text{дв. } i} \cdot t_{\text{р. } i}. \quad (4.2)$$

При вычислении A необходимо значение $P_{\text{дв. } i}$ подставлять в кВт, а $t_{\text{р. } i}$ – в часах.

Результаты вычислений занести в табл. 4.1, затем построить графическую зависимость $A = f(Q_{\text{ср}})$.

4.4. Подготовка к выполнению рабочего задания.

1. Изучить необходимые разделы литературных источников: [3, с. 27–44; 5, с. 76–81; 16, с. 5–18; 17, с. 5–59; 18, с. 45–63; 19, с. 104–113].

2. Записать основные положения по характеристикам средств, входящих в систему автоматического регулирования по уровню.

3. Записать паспортные данные по объекту управления и средствам исследования.

4. Записать формулы для расчета среднего расхода воды $Q_{\text{ср}}$ и потребляемой в течение опыта энергии A .

4.5. Общие сведения о назначении, устройстве и принципе действия САР с регулированием по уровню

Разработка систем автоматизации начинается с выбора структуры управления, реализуемой посредством составления и вычерчивания структурных схем. Затем разрабатывают функциональные схемы управления, являющиеся основным техническим документом, опреде-

ляющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического управления, регулирования и контроля. На основе разработанных структурных и функциональных схем выполняются принципиальные электрические схемы систем автоматического управления, которые, в свою очередь, служат основанием для разработки монтажных чертежей, схем подключений и соединений.

Однако для успешного познания сущности и содержания изучаемых различных видов систем автоматизации в учебном процессе следует использовать принципиальные электрические схемы систем автоматизации для выполнения на их основе структурных и функциональных схем с их описанием и вычерчиванием.

Используя принципиальную электрическую схему лабораторной установки (рис. 4.1), составим и начертим принципиальную электрическую схему системы автоматического регулирования (САР) уровня воды в напорном резервуаре (рис. 4.2).

Схема состоит из потенциометрического измерительного преобразователя R , чувствительным элементом которого является поплавков, его отклонение преобразуется в унифицированный аналоговый электрический сигнал, а также промежуточного электромагнитного реле KV , имеющего замыкающие контакты, и электродвигателя M насосной установки $HУ$. При достижении напряжения, снимаемого с потенциометра, до величины срабатывания электромагнитного реле KV и замыкании его контактов в цепи питания электродвигателя M происходит подключение электродвигателя к сети и срабатывание насосной установки подачи воды в верхний гидробак Б2 стенда. При этом потребляемая электродвигателем энергия определяется по ваттметру PW .

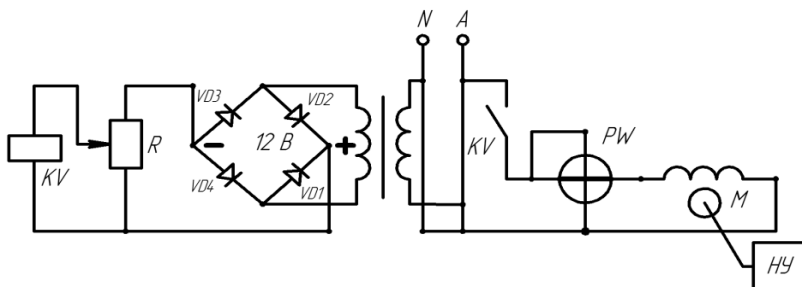


Рис. 4.2. Принципиальная электрическая схема системы автоматического регулирования (САР) уровня воды в напорном резервуаре

Структурная схема автоматического регулирования САР по уровню с замкнутым контуром регулирования и с регулированием по отклонению представлена на рис. 4.3.

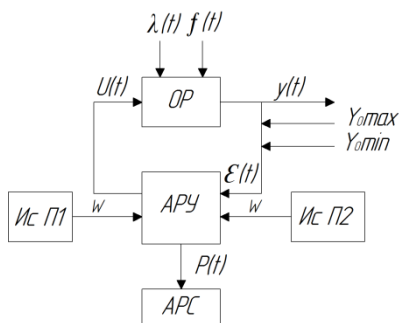


Рис. 4.3. Структурная схема САР с регулированием по уровню:
 ОР – объект регулирования; АРУ – автоматический регулятор управления;
 АРС – автоматический регулятор сигнализации; $\lambda(t)$ – нагрузка; $f(t)$ – помеха;
 $y(t)$ – параметр управления (параметр состояния объекта регулирования);
 $u(t)$ – управляющее воздействие; $Y_{0\max(0\min)}$ – задаваемое максимальное
 (минимальное) значение параметра управления; $\varepsilon(t)$ – управляющий сигнал;
 $P(t)$ – входной параметр АРС; Ис П1, Ис П2 – источники питания;
 W – энергия источников питания

Объектом исследования в данной лабораторной работе является САР с регулированием по уровню. Объектом регулирования ОР служит верхний гидробак стенда Б2, имитирующий водонапорную башню. При открытии вентиля В6 вода начинает перетекать из верхнего бака Б2 в нижний Б1, тем самым имитируется процесс забора воды из водопроводной башни потребителем. Процесс подачи воды в верхний бак Б2 механизирован, так как для этого используется насосная установка. Таким образом, основными устройствами объекта регулирования являются верхний гидробак (водонапорная башня) и насосная установка, в состав которой входит однофазный электродвигатель М переменного тока номинальной мощностью 1,1 кВт, насос подачи воды «Джамбо 70/50-Н», запорная арматура и контрольно-измерительные приборы.

Применение в обратной связи объекта регулирования ОР автоматического регулятора управления АРУ позволяет автоматизировать процесс управления. В состав АРУ входит потенциометрический измери-

тельный преобразователь поплавкового типа R , установленный в верхнем баке Б2, и электромагнитное реле КV, имеющее замыкающие контакты в цепи питания электродвигателя.

Все воздействия, приложенные к элементам системы, разделяются на внешние и внутренние. Внешние воздействия, называемые также входными величинами, в свою очередь, делятся на возмущающие: $\lambda(t)$ – нагрузка, $f(t)$ – помеха и задающие; $x(t)$ – параметр управления. Одним возмущающим воздействием является $\lambda(t)$ – нагрузка, которой служит расход воды $Q_p(t)$ из напорного резервуара (бака Б2). Расход воды возникает тогда, когда потребитель начинает обеспечивать свои потребности в воде. Вторым возмущающим воздействием является $f(t)$ – помеха, в состав которой входит несколько физических параметров, характеризующих внешнюю окружающую среду объекта регулирования, а также физические параметры, которые определяют конструкцию объекта регулирования, насосной установки, запорной арматуры и водонапорной распределительной системы.

Выходным параметром АРУ $y(t)$ является уровень воды $H(t)$. Изменение текущего значения уровня воды $H(t)$ контролируется потенциометрическим измерительным преобразователем R поплавкового типа в пределах

$$X_{0\max} = H_{\max} \text{ и } X_{0\min} = H_{\min}, \quad (4.3)$$

что соответствует конечному $V_{\text{кон}}$ и начальному $V_{\text{нач}}$ расходу воды через расходомер РА.

Так как к системе приложена одна входная величина, а регулирование осуществляется по одной выходной регулируемой величине, то такую САР называют одномерной. На основе анализа устройства и рабочего процесса САР уровня воды в напорном резервуаре устанавливается, что в данной САР реализуется принцип управления (регулирования) по отклонению (принцип Ползунова). Он предполагает, что управляющее воздействие $U(t)$ в автоматической системе вырабатывается с учетом информации об отклонении управляемой величины от заданного значения. При этом необходимо измерить значение управляемой величины, сравнить его с требуемым и определить отклонение $\varepsilon(t)$.

Принцип управления (регулирования) по отклонению универсален. Он характерен не только для технических, но и для биологических систем. Преимуществом принципа управления (регулирования) 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 $U(t)$ формируется только после того, как возникает ошибка $\varepsilon(t)$ в выражении алгоритма функционирования системы. При использовании этого принципа нельзя добиться высокой точности регулирования.

Характерная черта автоматических систем, использующих принцип управления (регулирования) по отклонению – наличие обратной связи. Обратная связь – связь, соединяющая выход системы с ее входом в виде непрерывного замкнутого контура. По обратной связи информация с выхода системы передается на ее вход. Она измеряет ошибку управления и формирует управляющее воздействие $U(t)$. В рассматриваемой САР обратная связь является отрицательной, поскольку ошибка управления представляет собой разность между заданным и текущим значением управляемой величины, а управляющее воздействие $U(t)$ представляет собой электрический сигнал в виде напряжения, подаваемого на электродвигатель насосной установки.

Источником питания $И_c П_1$ служит однофазная сеть переменного тока напряжением $U_\phi = 220$ В для электродвигателя, а источником питания $И_c П_2$ – понижающий трансформатор и выпрямительный мост для потенциометрического измерительного преобразователя R и электромагнитного реле KV .

Контрольные вопросы

1. Объяснить работу принципиальной электрической схемы установки.
2. Описать назначение, устройство и преимущества системы автоматического регулирования по уровню.
3. Описать структурную схему системы автоматизации.
4. Пояснить достоинства и недостатки принципа управления (регулирования) по отклонению (ошибке).
5. Какие устройства входят в состав объекта регулирования и регулятора?
6. По какому параметру осуществляется регулировка?
7. Какие возмущающие и управляющие воздействия действуют на САР?
8. Пояснить графическую зависимость энергии, потребляемой САР от расхода воды.

Лабораторная работа 5. ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПО ДАВЛЕНИЮ

Цель работы: 1) изучить назначение, устройство, принцип действия системы автоматического регулирования (САР) с регулированием по давлению воды в резервуаре;

2) освоить экспериментальные исследования системы автоматического регулирования по давлению.

5.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте расположена лабораторная установка стенда НТЦ-46 «Автоматизация в водоснабжении и водоотведении», в которой объектом исследования является давление воды в пневматическом баке (резервуар с водой) с указанием уровня воды (1 дел = 4,6 мм = 1 л) и насосная установка, включающая центробежный насос с приводным однофазным электродвигателем, являющаяся исполнительным механизмом.

Средствами исследования являются манометр МН типа СВ-15Г с пределом измерения 1 МПа, скоростной расходомер РА типа СВ-15Г ($Q_n = 1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$), электронный секундомер, ваттметр PW (1 дел = 100 Вт).

5.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические сведения по системам автоматического регулирования по давлению.

2. Ознакомиться с техническими средствами автоматизации, входящими в объект регулирования и регулятора.

3. Собрать электрическую схему лабораторной установки (с ее проверкой) для снятия верхнего $P_{в. i}$ и нижнего $P_{н. i}$ порогов срабатывания реле давления, времени работы насосной установки при i -м срабатывании $t_{р. i}$, показаний расходомера: начального $V_{нач. i}$ и конечного $V_{кон. i}$, потребляемой мощности электродвигателя $P_{дв. i}$.

4. Определить исходные данные и рассчитать необходимые величины: объем пневматического бака $V_{б. i}$, среднее значение объема бака, заполняемого водой $V_{б. ср}$, средние пороговые значения давлений $P_{в. ср}$ и $P_{н. ср}$, продолжительность опыта $t_{оп}$, средний расход воды $Q_{ср}$ и потребляемую в течение опыта энергию A .

5. Построить по результатам вычислений графическую зависимость $A = f(Q_{cp})$ с ее анализом.

6. Построить на основе принципиальной электрической схемы структурную схему системы автоматизации.

5.3. Рабочее задание

1. Начертить принципиальную электрическую схему лабораторной установки (рис. 5.1) и табл. 5.1 и 5.2 результатов опытов (измерений и вычислений). Записать характеристики и паспортные величины объекта и средств исследования.

2. Собрать цепь в соответствии со схемой (рис. 5.1) с использованием монтажных проводников и подсоединить ее к стенду с фазным напряжением 220 В (на схеме монтажные проводники для соединения контактных зажимов изображены утолщенной линией).

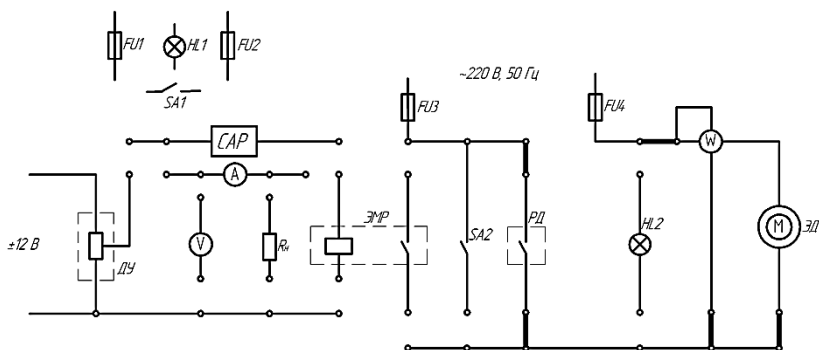


Рис. 5.1. Электрическая схема лабораторной установки для исследования характеристик САР с регулированием по давлению

3. Перед снятием любой экспериментальной точки необходимо выполнить следующее. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В2, В3 и В5 (закрытие вентиля осуществляется путем вращения маховика управления по часовой стрелке), а вентили В4 и В6 необходимо полностью открыть вращением маховика управления против часовой стрелки, при этом управлении вентилями рекомендуется не прикладывать больших усилий. В открытом положении рукоятка вентиля В6 должна быть установлена параллельно оси трубопровода.

Включить установку в сеть с помощью выключателя SA1 «Сеть», а выключателем, расположенным на электродвигателе, включить насос. При проведении опытов насосная установка будет работать в автоматическом режиме и насос начнет подавать воду в пневматический бак. При этом необходимо в каждом опыте по манометру МП фиксировать давление $P_{в. i}$ (верхнее), при котором отключается насосная установка, а также показание расходомера $V_{нач. i}$. Затем следует приоткрыть вентиль В2, при этом начнется процесс опорожнения пневматического бака ПБ в верхний бак и давление будет уменьшаться (необходимо следить за ним по манометру МП). При достижении давления нижнего порога срабатывания реле давления $P_{н. i}$ насосная установка включится. В момент включения насосной установки необходимо зафиксировать $P_{н. i}$, а также показание расходомера $V_{кон. i}$. Результаты измерений каждого опыта занести в табл. 5.1. Опыты необходимо повторить трижды.

Таблица 5.1. Результаты опытов по определению параметров регулирования по давлению

Номер опыта	Пороговые значения давлений, МПа		Показания расходомера, м ³		Объем пневматического бака, заполняемого водой, м ³	Среднее значение объема, м ³	Средние пороговые значения давлений, МПа	
	$P_{в. i}$	$P_{н. i}$	$V_{нач. i}$	$V_{кон. i}$	$V_{б. i}$	$V_{б. ср}$	$P_{в. ср}$	$P_{н. ср}$
1								
2								
3								

После проведения всех измерений необходимо отключить питание стенда выключателем SA1 «Сеть» и снять перемычки со штекерами (монтажные проводники) с модуля электрического управления.

Для каждого опыта необходимо определить (обработать результаты исследований):

- объем пневматического бака, заполненного водой,

$$V_{б. i} = V_{кон. i} - V_{нач. i}; \quad (5.1)$$

- среднее значение объема бака, заполненного водой,

$$V_{б. ср} = \frac{\sum_{i=1}^3 V_{б. i}}{3}; \quad (5.2)$$

- средние арифметические значения давления верхнего $P_{в. ср}$ и нижнего $P_{н. ср}$ порогов срабатывания реле давления

$$P_{в. ср} = \frac{\sum_{i=1}^{i=3} P_{в. i}}{3} \quad P_{н. ср} = \frac{\sum_{i=1}^{i=3} P_{н. i}}{3} \quad (5.3)$$

где $P_{в. i}$, $P_{н. i}$ – соответственно пороговые значения верхнего и нижнего порогов срабатывания реле давления каждого опыта;

- допустимую погрешность измерения давления манометром

$$\delta = \frac{k \cdot P_{пр}}{100}, \quad (5.4)$$

где $k = 1,5$ – класс точности манометра;

$P_{пр} = 1$ МПа – верхний предел измерения давления манометром.

4. Провести два опыта при пяти срабатываниях насосной установки в каждом опыте и при различных степенях открытия вентиля В2. В первом опыте вентиль В2 необходимо полностью открыть вращением маховика управления против часовой стрелки.

Включить установку в сеть с помощью выключателя SA1 «Сеть», а выключателем SA2 включить насос. При этом необходимо в каждом опыте зафиксировать начальные показания скоростного расходомера РА $V_{нач. i}$. При проведении опытов насосная установка будет работать в автоматическом режиме, и насос начнет подавать воду в пневматический бак и одновременно в верхний бак (к потребителям). Одновременно с включением насосной установки необходимо с помощью электронного секундомера начать отсчет времени. Опыт закончить в момент включения в шестой раз насосной установки. При этом следует, нажав кнопку «Счет», остановить секундомер и зафиксировать время опыта $t_{оп}$ и показания скоростного расходомера $V_{кон. i}$. Также при каждом срабатывании насосной установки необходимо, не останавливая секундомер, фиксировать время работы насосной установки $t_{р. i}$ и мощность, потребляемую электродвигателем при i -м срабатывании, $P_{дв. i}$ (показания ваттметра умножить на 100). Опыт повторить при частичном закрытии вентиля В2. Если при полностью открытом вентиле В2 насосная установка не отключается, то это означает, что сопротивление сети потребителей низкое и давление на выходе насоса ниже верхнего порогового срабатывания реле давления. При этом пневматический бак частично заполнен водой и опорожняется в верхний бак. Для достижения отключения насосной установки

необходимо прикрыть вентиль В2 и добиться заметного увеличения времени, на которое отключается насосная установка между двумя срабатываниями. При этом выполнить второй опыт. Результаты измерений каждого опыта занести в табл. 5.2.

Таблица 5.2. Результаты опытов по определению характеристик САР с регулированием по давлению

Номер опыта	i-й порядковый номер срабатывания насосной установки	Время работы насосной установки при i-м срабатывании $t_{p.i}, c$	Мощность, потребляемая электродвигателем $P_{дв.i}, Вт$	Показания расходомера, $м^3$		Продолжительность опыта $t_{оп}, c$	Средний расход воды, $м^3/c$	Энергия, потребляемая в течение опыта $A, кВт·ч$
				начальное $V_{нач.i}$	конечное $V_{кон.i}$			
1	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
2	1							
	2							
	3							
	4							
	5							

После проведения всех измерений необходимо отключить питание стенда выключателем SA1 «Сеть» и снять перемычки со штекерами (монтажные проводники) с модуля электрического управления.

Для каждого опыта необходимо определить (обработать результаты исследований):

- средний расход воды (расход, подаваемый насосом в бак Б2 равен потребляемому расходу)

$$Q_{cp} = \frac{V_{кон} - V_{нач}}{t_{оп}}; \quad (5.5)$$

- потребляемую в течение опыта энергию

$$A = \sum_{i=1}^5 P_{дв.i} \cdot t_{p.i}. \quad (5.6)$$

При вычислении A необходимо значение $P_{\text{дв. } i}$ подставлять в кВт, а $t_{\text{р. } i}$ – в часах.

Результаты вычислений занести в табл. 5.2, затем построить графическую зависимость $A = f(Q_{\text{ср}})$.

5.4. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы литературных источников: [3, с. 27–44; 5, с. 76–81; 9, с. 17–29; 16, с. 5–18; 17, с. 5–59; 18, с. 45–63; 19, с. 104–113; 20, с. 187–189; 21, с. 35–55, с. 192–211, с. 384–390, с. 417–426; 22, с. 166–174].

2. Записать основные положения по характеристикам средств входящих в систему автоматического регулирования по давлению.

3. Записать паспортные данные по объекту управления и средствам исследования.

4. Записать формулы для расчетов средних арифметических значений верхнего $P_{\text{в. ср}}$ и нижнего $P_{\text{н. ср}}$ порогов срабатывания реле давления, среднего расхода воды $Q_{\text{ср}}$, потребляемую в течение опыта энергию A , а также определить допустимую погрешность измерения манометром.

5.5. Основные сведения о назначении, устройстве и принципе действия системы автоматического регулирования (САР) с регулированием по давлению

Системы автоматического регулирования по уровню в водоснабжении применяются в основном в сельской местности при наличии водонапорной башни или другого аналогичного ей подобного резервуара. САР с регулированием по давлению находят применение в основном в городах или в водоснабжении отдельных потребителей.

Разработка любой из систем автоматизации начинается с выбора структуры управления, реализуемой посредством составления, а затем и вычерчивания структурной схемы. Далее разрабатывают функциональные схемы управления, являющиеся основным техническим документом и определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического управления, регулирования и контроля. На основе разработанных структурных и функциональных схем выполняются принципиальные электрические схемы систем автомати-

ческого управления, которые, в свою очередь, служат основанием для разработки монтажных чертежей, схем подключений и соединений.

Используя принципиальную электрическую схему лабораторной установки (рис. 5.1), составим и начертим принципиальную электрическую схему системы автоматического регулирования давления воды в напорном резервуаре (рис. 5.2).

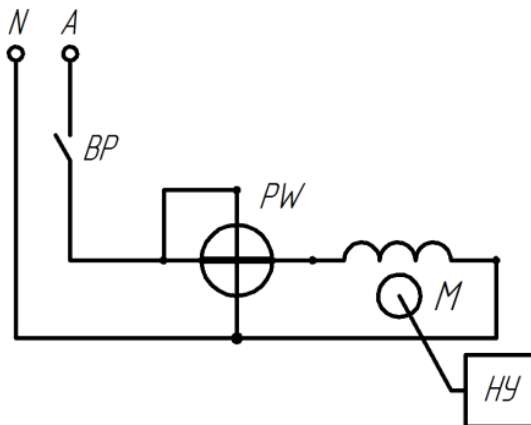


Рис. 5.2. Принципиальная электрическая схема системы автоматического регулирования (САР) давления воды в напорном резервуаре

Схема состоит из реле давления BP, имеющего первичный измерительный преобразователь мембранного типа с постоянно замкнутыми электроконтактами, которые подключают электродвигатель насосной установки при достижении нижнего порога срабатывания P_n и отключают его при достижении верхнего порога срабатывания P_v электродвигателя М насосной установки НУ. При замыкании контактов реле давления BP в цепи питания электродвигателя М происходит подключение электродвигателя к сети и срабатывание насосной установки НУ подачи воды в верхний гидробак Б2 стенда. При этом потребляемая электродвигателем энергия определяется по ваттметру PW.

Структурная схема автоматического регулирования САР с регулированием по давлению с замкнутым контуром регулирования и с регулированием по отклонению представлена на рис. 5.3.

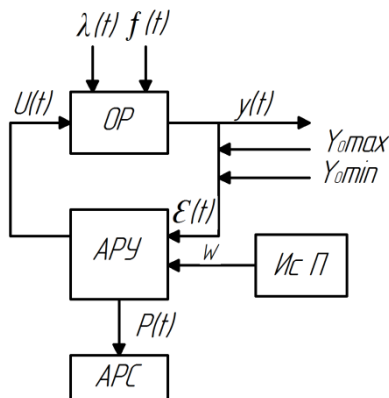


Рис. 5.3. Структурная схема автоматического регулирования САР с регулированием по давлению:

ОР – объект регулирования; АРУ – автоматический регулятор управления; АРС – автоматический регулятор сигнализации; $\lambda(t)$ – нагрузка; $f(t)$ – помеха; $y(t)$ – параметр управления (параметр состояния объекта регулирования); $u(t)$ – управляющее воздействие; $Y_{0\max}$ – задаваемое максимальное значение параметра управления; $Y_{0\min}$ – задаваемое минимальное значение параметра управления; $\varepsilon(t)$ – управляющий сигнал; $P(t)$ – входной параметр АРС; ИС П – источник питания; W – энергия источников питания

Объектом исследования в данной лабораторной работе является САР с регулированием по давлению. Объектом регулирования служит верхний гидробак стенда Б2, имитирующий пневматический водонапорный бак. При открытии вентиля В6 вода начинает перетекать из верхнего бака Б2 в нижний Б1, тем самым имитируется процесс забора воды из водопроводного резервуара потребителями. Процесс подачи воды в верхний бак Б2 механизирован, так как для этого используется насосная установка. Следовательно, основными устройствами объекта регулирования являются верхний гидробак (водонапорный резервуар) и насосная установка, в состав которой входит центробежный насос подачи воды «Джамбо 70/50-Н», однофазный электродвигатель М переменного тока, запорная арматура, контрольно-измерительные приборы.

Применение в обратной связи объекта регулирования ОР автоматического регулятора управления АРУ позволяет автоматизировать процесс управления. В состав АРУ входит реле давления ВР. Реле давления управляет контактами, замыкающими и размыкающими электрическую цепь управления электродвигателем насосной установки.

Все воздействия, приложенные к элементам системы автоматизации, разделяются на внешние (входные величины) и внутренние. Внешние воздействия, в свою очередь, делятся на возмущающие: нагрузка $\lambda(t)$, помеха $f(t)$ и задающие $y(t)$. Одним из возмущающих воздействий является нагрузка $\lambda(t)$, которой служит расход воды $Q_p(t)$ из бака Б2 (напорного резервуара). Расход воды возникает в том случае, когда потребитель начинает использовать свои потребности в воде. Вторым возмущающим воздействием является помеха $f(t)$, в состав которой входит несколько физических параметров, которые характеризуют конструкцию объекта регулирования, насосной установки, запорной арматуры и водонапорной распределительной системы, а также физические параметры окружающей среды.

Выходным параметром АРУ $y(t)$ является давление $P(t)$. Задающими воздействиями являются воздействия, направленные на регулирование верхнего и нижнего порогов срабатывания реле давления.

Изменение текущего значения давления воды $P(t)$ контролируется реле давления в пределах $Y_{0\max} = P_v$ и $Y_{0\min} = P_n$, что соответствует конечному $V_{\text{кон}}$ и $V_{\text{нач}}$ начальному расходу воды через расходомер РА.

Данная САР является одномерной, так как к системе приложена одна входная величина, а регулирование осуществляется по одной выходной регулируемой величине.

Анализируя устройство и рабочий процесс САР давления воды в напорном резервуаре, можно установить, что в ней реализуется принцип регулирования по отклонению (принцип Ползунова), который предполагает, что управляющее воздействие $U(t)$ в автоматической системе вырабатывается с учетом информации об отклонении управляемой величины от заданного значения. При этом необходимо измерить значение управляемой величины, сравнить его с требуемым и определить отклонение $\varepsilon(t)$, а затем осуществить управление.

Принцип управления (регулирования) по отклонению универсален, характерен не только для технических, но и для биологических систем. Достоинством принципа управления (регулирования) является то, что управляющее воздействие формируется независимо от того, какая причина вызвала отклонение регулируемой величины. Тогда нет необходимости анализировать возмущающие воздействия и выяснять, какое из них привело к отклонению. Недостатком регулирования по отклонению является то, что управляющее воздействие $U(t)$ формируется только после того, как возникает ошибка $\varepsilon(t)$ в выполнении алгоритма функционирования системы. При использовании этого принципа нельзя добиться высокой точности регулирования.

Характерной чертой автоматических систем, использующих принцип управления по отклонению, является наличие обратной связи. Обратная связь соединяет выход системы со входом в виде непрерывного замкнутого контура. По обратной связи информация с выхода системы передается на ее вход. Она измеряет ошибку управления $\varepsilon(t)$ и формирует управляющее воздействие $U(t)$. В рассматриваемой САР обратная связь является отрицательной, поскольку ошибка управления представляет собой разность между заданным и текущим значением управляемой величины, а управляющее воздействие $U(t)$ представляет собой электрический сигнал в виде напряжения, подаваемого на электродвигатель насосной установки.

Источником питания И_с П служит сеть переменного тока напряжением $U_{\phi} = 220$ В, частотой 50 Гц.

Пневматический бак представляет собой резервуар, разделенный 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 В2 и с помощью которого имеется возможность изменения сопротивления сети потребителя и имитируется система потребления воды.

Контрольные вопросы

1. Зарисовать и объяснить работу принципиальной электрической схемы установки.
2. Описать назначение, устройство и преимущества системы автоматического регулирования по давлению.
3. Описать структурную схему системы автоматизации.
4. Пояснить достоинства и недостатки принципа управления (регулирования) по отклонению (ошибке).
5. Какие устройства входят в состав объекта регулирования и регулятора?
6. По какому параметру осуществляется регулирование?
7. Какие возмущающие и управляющие воздействия действуют на САР?
8. Пояснить графическую зависимость энергии, потребляемой САР, от расхода воды.

Лабораторная работа 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОДАТЧИКОВ И ФОТОРЕЛЕ

Цель работы: 1) изучить назначение, устройство, принцип действия и характеристики фотодатчиков с внешним (фотоэмиссионным) и внутренним (фоторезистивным и фотогальваническим) фотоэффектом;

- 2) снять и построить вольтамперные характеристики фотоэлементов;
3) изучить устройство и работу фотореле.

6.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте расположен лабораторный стенд ЭС-6, который представляет собой металлический каркас, на лицевой панели которого размещены фотоэлементы, электроизмерительные приборы, потенциометры, выключатели и изображена электрическая схема (рис. 6.1).

Объектами исследования являются электронный фотоэлемент СЦВ-3 с сурьмяно-цезиевым катодом, ионный фотоэлемент ЦГ-3 с кислородно-цезиевым катодом, фоторезистор ФСК-1 со светочувствительным слоем из поликристаллического сульфида кадмия.

Напряжение на каждом фотоэлементе изменяется соответствующим потенциометром и фиксируется по вольтметру. Каждый фотоэлемент имеет индивидуальный источник света, который включается определенным переключателем.

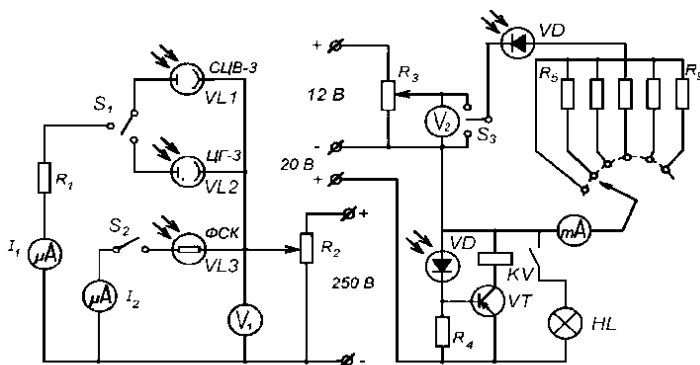


Рис. 6.1. Принципиальная электрическая схема лабораторного стенда

Средствами исследования служат вольтметр РV с пределом измерения 300 В, два амперметра РА с пределом измерения 100 мкА.

6.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические сведения по фотодатчикам с внешним и внутренним фотоэффектом, а также фотореле.
2. Ознакомиться с устройством и работой вакуумного и газонаполненного фотоэлементов, фоторезистора, фотодиода и фотореле.
3. Подготовить лабораторный стенд (с его проверкой) для экспериментальных исследований характеристик фотодатчиков с внешним и внутренним фотоэффектом.
4. Снять статические вольт-амперные характеристики $I = f(U)$ фотоэлементов СЦВ-3, ЦГ-3 и ФСК-1.

6.3. Рабочее задание

1. Начертить принципиальную электрическую схему лабораторного стенда (рис. 6.1). Записать характеристики и паспортные величины объектов и средств исследования.
2. Снять статические вольтамперные характеристики $I = f(U)$ фотоэлементов СЦВ-3, ЦГ-3 и ФСК-1. Статические характеристики следует снимать для каждого фотоэлемента при двух значениях светового потока Φ_1 и Φ_2 . Напряжение регулируется потенциометром R_2 и фиксируется вольтметром V_1 , а ток – микроамперметрами I_1 и I_2 . Для получения характеристики достаточно задать пять значений напряжения, включая нулевое.
3. Записать данные исследований для каждого фотоэлемента отдельно.

Таблица 6.1. Результаты опытов по определению статических характеристик фотоэлементов

Φ_1	U , В	0	50	100	150	200
	I , мкА					
Φ_2	U , В	0	50	100	150	200
	I , мкА					

4. Дополнить отчет по лабораторной работе понятиями внутренне-го и внешнего фотоэффекта, а также описать назначение, устройство и принцип действия электронного и ионного фотоэлементов, фоторези-

стора, фотодиода с вычерчиванием их схематического изображения, устройства и графиков характеристик (рис. 6.3, 6.5). Привести принципиальную электрическую схему фотореле (рис. 6.7).

6.4. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы литературных источников: [3, с. 60–72; 5, с. 31–33; 6, с. 350–367; 7, с. 63–68; 8; 23, с. 89–92; 24, с. 34–38; 25, с. 69–71].

2. Записать основные положения по назначению, устройству и принципу действия электронного и ионного фотоэлементов, фоторезистора, фотодиода и фотореле.

3. Записать паспортные данные средств исследования.

6.5. Виды фотоэффекта. Фотоэлементы и фотореле

Фотоэлектрическим прибором называется преобразователь лучистой энергии, благодаря которой изменяются электрические свойства вещества, находящегося в этом приборе.

Под лучистой понимают энергию электромагнитного излучения широкого диапазона частот, к которому относят ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучение с длиной волны от десятков нанометров до десятых долей миллиметра (видимое излучение лежит в диапазоне длин волн 0,38...0,7 мкм). Работа фотоэлектрических приборов основана на явлении фотоэффекта – внутреннего или внешнего.

Внутренним фотоэффектом называется возбуждение электронов вещества – переход их на более высокий энергетический уровень под действием излучения. Благодаря этому изменяются концентрация свободных носителей заряда и, соответственно, электрические свойства вещества. Внутренний фотоэффект наблюдается лишь в полупроводниках и диэлектриках. В металлах лучистая энергия оптического диапазона воздействует только на свободные электроны, их концентрация при освещении металла не изменяется, поэтому внутренний фотоэффект в них проявляется гораздо слабее, чем в полупроводниках.

Лучистая энергия излучается и поглощается веществом в виде квантов (фотонов) величиной $h\nu$, где $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка, ν – частота излучения.

У чистых полупроводников внутренний фотоэффект возникает в том случае, если энергия кванта превышает ширину запрещенной зоны

($h\nu > \Delta W_3$). При уменьшении частоты излучения наступает порог фотоэффекта ($\nu = \Delta W_3 / h$). Длину волны λ_0 , соответствующую частоте ν_0 , называют границей фотоэффекта. Например, для германия ($\Delta W = 0,67$ эВ) граница фотоэффекта лежит в инфракрасной области ($\lambda = 1,7$ мкм).

Различают два вида внутреннего фотоэффекта: фоторезистивный и вентильный. Фоторезистивный эффект состоит в изменении электрического сопротивления полупроводника под воздействием энергии электромагнитного излучения. Фоторезистивным эффектом обладают фоторезисторы (фотосопротивления), в них под действием света увеличивается количество свободных электронов, а следовательно, и электропроводность.

Фоторезистором (рис. 6.2) называется полупроводниковый прибор с внутренним фотоэффектом, в котором используется явление фотопроводимости. Впервые это явление было обнаружено у селена У. Смитом в 1873 г.

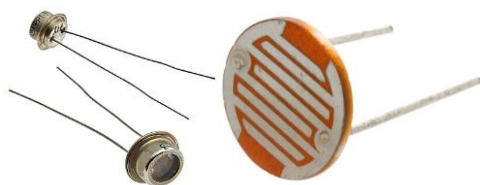


Рис. 6.2. Внешний вид фоторезистора

Сущность этого явления заключается в том, что при освещении некоторых полупроводников или диэлектриков электроны отдельных атомов кристаллической решетки вещества, приобретая достаточную по величине дополнительную энергию, отрываются от атомов и превращаются в электроны проводимости.

Так как проводимость полупроводников и диэлектриков обычно весьма мала, то появление в них электронов проводимости ведет к заметному повышению их проводимости, а следовательно, к уменьшению их сопротивления.

В фоторезисторах используются полупроводники, обладающие наиболее высокой фотопроводимостью. К ним относятся сульфиды, селениды и теллуриды таких металлов, как кадмий, висмут, свинец и

таллий, некоторые окислы, интерметаллические соединения, а также селен, германий и кремний.

Фоторезистор (рис. 6.3) представляет собой пластинку или пленку полупроводникового материала 2, которая закреплена на подложке 1 из стекла, керамики или кварца. Световой поток падает на фотоактивный материал через специальное отверстие в пластмассовом корпусе. В качестве электродов 3 используют металлы, не подвергающиеся коррозии (золото, платина) и обеспечивающие хороший контакт с полупроводником. Для защиты от внешних воздействий поверхность фотоактивного материала покрывают слоем прозрачного лака.

Если к неосвещенному фоторезистору (рис. 6.3, в) подключить источник питания E , то в электрической цепи появится небольшой ток, называемый темновым. Он обусловлен наличием в неосвещенном полупроводнике некоторого количества свободных носителей заряда.

При освещении фоторезистора ток в цепи сильно возрастает за счет увеличения концентрации свободных носителей заряда. Разность токов при наличии и отсутствии освещения называется световым током или фототоком. Он зависит от интенсивности освещения, значения приложенного напряжения, а также вида и размеров полупроводника, используемого в фоторезисторе. На значение фототока влияет также спектральный состав светового потока.

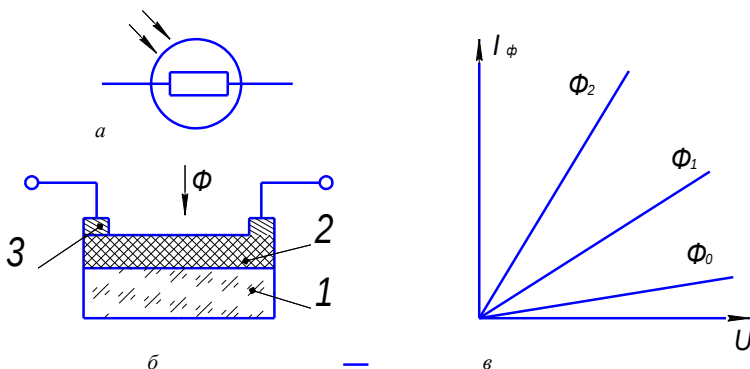


Рис. 6.3. Схематическое изображение (а), устройство (б) и вольтамперные характеристики (в) фоторезистора:

1 – подложка; 2 – пленка полупроводникового материала; 3 – электроды

Вольтамперные характеристики (зависимость $I_{\phi} = f(U)$ фототока от напряжения) большинства фоторезисторов линейны, однако в некоторых случаях, при повышении напряжения, линейность нарушается.

Фоторезисторы обладают значительной инерционностью, которая обусловлена временем генерации и рекомбинации электронов и дырок, происходящих при изменении освещенности фоторезистора. Время установления постоянного значения фотопроводимости называется временем фотоответа фоторезистора, которое определяет частотный диапазон его работы.

Другим видом внутреннего эффекта является фотогальванический (вентильный) эффект, сущность которого состоит в возникновении электродвижущей силы между двумя разнородными слоями полупроводника, обладающими электронной n и дырочной p проводимостями, под действием электромагнитного излучения. На этом принципе работают фотодиоды, фототриоды, фототиристоры.

Фотодиод – это приемник лучистой энергии, имеющий направленное движение носителей тока при воздействии светового потока. Фотодиод (рис. 6.4) может включаться в схему с внешним источником питания (фотопреобразовательный режим) и без него (генераторный режим). Вентильные элементы конструктивно аналогичны, отличаются лишь формой и размерами, исходным полупроводниковыми материалами и т. п.



Рис. 6.4. Внешний вид фотодиодов

Фотодиоды изготавливают из германия, кремния, селена, сернистого серебра, арсенида галлия, индия, сульфида калия и других полупроводниковых материалов.

В режиме фотогенератора используется фотогальванический эффект – разновидность внутреннего фотоэффекта, связанная с образованием разности потенциалов (фото-ЭДС) при освещении неоднород-

ного полупроводника. В этом случае фотодиод представляет собой фотогальванический элемент, преобразующий лучистую энергию в электрическую.

Фотодиоды (рис. 6.5, б), как и обычные полупроводниковые диоды, состоят из двух примесных полупроводников с различными типами электропроводности, на границе между которыми образуется p - n -переход. При отсутствии освещения и внешнего источника питания в области p - n -перехода, как и в любом полупроводниковом диоде, возникает потенциальный барьер. В области n возникает положительный объемный заряд, а в области p – отрицательный. Объемные заряды различных знаков появляются в результате диффузионного проникновения электронов из полупроводника n -типа в полупроводник p -типа, что обусловлено тепловым воздействием окружающей среды. Высота потенциального барьера равна контактной разности потенциалов и обычно составляет десятые доли вольта.

При падении светового потока на фотодиод фотоны, проходя в толщу полупроводника, сообщают части валентных электронов энергию, достаточную для перехода их в зону проводимости. В результате в обеих областях увеличивается число пар свободных носителей заряда – дырок и электронов.

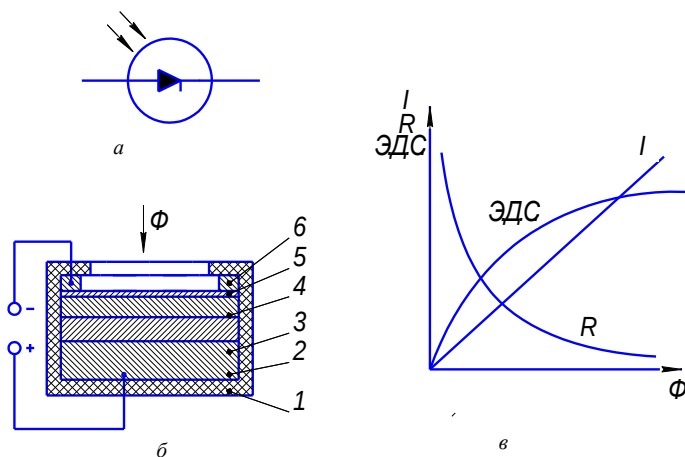


Рис. 6.5. Схематическое изображение (а), устройство (б) и характеристики (в) фотодиода: Φ – световой поток; I – ток короткого замыкания; R – сопротивление
1 – корпус; 2 – стальная пластинка; 3 – слой селена; 4 – запирающий слой;
5 – тонкий слой серебра или золота; 6 – контактное кольцо

Под действием контактной разности потенциалов и возникающего электрического поля p - n -перехода неосновные носители заряда n -области – дырки – переходят в p -область, а неосновные носители заряда p -области – электроны – в n -область. Таким образом, в n -области появляется избыточное число электронов, а в p -области – избыточное число дырок, что приводит к созданию на зажимах фотодиода при разомкнутой внешней цепи разности потенциалов, называемой фото-ЭДС. Предельно возможное значение фото-ЭДС. составляет десятые доли вольта. Например, у селеновых и кремниевых фотодиодов фото-ЭДС. достигает 0,5...0,6 В, у фотодиодов из арсенида галлия – 0,87 В.

Если замкнуть зажимы освещенного фотодиода через резистор, то в электрической цепи появится ток, обусловленный движением неосновных носителей заряда. Его значение зависит от фото-ЭДС. и сопротивления резистора. Максимальный ток при одной и той же освещенности фотодиода будет при коротком замыкании фотодиода (сопротивление резистора равно нулю). При этом энергетические характеристики $I_{\Phi} = f(\Phi)$ фототока почти линейны, фототок практически пропорционален потоку излучения (рис. 6.5, *в*). При сопротивлении резистора, не равном нулю, ток в цепи существенно снижается, энергетические характеристики становятся нелинейными, причем наклон их уменьшается с ростом сопротивления.

При больших световых потоках наступает насыщение и рост фото-ЭДС прекращается. Фотодиоды, работающие в режиме фотогенератора, часто применяются в качестве источников питания, преобразующих энергию солнечного излучения в электрическую. Они называются солнечными элементами и входят в состав солнечных батарей, которые широко используются в качестве источников питания как на космических аппаратах, так и в наземных устройствах. В последнем случае их коэффициент полезного действия невысок. Теоретически максимально допустимый КПД солнечных элементов составляет около 30 %. Важным техническим параметром солнечных элементов является отношение их выходной мощности к массе, которое достигает 200 Вт/кг.

Если к неосвещенному фотодиоду подключить источник напряжения, значение и полярность которого можно изменять, вольтамперные характеристики будут иметь такой же вид, как и у обычного полупроводникового диода. При освещении фотодиода существенно изменяется лишь обратная ветвь вольтамперной характеристики, прямые же

ветви при сравнительно небольших значениях напряжения практически совпадают.

Режим фотопреобразователя соответствует подаче напряжения на фотодиод в запирающем направлении. При этом фотодиод подключают к источнику питания так, чтобы полярность источника не совпадала с полярностью основных носителей заряда областей n и p .

Для значительного увеличения чувствительности вентильных фотоэлементов применяют германиевые или кремниевые фототранзисторы (рис. 6.6), которые под действием лучистой энергии усиливают фототок. Трехслойная структура фототранзисторов (эмиттер-база-коллектор) подобна структуре обычных плоскостных или диффузионных транзисторов. Конструктивно фототранзистор представляет собой полупроводниковую пластину с тремя чередующимися p - n - p -областями проводимостей. Под действием света в базовой области образуются пары электрон-дырка, которые под влиянием электрического поля диффундируют в эмиттерную и коллекторную части триода. В результате создается ток, проходящий через эмиттерно-базовый переход, который усиливает ток коллектора. С помощью фототранзистора можно управлять не только световым потоком, но и электрическим сигналом.

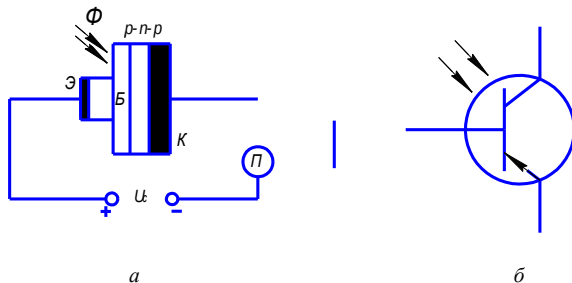


Рис. 6.6. Фототранзистор:
а – устройство; б – схематичное изображение

Фототиристор является полупроводниковым прибором, который сочетает в себе положительные свойства тиристора и преобразователя оптической энергии в электрическую. Принцип действия фототиристора аналогичен принципу действия фототранзистора.

Явление фотоэлектронной эмиссии объясняет внешний фотоэффект – выход электронов за пределы поверхности вещества под дей-

ствием электромагнитного излучения и используется в электровакуумных фотоэлементах. Электроны вещества, поглощающего излучение, могут получить дополнительную энергию, достаточную для преодоления потенциального барьера на границе между веществом и окружающей средой. Энергия, необходимая для преодоления сил, удерживающих электроны в веществе, характеризуется работой выхода $A_{\text{вых}}$, значение которой для многих материалов составляет единицы электронвольт. Оптическому диапазону соответствует энергия фотонов от сотых долей электронвольта до 10...20 эВ. Таким образом, световой поток может вызывать эмиссию электронов из различных материалов при определенной энергии фотонов, которая зависит от частоты излучения.

Условия возникновения фотоэлектронной эмиссии определяются законом Эйнштейна, который устанавливает связь между энергией фотона и энергией эмиттированного электрона. Аналитическое выражение закона Эйнштейна имеет следующий вид:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{(mv^2)}{2},$$

где m – масса электрона;

v – скорость эмиттированного электрона.

Из уравнения следует, что часть энергии фотона $A_{\text{вых}}$ расходуется на работу выхода электрона, а оставшейся частью энергии будет обладать эмиттированный электрон. Таким образом, кинетическая энергия эмиттированного электрона пропорциональна частоте излучения ν и не зависит от светового потока. Если энергия фотона, переданная электрону, окажется равной работе выхода, то соответствующая частота излучения называется порогом внешнего фотоэффекта и обозначается ν_0 . При частоте излучения, меньшей ν_0 , фотоэлектронная эмиссия отсутствует. Длину волны, соответствующую ν_0 , называют красной границей внешнего фотоэффекта, так как для многих материалов она лежит в области длинных волн видимой части спектра излучения.

Фотоэлектронную эмиссию характеризует также закон Столетова, согласно которому поток электронов, эмиттируемых в единицу времени веществом под действием светового излучения, пропорционален световому потоку. Закон Столетова справедлив при условии, что спектральный состав светового потока с изменением его значения остается неизменным.

Явление фотоэлектронной эмиссии используется в электровакуумных фотоэлементах, представляющих собой электровакуумные

приборы с фотоэлектронным катодом. В зависимости от степени разрежения и состава газа электровакуумные фотоэлементы делятся на электронные и ионные.

Электронный фотоэлемент представляет собой электровакуумный прибор, два электрода которого – катод и анод – помещены в стеклянную колбу. В колбе фотоэлемента создается вакуум.

Катодом является тонкий слой светочувствительного материала, нанесенного на внутреннюю поверхность колбы. Площадь катода достигает нескольких квадратных сантиметров. Фотокатоды изготавливают из материалов, являющихся эффективными эмиттерами электронов при их освещении. Обычно применяют серебряно-кислородно-цезиевые, сурмяно-цезиевые и многощелочные фотокатоды. В фотоэлементах, предназначенных для работы в области ультрафиолетового излучения, иногда применяют сурмяно-калиевые фотокатоды.

Анод фотоэлемента выполняют из никеля в виде проволочного кольца или тонкой металлической сетки, что позволяет свободно пропускать световой поток на катод. Выводы катода и анода выполняют в одном или двух разнесенных цоколях.

Фотоэлемент начинает работать при воздействии светового потока и подаче напряжения на его выводы. При малых значениях напряжения на вольтамперной характеристике ток интенсивно растет. Это объясняется тем, что при близких к нулю напряжениях лишь небольшая часть эмиттированных фотокатодом электронов попадает на анод, площадь которого очень мала по сравнению с катодом. С повышением анодного напряжения все большее число свободных электронов, находящихся в колбе, стягивается к аноду. По мере нарастания напряжения этот процесс происходит очень интенсивно, что и обуславливает крутой подъем характеристики. В режиме работы фотоэлемента, соответствующем точке перегиба характеристики, все электроны достигают анода. Наступает режим насыщения, который является рабочим режимом фотоэлемента. Значение рабочих напряжений для разных типов фотоэлементов лежит в диапазоне 90...240 В.

Электронные фотоэлементы могут работать при температурах не выше 50...90 °С, в противном случае через фотоэлемент проходит значительный ток термоэлектронной эмиссии.

В ионных фотоэлементах используются свойства темного газового разряда. Их устройство аналогично электронным фотоэлементам, однако после откачки воздуха в колбу вводят инертный газ, обычно аргон. В ионных фотоэлементах применяются такие же катоды, как и в электронных.

Благодаря введению инертного газа в фотоэлемент его чувствительность повышается в несколько раз по сравнению с чувствительностью соответствующего электронного фотоэлемента, что связано с возникновением темного разряда. Возникающие при этом вторичные электроны приводят к увеличению тока. Это явление носит название газового усиления и характеризуется коэффициентом газового усиления K_r , равным отношению фототока ионного фотоэлемента к фототоку электронного фотоэлемента $K_r = I_n / I_e$. Коэффициент газового усиления фотоэлементов достигает 6...10.

При малых анодных напряжениях (до наступления темного разряда) фототок и начальные участки вольтамперных характеристик примерно такие же, как у электронных фотоэлементов. После начала ионизации газа (потенциал ионизации аргона равен 15,1 эВ) ток быстро возрастает. Рабочие участки вольтамперных характеристик ионных фотоэлементов лежат справа от горизонтальных участков. При слишком больших анодных напряжениях темный разряд может перейти в тлеющий и катод, не рассчитанный на такие токи, может выйти из строя. Для предотвращения тлеющего разряда рабочее анодное напряжение должно быть меньше напряжения возникновения разряда. Для разных типов фотоэлементов рабочее напряжение составляет 80...240 В.

Фотореле (рис. 6.7) как средство автоматики широко используется в промышленности и сельском хозяйстве в качестве устройств автоматического отключения и включения уличного освещения, автоматических сигнализаторов дымности воздуха и мутности воды, устройств контроля пламени в топках котлов, а также в различных защитных устройствах.

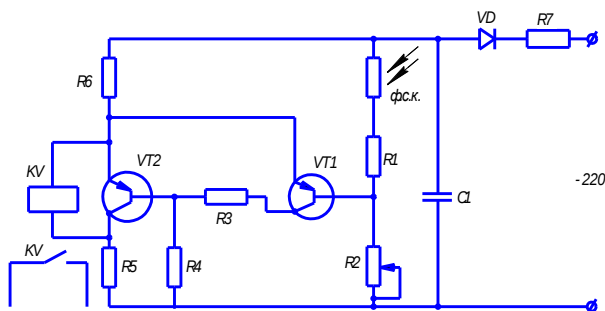


Рис. 6.7. Схема фотореле

Принцип действия фотореле основан на преобразовании светового потока в электрический сигнал. Оно состоит из фотодатчика, электронного усилителя и слаботочного реле, являющегося выходным регулирующим (сигнализирующим) устройством.

Усилитель и слаботочное реле конструктивно выполняют в виде отдельного блока, к входным зажимам которого дистанционно подключается блок фотодатчика, устанавливаемый непосредственно на объекте контроля. В качестве фотодатчика используют один из выше-рассмотренных фотоэлементов.

Реле работает следующим образом. При уменьшении освещенности сопротивление датчика (фоторезистора ФСК-1) увеличивается. Увеличение сопротивления датчика приводит к уменьшению тока базы транзистора VT1. При этом транзисторы VT1 и VT2 закрываются, в результате возрастает напряжение на участке эмиттер-коллектор транзистора VT2, параллельно которому включена катушка реле KV. Реле срабатывает и своими контактами включает в цепи освещение. При увеличении освещенности процессы в фотореле происходят в обратном порядке.

Контрольные вопросы

1. Объяснить устройство и принцип действия фоторезистора.
2. Объяснить устройство и принцип действия фотодиода.
3. Объяснить устройство и принцип действия электронного фотоэлемента.
4. Объяснить устройство и принцип действия ионного фотоэлемента.
5. Какие явления лежат в основе работы фотоэлементов?
6. Объяснить характер изменения вольтамперных характеристик фотоэлементов.
7. Объяснить устройство и принцип действия фотореле.
8. Каким образом можно использовать схему фотореле для управления наружным освещением?

Лабораторная работа 7. ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ

Цель работы: изучить назначение, устройство и принцип действия измерительных преобразователей (ИП) температуры и системы автоматического регулирования (САР) температуры воды.

7.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте расположен лабораторный стенд с измерительными преобразователями и регуляторами температуры, система автоматического регулирования (САР) температуры воды.

7.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить назначение, устройство и принцип действия ИП и системы автоматики. Усвоить правила пуска, остановки и настройки системы автоматики на необходимый температурный режим работы.

2. Установить пределы регулирования температуры воды (по указанию преподавателя), включить водонагреватель в работу, зафиксировать температуру воды в момент включения и через каждые 5 мин его работы. Построить график зависимости изменения температуры воды от времени ее нагрева $\theta_{\text{вод}} = f(t)$.

3. Составить отчет по лабораторной работе, в котором необходимо кратко описать назначение, устройство и принцип действия контактного термометра, термопары, металлического и полупроводникового термометров сопротивления, термометра манометрического сигнализирующего с вычерчиванием необходимых схем (рис. 7.2, 7.3, 7.4).

4. Вычертить схему системы автоматического регулирования температуры воды в электроводонагревателе (рис. 7.6) с пояснением ее устройства и принципа работы.

7.3. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы литературных источников: [5, с. 31–33; 6, с. 350–387; 7, с. 60–72; 8; 23, с. 23–26; 26, с. 201–209; 27, с. 93–99; 28, с. 62–71].

2. Записать основные положения по назначению, устройству и принципу действия контактного термометра, термопары, металлического и полупроводникового термометров сопротивления, термометра манометрического сигнализирующего и их характеристикам.

3. Записать паспортные данные средств исследования.

7.4. Назначение, устройство, характеристики измерительных преобразователей температуры. Система автоматического регулирования температуры воды

Температура – это один из параметров состояния вещества. Она определяет не только характеристики тепловых процессов, от нее зависят многие физические свойства веществ, а также объектов производства. Поэтому температура является одним из важнейших параметров технологических процессов, в частности сельскохозяйственного производства, а ее автоматический контроль и регулирование в производственных условиях находят все более широкое применение.

Измерительные преобразователи и регуляторы температуры широко используются в САР температуры воды при ее нагревании для производственных целей, а также при нагревании воздуха в производственных и бытовых помещениях.

Широкое применение в САР температуры находят контактные термометры, биметаллические измерительные преобразователи, терморезисторы, термопары, а также регуляторы температуры типа ТСМ, ПТР и РТ.

В основу принципов измерения и преобразования температуры в другие физические параметры положены различные физические свойства материалов, находящихся в зоне действия температуры. Наиболее широко используются следующие физические явления: тепловое расширение, изменение давления газов, паров и жидкостей, изменение электрического сопротивления и термо-ЭДС.

Контактный термометр представляет собой стеклянный баллон (рис. 7.1), в котором расположены две шкалы. Верхняя шкала используется для настройки на заданную температуру, а нижняя – для измерения температуры.

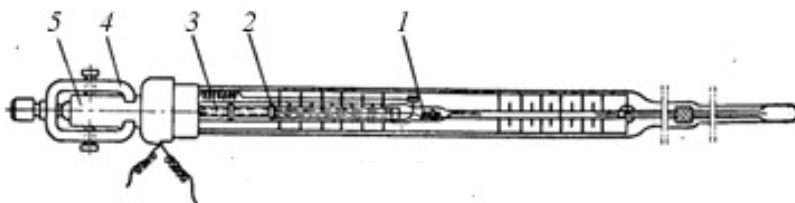


Рис. 7.1. Контактный термометр
1 – вольфрамовая проволока; 2 – овальная трубка; 3 – винт;
4 – магнит; 5 – колпачок

Внутри стеклянного баллона расположено контактное устройство в виде впаянных проводников. Один из них соединен с подвижным контактом – тонкой вольфрамовой проволокой 1, закрепленной на овальной гайке. Второй – неподвижный контакт – подведен ко ртути в нижней части термометра. Контактное устройство позволяет устанавливать заданное значение температуры. Верхняя часть баллона закрыта колпачком 5, на который надет постоянный магнит 4. При вращении магнит увлекает за собой стальной цилиндр, жестко соединенный с винтом 3. В результате винт 3 поворачивается, гайка перемещается по овальной трубке 2, подвижный контакт из вольфрамовой проволоки 1 перемещается ближе либо дальше по отношению к столбику ртути.

При достижении заданной температуры срабатывания ртутный столбик замыкает электрическую цепь между подвижным и неподвижным контактами.

Недостатками термометра являются его непрочность и весьма малые допустимые значения токов и напряжений (ток не должен превышать 0,5 мА, напряжение – не более 0,38 В). Поэтому для применения термометра в системах автоматики необходимо использовать дополнительные технические средства.

Термоэлектрические термометры (ТЭТ) – термопары широко применяются для измерения температур от минус 200 до плюс 2 500 °С в различных областях техники и научных исследованиях. Однако в области низких температур ТЭТ получили меньшее распространение, чем термометры сопротивления.

Термопара состоит из двух специально подобранных проволок, одни концы которых спаяны или сварены (рис. 7.2), а другие подключаются ко вторичному прибору. Если спаянный конец нагреть, то на свободных концах появляется термо-ЭДС, значение которой пропорцио-

нально разности температур нагретого и свободного концов и зависит от материала проволок (рис. 7.2, в). В качестве материалов используются благородные металлы: платина, иридий, золото и их сплавы, а также сталь, никель, хромель, копель, алюмель, константан и др.

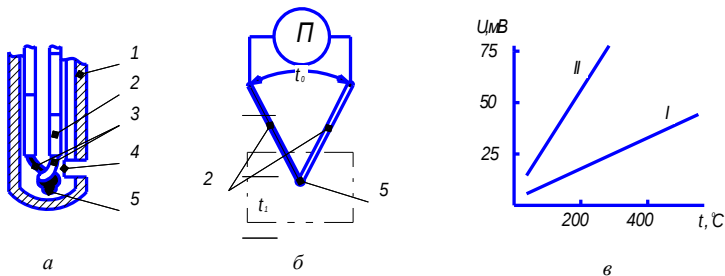


Рис. 7.2. Термопары и их характеристики:

а – конструкция; *б* – схема включения; *в* – характеристика хромель-копелевой (I) и карбидкремния-графитовой (II) термопар; 1 – защитный корпус; 2 – изоляционные керамические трубки; 3 – проволоки; 4 – окно; 5 – горячий спай

Большое распространение получили также полупроводниковые термопары. Если для металлов значение термо-ЭДС составляет всего $0,006 \dots 0,06$ мВ/°С (кривая I на рис. 7.2, в), то для полупроводниковых термопар оно достигает $0,1 \dots 1$ мВ/°С (кривая II), что обеспечивает их более высокую чувствительность.

Металлические термометры сопротивления (ТС) широко применяют для измерения температуры в интервале от минус 260 до плюс 750 °С, в отдельных случаях – до 1 100 °С.

Принцип действия ТС основан на свойстве металлов изменять свое электрическое сопротивление с изменением температуры. Электрическое сопротивление металла увеличивается с повышением температуры в связи с возрастающим рассеянием электронов проводимости на неоднородностях кристаллической решетки, обусловленным увеличением тепловых колебаний ионов около своих положений равновесия.

В качестве материалов для изготовления ТС используют только чистые металлы, в основном платину и медь, поскольку другие металлы и сплавы обладают меньшим значением температурного коэффициента сопротивления и недостаточной воспроизводимостью метрологических свойств.

Этим требованиям в широком интервале температур удовлетворяет платина, при невысоком верхнем пределе измеряемой температуры – медь. Платиновые термометры обозначают ТСП, медные – ТСМ.

Термометры сопротивления из чистых металлов изготавливают обычно в виде обмотки из тонкой проволоки диаметром от 0,05 до 0,1 мм на специальном каркасе из изоляционного материала. Эту обмотку называют чувствительным элементом ТС. В целях предохранения от возможных механических повреждений и воздействия контролируемой среды, чувствительный элемент термометра заключают в специальную защитную гильзу.

К числу достоинств ТС следует отнести: высокую степень точности измерения температуры; возможность выпуска измерительных приборов к ним со стандартной градуировкой шкалы; возможность централизованного контроля температуры путем присоединения нескольких взаимозаменяемых термометров сопротивления через переключатель к одному измерительному прибору; возможность использования их с информационно-вычислительными машинами.

Основными недостатками ТС являются: большие размеры, не позволяющие использовать их для измерения температуры в малых объемах, значительная инерционность (постоянная времени до нескольких минут), необходимость в постороннем источнике и учете сопротивления подводящих проводов.

Металлический термометр сопротивления (рис. 7.3, а) представляет собой защитную гильзу 1, изготовленную из нержавеющей стали, в которой расположен патрон 2 с чувствительным элементом в виде намотанной проволоки 6. Диаметр платиновой проволоки – 0,05...0,07 мм, медной – 0,1 мм. Проволока наматывается на каркас 3, изготовленный из диэлектрика. Чувствительный элемент закрыт с обеих сторон двумя пластинками 4 из диэлектрика и имеет выводы 5.

В полупроводниковых термометрах сопротивления (ПТС) в отличие от металлических наблюдается иная картина – число электронов проводимости резко возрастает с увеличением температуры. Поэтому электрическое сопротивление типичных полупроводников столь же резко (обычно по экспоненциальному закону) уменьшается при их нагревании. При этом температурный коэффициент электрического сопротивления (ТКС) полупроводников на порядок выше, чем у чистых металлов. ПТС с отрицательным ТКС называют термисторами, а с положительным – позисторами.

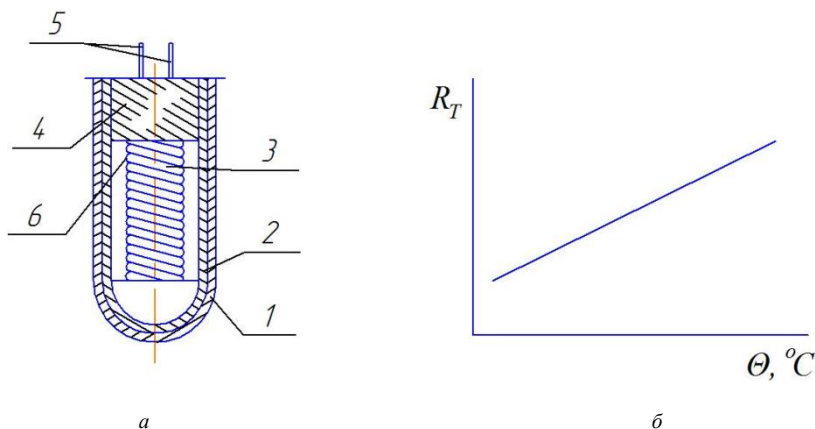


Рис. 7.3. Конструкция термометра сопротивления (а) и его характеристика (б):
1 – защитная гильза; 2 – металлический патрон; 3 – каркас; 4 – пластинка;
5 – выводы; 6 – проволока

Для изготовления чувствительных элементов термисторов, используемых для измерения температуры от минус 100 до плюс 300 °С применяют смеси различных полупроводниковых веществ. Форма и виды изготавливаемых термисторов разнообразны. Наиболее распространены видами их являются цилиндрические, шайбовые и бусиновые.

Полупроводниковые терморезисторы (рис. 7.4) имеют большую чувствительность. Их изготавливают из окислов меди, кадмия, никеля и других полупроводниковых материалов.

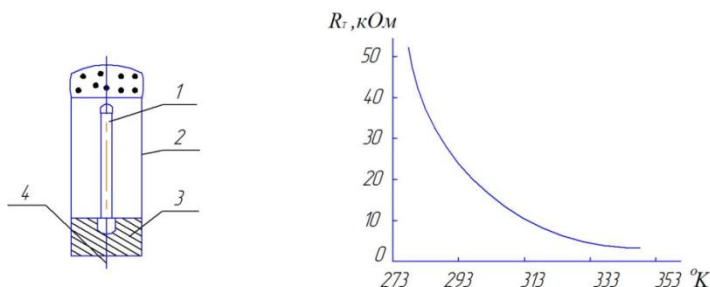


Рис. 7.4. Конструкция полупроводникового терморезистора сопротивления (термистора) и его характеристика: 1 – чувствительный элемент; 2 – защитный кожух;
3 – изоляционная колодка; 4 – выводы

Термисторы и позисторы применяются в системах автоматического регулирования температуры, в системах тепловой защиты и противопожарной сигнализации. Термисторы используются для измерения температуры в широком диапазоне, позисторы – как наиболее чувствительные – в ограниченном диапазоне температур.

Термометры манометрические сигнализирующие (термометрические сигнализаторы) типа ТСМ-100 и ТСМ-200 используются для измерения температуры в пределах 0...100 и 0...200 °С.

Термометрический сигнализатор представляет собой парожидкостный манометрический дистанционный термометр с электроконтактным устройством (рис. 7.5).

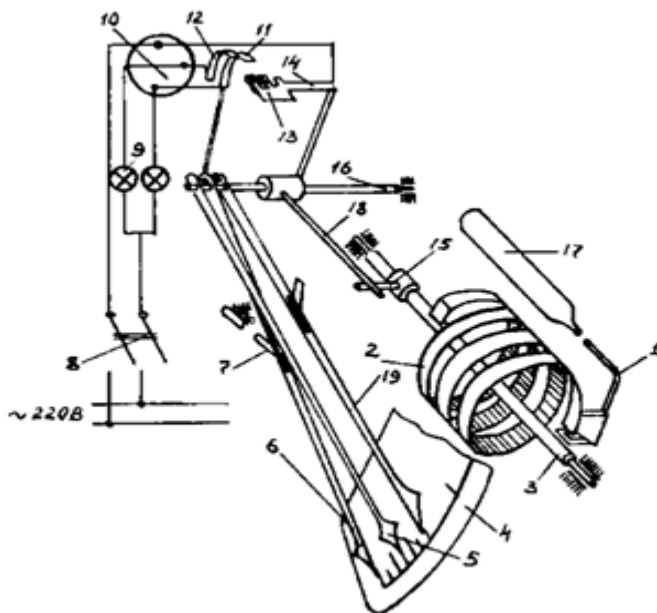


Рис. 7.5. Схема манометрического сигнализирующего термометра типа ТСМ
 1 – соединительная трубка; 2 – манометрическая пружина; 3 – ось; 4 – шкала;
 5 – указатель температуры (черный); 6 – указатель нижнего уровня (желтый);
 7, 15, 18 – поводки; 8 – выключатель; 9 – сигнальные лампочки; 10 – переходная
 колодка; 11 – ламель желтого указателя; 12 – ламель красного указателя;
 13 – контактные щетки; 14 – угольник; 16 – ось стрелки; 17 – термобаллон;
 19 – указатель верхнего уровня (красный)

Принцип действия ИП основан на зависимости между температурой и давлением насыщенных паров заполнителя (хлорметил в ТСМ-100 и ацетон в ТСМ-200). Заполнитель находится в герметически замкнутой системе, состоящей из термобаллона 17, соединительной трубки (дистанционного капилляра) 1 и манометрической пружины 2, имеющей внутреннюю полость.

Давление пара заполнителя действует на пружину 2, деформация которой через рычажное устройство 15 и 18 вызывает отклонение указателя температуры 5 черного цвета. Ось 16 жестко соединена со стрелкой 5 и контактами 13, которые скользят по контактам 11, 12. Каждый из контактов 11 и 12 соединен с желтым 6 и красным 19 указателями, которые принудительно перемещаются с помощью отдельного поводка 7 и устанавливаются на нужное значение температуры.

При повышении температуры перемещается черная стрелка 5 и происходит замыкание контактов 13 с контактами 11 и 12.

Элементами системы автоматического регулирования температуры воды в электроводонагревателе (рис. 7.6) являются термометрический сигнализатор ТСМ-100, реле напряжения KV1, KV2, автоматический выключатель QF, магнитный пускатель KM и нагревательные элементы EK.

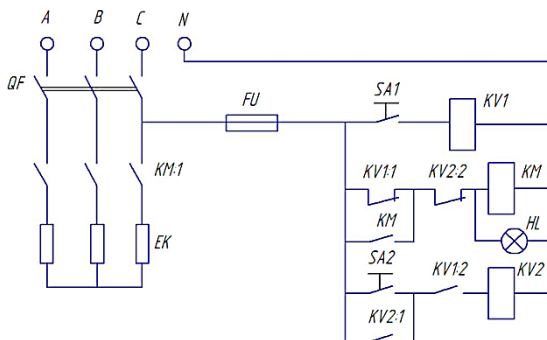


Рис. 7.6. Принципиальная электрическая схема системы автоматического регулирования температуры воды в электроводонагревателе

Объектом управления является водонагреватель типа ВЭТ-150М. Он представляет собой резервуар и наружный кожух, между которыми заложена минеральная вата для тепловой изоляции. Нагревательные элементы соединены по схеме «звезда».

При включении автоматического выключателя QF запитывается катушка магнитного пускателя KM, о чем сигнализирует лампа HL.

В результате его срабатывания замыкаются силовые контакты КМ:1 и вспомогательные КМ:2. Силовые контакты запитывают нагревательные элементы, а вспомогательные шунтируют контакты KV1:1 реле напряжения. В результате происходит нагревание воды. Термобаллон измерительного преобразователя TCM-100, погруженный в воду, также нагревается. В его герметичном объеме повышается давление и свободный конец манометрической пружины поворачивает указатель черного цвета.

При нагреве воды до температуры, соответствующей нижнему заданному уровню, черный указатель совпадает с желтым и замыкаются контакты SA1. Запитывается катушка реле KV1, которое срабатывает. Размыкающие его контакты KV1:1 размыкаются, а замыкающие KV1:2 замыкаются.

Нагревание воды продолжается и при достижении верхнего заданного значения температуры замыкаются контакты SA2. Черный указатель совпадает с красным, запитывается катушка KV2 реле напряжения. Замыкающие его контакты KV2:1 замыкаются, а размыкающие KV2:2 размыкаются. В результате этого обесточивается катушка КМ магнитного пускателя, который срабатывает. Размыкаются его силовые и вспомогательные контакты, обесточивая нагревательные элементы. Происходит остывание воды до температуры, при которой система автоматики снова вступает в работу.

Контрольные вопросы

1. Объяснить устройство и принцип действия контактного термометра.
2. Объяснить устройство и принцип действия термопары.
3. Объяснить устройство и принцип действия металлического и полупроводникового термометров сопротивления.
4. Объяснить устройство и принцип действия термометра манометрического сигнализирующего.
5. Объяснить устройство и принцип действия САР температуры воды.
6. Проанализировать работу системы автоматики и объяснить возникновение следующих неполадок:
 - температура нагрева воды достигает только нижнего заданного значения;
 - температура нагрева воды превышает максимальное заданное значение.
7. Какие функции в системе автоматики выполняет автоматический выключатель?

Лабораторная работа 8. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ КОММУТАЦИОННАЯ АППАРАТУРА

Цель работы: изучить назначение, устройство и принцип действия кнопок управления, автоматических выключателей, магнитных пускателей и электромагнитных реле.

8.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте расположена лабораторная установка, которая представляет собой панель с размещенным на ней набором электромагнитных реле, сигнальными лампами, измерительными приборами, лабораторным автотрансформатором (ЛАТРом) и гнездами, которые соединены с выводами обмоток реле и их контактами. На левой стороне панели размещены реле постоянного тока, а на правой – переменного тока.

Сборка электрических цепей производится с помощью проводов согласно принципиальным электрическим схемам, приведенным на рис. 8.1 и 8.2.

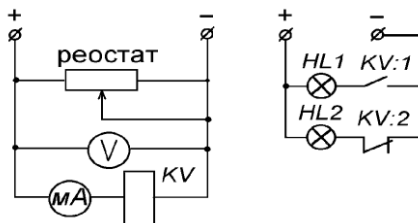


Рис. 8.1. Принципиальная электрическая схема испытания реле постоянного тока

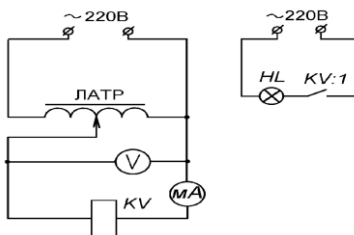


Рис. 8.2. Принципиальная электрическая схема испытания реле переменного тока

8.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить назначение, устройство и принцип действия кнопок управления, автоматических выключателей, магнитных пускателей и электромагнитных реле.

2. Выполнить монтаж схем включения реле постоянного и переменного тока согласно принципиальным электрическим схемам.

3. Включить реле в работу и определить их параметры (напряжение, ток срабатывания и отпускания) в трехкратной повторности. Параметры срабатывания необходимо фиксировать при увеличении напряжения на катушке реле в момент его срабатывания, что соответствует замыканию контактов и загоранию сигнальной лампы. Параметры отпускания фиксируются при уменьшении напряжения в момент размыкания контактов реле (сигнальная лампа гаснет).

4. Составить отчет по лабораторной работе, в котором необходимо кратко описать назначение, устройство и принцип действия кнопок управления, автоматических выключателей, магнитных пускателей и электромагнитных реле постоянного и переменного тока с вычерчиванием необходимых схем (рис. 8.8, 8.9, 8.10), а также указать основные параметры и характеристики электромагнитных реле.

8.3. Подготовка к выполнению рабочего задания.

1. Изучить необходимые разделы литературных источников: [5, с. 79–81; 16, с. 49–63; 17, с. 52–59; 21, с. 109–113; 23, с. 37–44; 26, с. 51–68].

2. Записать основные положения по назначению, устройству и принципу действия кнопок управления, автоматических выключателей, магнитных пускателей и электромагнитных реле.

3. Записать паспортные данные по объекту управления и средствам исследования.

8.4. Электрические коммутационные устройства

Электрические коммутационные устройства обеспечивают коммутацию (включение, выключение) электрических цепей постоянного и переменного тока. К коммутационной аппаратуре относятся рубильники, переключатели, контакторы, магнитные пускатели, автоматические выключатели, реле, кнопки управления, конечные выключатели.

Кнопки управления представляют собой электрические аппараты, с помощью которых осуществляется коммутация цепей управления и сигнализации. Изделия позволяют вручную включать и отключать станки, насосное, вентиляционное и другое оборудование, а также изменять скорость, направление движения и другие рабочие параметры.

В состав кнопки управления (рис. 8.3) входят следующие узлы и детали: оголовок кнопки 1, подвижные 4 и неподвижные 3 контакты, возвратная пружина 2.

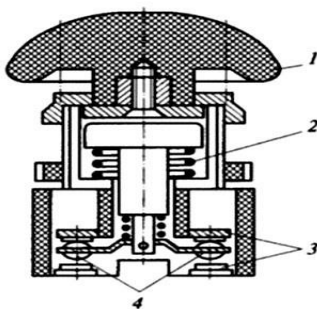


Рис. 8.3. Устройство кнопки управления:

1 – оголовок кнопки; 2 – возвратная пружина;
3 – неподвижные контакты; 4 – подвижные контакты

Давление на оголовок кнопки вызывает движение толкателя и замыкание или размыкание контактов. Если конструкция снабжена возвратной пружиной, кнопка возвращается в исходное положение. Другие модификации устройств предполагают фиксацию положения. Кнопочные оголовки имеют различную форму, а также могут быть оборудованы замками и сигнальными лампами.

Исполнение кнопок управления может быть различным. Так, выпускаются моноблочные и двухблочные модели; цилиндрические, грибовидные и прямоугольные изделия; варианты с функциями самовозврата и самофиксации, а также без них.

Цветовая маркировка и наличие соответствующих надписей на кнопках помогают обозначить и разграничить функции, за которые отвечают эти элементы управления.

Также кнопки управления различаются способом и степенью защиты. Открытые модели, монтирующиеся на панели или в пульты, не предполагают воздействия негативных внешних факторов. Исполне-

ние водо- и взрывозащищенных вариантов допускает эксплуатацию при повышенной влажности и во взрывоопасных средах. Кроме того, существуют изделия, оборудованные специальными кожухами, предохраняющими их от повреждений, а также защищающими оператора от прикосновения к токопроводящим частям.

Кнопки позволяют осуществлять управление на расстоянии, что помогает предотвратить травмы персонала, контролирующего движущиеся и другие опасные устройства.

Автоматические выключатели, называемые автоматами, предназначены для нечастого включения и отключения электрических цепей при нормальном режиме вручную, и для автоматического отключения поврежденной части электрической цепи при возникновении аварийного режима.

В зависимости от числа коммутируемых электрических цепей различают одно-, двух- и трехполюсные автоматы.

Промышленность выпускает автоматы, реагирующие на токи короткого замыкания и на длительные недопустимые перегрузки. От тока короткого замыкания защищает электромагнитный расцепитель, а защита установок от длительных перегрузок осуществляется тепловыми расцепителями.

В автоматическом выключателе с электромагнитным расцепителем максимального тока (рис. 8.4, *а*) по достижении током установленного предельного значения или короткого замыкания катушка 3 втягивает стальной сердечник 4 и освобождает защелку 2, которая под действием пружины 1 разрывает силовые контакты 5.

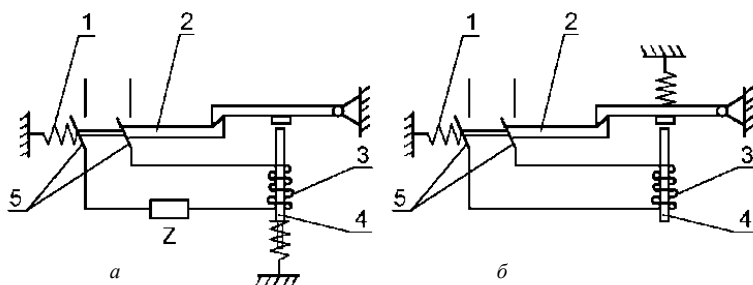


Рис. 8.4. Схемы действия электромагнитных расцепителей:

а – максимального тока; *б* – минимального напряжения;

1 – пружина; 2 – защелка; 3 – катушка; 4 – стальной сердечник; 5 – контакты

В автоматическом выключателе с электромагнитным расцепителем минимального (нулевого) напряжения или тока (рис. 8.4, б) катушка 3 удерживает сердечник 4 и связанную с ним защелку 2 до тех пор, пока напряжение сети, а следовательно, и ток в катушке не снизится до установившегося предельного значения (35 % и более) или исчезнет совсем, после чего сердечник 4 отпускается и защелка освобождает пружину 1. Под действием пружины 1 цепь силовых контактов 5 разрывается. Включение автоматического выключателя возможно при напряжении, не меньшем 80 % номинального. Электромагнитные расцепители срабатывают практически мгновенно – собственное время срабатывания составляет 0,02 до 0,03 с.

В автоматический выключатель встраиваются также электротепловые реле прямого действия, называемые тепловым расцепителем. Тепловой расцепитель действует так же, как и электротепловое реле электромагнитного пускателя (рис. 8.5). Ток, проходя по нагревательному элементу 4, нагревает биметаллическую пластину 3, которая снимает защелку 2 пружину 1 и тем самым производит отключение силовых контактов 5. В отличие от электротеплового реле электромагнитного пускателя, тепловой расцепитель автоматического выключателя имеет меньший зазор между биметаллической пластиной и механизмом отключения. Это уменьшает время срабатывания теплового расцепителя при больших токах.

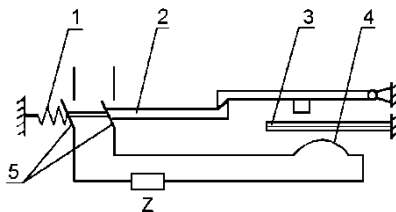


Рис. 8.5. Схема действия теплового расцепителя:
1 – пружина; 2 – защелка; 3 – биметаллическая пластина;
4 – нагревательный элемент; 5 – контакты

Тепловой расцепитель срабатывает с выдержкой времени, обратно зависимой от силы тока.

Магнитный пускатель (рис. 8.6) предназначен для автоматического или дистанционного управления электродвигателями и другими электроприемниками мощностью до 75 кВт.

Пускатель имеет две основные части – неподвижную и подвижную. Неподвижная часть представляет собой пластмассовое основание 4, на котором укреплены Ш-образный магнитопровод 3, силовые и вспомогательные контакты 5. Магнитопровод набран из большого количества изолированных друг от друга (для уменьшения потерь от вихревых токов) листов электротехнической стали толщиной 0,3...0,5 мм. На среднюю часть магнитопровода надета катушка 2, рассчитанная на сетевое напряжение (фазное или линейное). Подвижная часть представляет собой пластмассовое основание 7, на котором укреплены Ш-образный магнитопровод 1 и мостиковые контакты 6.

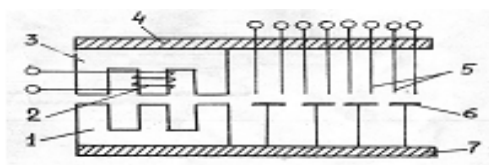


Рис. 8.6. Электрическая схема магнитного пускателя:

1, 3 – Ш-образный магнитопровод; 2 – катушка;
4, 7 – пластмассовое основание; 5 – силовые и блокировочные контакты;
6 – мостиковые контакты

При протекании через катушку пускателя электрического тока намагничивается магнитопровод 3 неподвижной части и притягивает к себе магнитопровод 1 подвижной части. В результате замыкаются силовые (главные) и блокировочные (вспомогательные) контакты.

Главные контакты предназначены для замыкания и размыкания силовых цепей, по которым протекают токи нагрузки электродвигателей и других потребителей.

Блокировочные контакты бывают замыкающие и размыкающие, они предназначены для коммутирования цепей управления и сигнализации и поэтому рассчитаны на небольшие номинальные токи (6...10 А).

Пускатели могут комплектоваться тепловыми реле, включающими в себя нагревательные элементы и биметаллические пластины.

Управление магнитным пускателем осуществляется с помощью кнопочной станции или контактами других аппаратов в автоматическом режиме.

Внедрение автоматизации технологических процессов неразрывно связано с созданием электрических схем управления агрегатами.

При разработке принципиальных схем систем управления необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1) наряду с автоматическим управлением агрегатами обязательно наличие ручного управления ими;

2) выбор режима управления (ручной, автоматический) должен производиться специально предназначенным для этого переключателем;

3) схема системы управления должна обеспечивать сигнализацию о работе агрегатов и защиту агрегатов от аномальных режимов работы.

В схемах автоматизации технологических процессов сельскохозяйственного производства широко используются **электромагнитные реле**.

Реле – это электрический аппарат, в котором при плавном изменении входной величины и достижении ею определенного значения происходит скачкообразное изменение выходной величины.

Они могут выполнять функции усиления, генерирования, преобразования сигналов, являются элементами устройств контроля. В зависимости от конструкции реле, его входным сигналом может быть любой физический параметр. Различают электрические, тепловые, механические, магнитные, оптические, акустические, газовые, жидкостные, барометрические, радиационные и пневматические реле.

Электрические реле реагируют на электрические параметры и по принципу действия разделяются на электромагнитные, магнитоэлектрические, электродинамические, индукционные, электронные, ионные, электротепловые, резонансные. Электромагнитные реле, в свою очередь, подразделяются по ряду признаков:

- по принципу действия воспринимающей системы – реле тока, напряжения, мощности, частоты, фазы, времени;

- по роду управляющего тока – постоянного и переменного;

- по величине потребляемой мощности при срабатывании – высокочувствительные (до 10 мВт), чувствительные (до 0,1 Вт) и нормальные (более 0,1 Вт);

- по коммутационной способности – слаботочные, средней мощности и сильноточные;

- по числу обмоток – с одной, двумя или большим количеством обмоток;

- по количеству контактов и контактных групп – с одной, двумя или большим их количеством;

- по времени действия – безынерционные (время срабатывания и

отпускания до 0,001 с), быстродействующие (до 0,005 с), нормально действующие (от 0,05 до 0,15 с), медленнодействующие (до 1 с) и реле времени (больше 1 с);

- по реагированию на полярность (направление) тока, проходящего в обмотках реле – нейтральные и поляризованные;

- по направлению движения якоря – клапанного типа, с линейным перемещением, с магнитоуправляемыми контактами, с поворотным якорем;

- по форме магнитной цепи – с П-образной, Ш-образной, замкнутой (соленоидные реле), разомкнутой магнитной системой.

По принципу действия исполнительной (контактной) системы реле делятся на контактные и бесконтактные. Контактные реле коммутируют электрическую цепь путем механического замыкания или размыкания контактов. В бесконтактных реле роль контактов выполняет активное, индуктивное или емкостное сопротивление, величина которого скачкообразно изменяется в заданных пределах при воздействии входного сигнала. К бесконтактным реле относятся магнитные, электронные, ионные, полупроводниковые и др.

Контактная система реле должна обеспечивать малое и стабильное значение сопротивления цепи контактов, хорошую изоляцию токоведущих цепей, необходимое число коммутаций в течение гарантируемого времени работы, высокую надежность контактирования. Различают нормально замкнутые (размыкающие) и разомкнутые (замыкающие) контакты при обесточенной обмотке. В замкнутом состоянии контакты прижимаются друг к другу с некоторым усилием, которое называется контактным нажатием и обычно обеспечивается пружиной.

Контакты маломощных реле изготавливают из драгоценных материалов и их сплавов. Наиболее часто применяют серебро, золото, сплавы золота с никелем и платины с иридием. Для контактов средней мощности применяют серебро, палладий, вольфрам, рений, молибден и их сплавы. Контакты из вольфрама используют для коммутации токов более 5 А.

Важной частью электромагнитных реле является обмотка. Ее рассчитывают из условия получения необходимой электромеханической силы при заданных или известных параметрах магнитной системы.

Условное обозначение электромагнитных реле на принципиальных схемах показано на рис. 8.7.

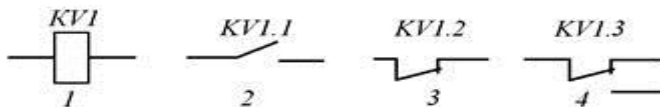


Рис. 8.7. Условное обозначение электромагнитного реле на схемах

На принципиальных схемах изображают катушку KV1 реле и его контакты: KV1:1 – замыкающий; KV1:2 – размыкающий; KV1:3 – переключающий, при этом все детали реле (катушки и контакты) обозначаются одинаковыми буквенно-цифровыми обозначениями.

Чувствительность реле определяется минимальной мощностью, при которой оно срабатывает

$$P_{\text{ср}} = I_{\text{ср}} \cdot R_{\text{об}} = U_{\text{ср}} / R_{\text{об}},$$

где $P_{\text{ср}}$ – мощность срабатывания реле, Вт;

$I_{\text{ср}}$ – ток срабатывания, А;

$R_{\text{об}}$ – сопротивление обмотки, Ом;

$U_{\text{ср}}$ – напряжение срабатывания, В.

Параметры срабатывания представляют собой значения тока и напряжения в обмотке реле, при которых происходит переключение его размыкающих, замыкающих или переключающих контактов. Параметры отпускания представляют значения тока и напряжения в обмотке реле, при которых происходит возврат его контактов в исходное состояние. Значения этих параметров определяются с помощью вольтметра и амперметра.

Рабочие параметры представляют собой значения тока и напряжения в обмотке реле, при которых оно может работать длительное время. Номинальные рабочий ток и рабочее напряжение указываются на обмотке реле. Значения этих параметров несколько превышают значения параметров срабатывания.

Коэффициент возврата равен отношению тока отпускания к току срабатывания $K_{\text{в}} = I_{\text{от}} / I_{\text{ср}}$ и характеризует чувствительность магнитной системы реле к возможному изменению тока в его обмотке. Значения коэффициента возврата меньше единицы ($K_{\text{в}} = 0,3...0,98$).

Коэффициент запаса представляет собой отношение номинального тока к току срабатывания $K_{\text{з}} = I_{\text{р}} / I_{\text{ср}}$ и характеризует устойчивость состояния реле при возможных колебаниях входной величины. Обычно $1 < K_{\text{з}} < 3$.

Мощность управления представляет собой мощность выходной цепи реле, при которой длительно могут работать его контакты.

Время срабатывания реле – промежуток времени от момента подачи напряжения на его обмотку до момента перевода его контактов в рабочее положение.

Время отпускания – промежуток времени с момента начала уменьшения тока в обмотке реле до момента возврата его контактов в исходное состояние.

Сопротивление обмотки указывается на реле с допуском от 5 до 20 %. Для разных реле оно колеблется от нескольких Ом до нескольких кОм и определяет значения параметров срабатывания и отпускания, а также рабочие значения тока, напряжения и потребляемую обмоткой мощность.

Сопротивление и электрическая прочность изоляции характеризуют основные электрические свойства применяемых изоляционных материалов и способность изоляции выдерживать перенапряжения при эксплуатации.

Износостойкость реле характеризуется числом срабатываний (коммутаций) и составляет $N = (0,3...0,75) \cdot N_{ср}$, где $N_{ср}$ – число срабатываний до появления систематических отказов, определяемое экспериментально. Допустимое число срабатываний поляризованных реле – $10^6...10^8$, нейтральных – $10^4...10^7$, реле с магнитоуправляемыми контактами – $10^8...10^9$ раз.

Электромагнитное реле (рис. 8.8) состоит из обмотки 5, воспринимающей электрический сигнал, магнитной, передающей и контактной систем. Магнитная система имеет ярмо (корпус) 6, якорь 2 и сердечник 4. Передающая система включает рычаги, поводки и толкатели, с помощью которых движение якоря передается контактными пружинами 8. В контактную систему входят контакты 1, непосредственно осуществляющие коммутацию электрической цепи, контактные пружины 8 и их держатели 7.

Реле работает следующим образом. При протекании тока по обмотке в сердечнике возникает магнитный поток, замыкающийся через ярмо и якорь. Магнитный поток вызывает электромагнитную силу, которая притягивает якорь к сердечнику, а его перемещение вызывает замыкание контактов (т. е. включение управляемой цепи).

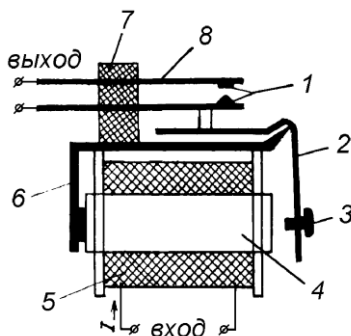


Рис. 8.8. Электромагнитное реле постоянного тока:
 1 – электрические контакты; 2 – якорь; 3 – штифт; 4 – сердечник;
 5 – катушка (обмотка); 6 – корпус (ядро); 7 – держатели;
 8 – контактные пружины

Сила притяжения якоря определяется по формуле

$$F = a \frac{(I \cdot W)^2}{\delta_0^2},$$

где a – коэффициент пропорциональности;

I – ток в обмотке реле;

W – число витков обмотки;

δ_0 – начальный воздушный зазор.

Электромагнитные реле постоянного тока делятся на нейтральные и поляризованные.

Нейтральными называются реле, работа которых основана на взаимодействии якоря и возбуждаемого обмоткой магнитного поля электромагнита, который состоит из постоянного магнита и расположенной на нем обмотки. Действие нейтрального реле зависит только от величины тока, протекающего через обмотку, и не зависит от направления этого тока (полярности).

Работа поляризованного реле зависит от направления тока в обмотке. Поляризованные электромагнитные реле имеют два независимых магнитных потока, действующих на один якорь. Один из них – поляризующий – создается постоянным магнитом, а второй – управляющий – током, протекающим по обмотке.

Конструкция электромагнитного поляризованного реле показана на рис. 8.9. В подковообразный постоянный магнит 1 помещен якорь 3, шарнирно связанный с сердечником 6 дополнительного электромагнита, установленного на ярме постоянного магнита. При изменении полярности тока в катушке 2 якорь притягивается то к одному, то к другому полюсу магнита, замыкая контакт 4 либо контакт 5. При отсутствии тока в электромагните якорь находится в нейтральном положении, что обеспечивается специальной пружиной.

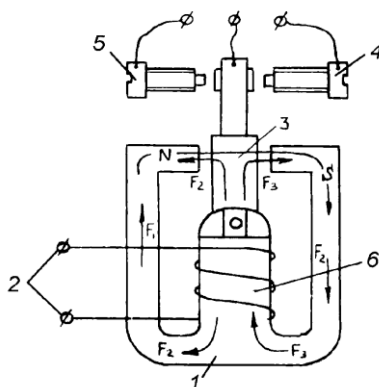


Рис. 8.9. Двухпозиционное поляризованное реле:
1 – постоянный магнит; 2 – обмотка (катушка);
3 – якорь; 4, 5 – контакты; 6 – сердечник

Реле переменного тока по принципу действия аналогичны реле постоянного тока, однако их конструкция имеет некоторые особенности. Для уменьшения потерь в магнитной цепи, вызываемых вихревыми токами, магнитопровод выполнен из листовой стали. Сила электромагнитного притяжения якоря к сердечнику определяется по формуле

$$F = A_m \cdot \sin 2\omega t,$$

где A_m – амплитуда силы притяжения.

Из этого выражения видно, что сила притяжения изменяется от нуля до максимума с двойной частотой переменного тока. Это вызывает вибрацию якоря с той же частотой и искрение контактов.

Для устранения вибрации на раздвоенной части магнитопровода (рис. 8.10) размещают короткозамкнутый виток, в котором основной

магнитный поток Φ_1 , созданный током многовитковой обмотки, индуцирует ЭДС. Малое сопротивление короткозамкнутого витка позволяет поддерживать в нем значительный ток, который порождает магнитный поток Φ_k . В раздвоенной части магнитопровода основной магнитный поток делится на два потока Φ_1 и Φ_2 , с которыми взаимодействует магнитный поток короткозамкнутого витка.

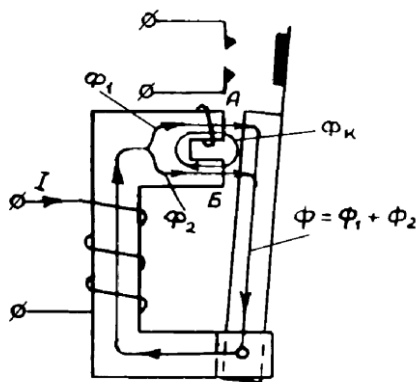


Рис. 8.10. Электромагнитное реле переменного тока

Результирующий магнитный поток Φ , действующий на якорь реле, в любой момент времени не равен нулю. Это устраняет вибрацию якоря и контакты остаются замкнутыми.

Контрольные вопросы

1. Объяснить устройство и принцип действия кнопок управления.
2. Объяснить устройство и принцип действия автоматического выключателя.
3. Объяснить устройство и принцип действия магнитного пускателя.
4. Объяснить устройство и принцип действия реле постоянного и переменного тока.
5. Назвать основные параметры реле.
6. Назвать различия между реле переменного и постоянного тока.
7. Назвать различия поляризованного и нейтрального реле.
8. Каким образом устраняется вибрация якоря реле переменного тока?

Лабораторная работа 9. СИСТЕМА АВТОМАТИКИ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА ТГ-1Б

Цель работы: изучить назначение, устройство и принцип действия системы автоматики, ее возможные неисправности.

9.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте расположен лабораторный стенд со шкафом автоматического управления ШОА5933-2974У3 теплогенератора ТГ-1Б. Шкаф управления имеет климатическое исполнение У, категорию размещения 3 по ГОСТ 15150-69 при температуре от -2°C до $+40^{\circ}\text{C}$, допустимую высоту размещения над уровнем моря – 2 000 м.

Исполнение шкафа допускает содержание в воздухе пыли не более $0,013\text{ г/м}^3$, аммиака не более $0,026\text{ г/м}^3$, сероводорода не более $0,012\text{ г/м}^3$, углекислого газа не более $0,004\text{ г/м}^3$. Допускается обработка шкафа управления дезинфицирующими растворами в соответствии с ГОСТ 19348-82. Приведена электрическая схема системы автоматики.

9.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить назначение, устройство и принцип действия системы автоматики теплогенератора ТГ-1Б.

2. Усвоить правила пуска, остановки и настройки системы автоматики на необходимый режим работы.

3. Научиться определять неисправности в работе системы автоматики, которые могут возникать при ее эксплуатации.

4. Составить отчет по лабораторной работе. Он должен содержать принципиальную электрическую схему системы автоматики теплогенератора ТГ-1Б с кратким описанием ее назначения, устройства и принципа действия на различных режимах работы, а также схему температурного реле ТР-200 (рис. 9.2) с пояснением его устройства и принципа действия.

9.3. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы литературных источников: [3; 4, с. 69–71; 5, с. 150–187; 10, с. 60–72; 18, с. 131–133; 20, с. 97–99; 23, с. 106–109; 27, с. 83–86].

2. Записать основные сведения о назначении, устройстве и принципе действия системы автоматики теплогенератора ТГ-1Б, а также о температурном реле ТР-200.

3. Записать паспортные данные объекта исследования.

9.4. Система автоматики теплогенератора ТГ-1Б

Теплогенератор ТГ-1Б предназначен для воздушного отопления и вентиляции животноводческих помещений, ремонтных мастерских, складов, теплиц, гаражей промышленных зданий, бытовых и подсобных помещений, а также для сушки строящихся зданий при внутренних отделочных работах и активного вентилирования сельскохозяйственных культур (зерна, льна и т. д.). Техническая характеристика теплогенератора ТГ-1Б представлена в табл. 9.1.

Шкаф управления ШОА5933-2974УЗ предназначен для автоматического и ручного управления теплогенератором ТГ-1Б, работающим в режимах «Отопление» и «Вентиляция», а также для его защиты при аварийных режимах.

Таблица 9.1. Техническая характеристика теплогенератора ТГ-1Б

Показатели	Значение
Напряжение силовой цепи, В	380
Ток силовой цепи, А	6,3
Напряжение цепи управления, В	220
Допустимое отклонение напряжения, %	-7,5...+10
Частота тока силовой цепи и цепи управления, Гц	50
Присоединяемая мощность, кВт	4,7
Потребляемая мощность шкафа, не более, Вт	65
Управление:	
в режиме «Отопление»	автоматическое и ручное
в режиме «Вентиляция»	ручное
Параметры режима «Отопление автоматическое»:	
пределы регулирования температуры, °С	+5...+35
точность задания температуры, °С	±2
Показатели надежности:	
срок службы, лет	10
среднее время наработки на отказ, ч	>4000
Степень защиты	IP 32
Масса, кг	20

Элементы системы автоматики, за исключением измерительных преобразователей (датчиков), исполнительных механизмов (электродвигателей) и регулирующих органов (форсунки и вентилятора), расположены в шкафу управления, который представляет собой металлический ящик защищенного исполнения. Провода и кабели, соединяющие шкаф с размещенными вне его элементами системы автоматики, вводятся через сальник и разъем.

Внутри шкафа установлена панель, на которой размещены автоматический выключатель АП50Б-3МТ, магнитные пускатели ПМЕ-111 и ПМЕ-071 с тепловыми реле, программное реле ВЛ-58УХЛ4, диоды, резисторы, предохранитель, блок зажимов, реле напряжения. На передней панели шкафа (рис. 9.1) установлены аппараты управления и сигнализации: регулятор температуры ТЭЗПЗМ, переключатель режимов работы, тумблер, кнопка, сигнальные лампы, толкатели автоматического выключателя. Назначение каждого элемента указано на табличках. Панель запирается с помощью замка специальным ключом.

Система автоматики теплогенератора (рис. 9.3) состоит из командного прибора, программного блока, трансформатора высокого напряжения, температурного реле ТР-200, блоков контроля горения факела (рис. 9.4) и блока сигнализации (рис. 9.5).

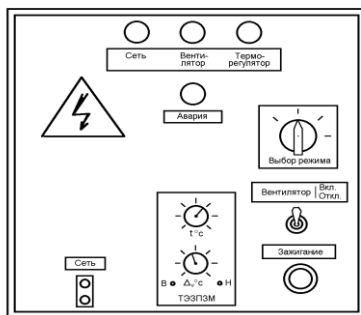


Рис. 9.1. Общий вид передней панели шкафа управления ШОА5933-2974У3

Командным прибором служит регулятор температуры ТЭЗПЗМ, который предназначен для двухпозиционного регулирования температуры в диапазоне от 0 °С до +40 °С. Терморегулятор обеспечивает автоматическое включение теплогенератора, когда температура воздуха в отапливаемом помещении снизится ниже заданной, и отключение при повышении температуры выше заданной. Измерительным преобразователем (датчиком) температуры служит терморезистор, располагаемый в середине отапливаемого помещения и подключаемый к терморегулятору.

Программный блок выполнен на основе реле времени ВЛ-58УХЛ4 и обеспечивает все операции при включении теплогенератора (продувка, подача топлива в горелку, подача искры зажигания, предварительный прогрев камеры сгорания), а также при его отключении (отсечка топлива, выключение вентилятора и т. д.).

Температурные реле ТР-200 (рис. 9.2) обеспечивают автоматическое управление работой вентилятора и защиту теплообменника от перегрева. Принцип действия реле основан на использовании разности коэффициентов линейного расширения латуни и инвара (специального сплава металлов с ничтожно малым температурным расширением). При нагревании латунная трубка 2 и связанная с ней ось 4 перемещается относительно инварной пружины 3. Это приводит к уменьшению зазора δ , устанавливаемого в зависимости от требуемой температуры срабатывания.

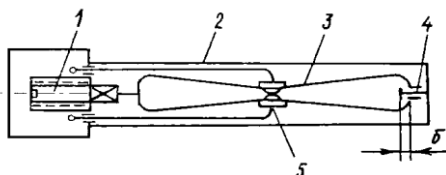


Рис. 9.2. Схема температурного реле ТР-200:
1 – винт регулировочный; 2 – латунная трубка;
3 – инварная пружина; 4 – ось; 5 – контакты

При достижении заданной температуры зазор выбирается, дальнейшее ее повышение вызывает растяжение пружины и размыкание электрической цепи. При понижении температуры уменьшается длина трубки, освобождается пружина и замыкаются контакты 5.

Блок зажигания. Для подачи высокого напряжения к электродам зажигания форсунки служит трансформатор зажигания. Он питается напряжением 220 В, вторичное напряжение – 10 кВ, ток в первичной цепи – 1,4 А, во вторичной – 0,23 А. Число витков первичной и вторичной цепей составляет 750 и 17 000×2 (две секции) витков.

Блок контроля нагрева теплогенератора обеспечивает включение вентилятора после прогрева и его отключение после охлаждения теплообменника. Блок состоит из реле напряжения КВЗ и температурных реле ВК2 и ВК3 типа ТР-200. Измерительный преобразователь ВК2 обеспечивает запуск программы включения теплогенератора в режиме «Отопление автоматическое». Реле аварийного перегрева ВК3 обеспечивает отключение форсунки при чрезмерном нагреве теплообменника, что может случиться при отказе главного вентилятора, перекрытии воздухопровода и других неполадках.

Уставка температурных реле осуществляется на температуру 40 °С для ВК2 и 85...90 °С для ВК3. Реле настраивают в термостате или в

воде с температурой на 2...3 °С выше уставки реле согласно инструкции завода-изготовителя реле путем вращения винта 1 (рис. 9.2).

Блок контроля горения факела (рис. 9.4) обеспечивает выключение системы зажигания после воспламенения топливной смеси в камере сгорания и включение ее в случае погасания факела. Блок состоит из реле KV4 и KV5, резисторов, фоторезисторов BL1, BL2, диодов VD1 и VD2.

Электромагнитный клапан YA состоит из электромагнита и клапана. Он обеспечивает подачу топлива в распылитель форсунки при пуске теплогенератора и перекрытие топлива при выключении либо в случае погасания факела.

Блок сигнализации (рис. 9.5) состоит из приборов световой сигнализации HL1...HL4, контактов KM1:2 магнитного пускателя KM1 и контактов KT:1 реле времени KT. Назначение приборов световой сигнализации следующее:

HL1 «Сеть» – сигнализирует при подаче напряжения в схему управления;

HL2 «Вентилятор» – лампа загорается при включении главного вентилятора;

HL3 «Терморегулятор» – лампа загорается при замыкании контактов A1:1 терморегулятора;

HL4 «Авария» – лампа загорается при отключении теплогенератора по причине неисправности. Одновременно включается сирена HA.

Для выбора режимов работы и ручного управления теплогенератором используются следующие устройства: переключатель режимов SA1 (пакетно-кулачковый переключатель), переключатель SA2 ручного управления приводом форсунки и электромагнитным клапаном, кнопка SB «Зажигание» управления трансформатором зажигания TV. Положение контактов переключателя SA1 при различных режимах работы теплогенератора приведены в табл. 9.2.

Таблица 9.2. Положение контактов переключателя SA1 («+» – замкнут)

Контакты	Положение рукоятки			
	–45°	0	+45°	+90°
SA1:1	+	+	+	–
SA1:2	+	+	+	–
SA1:3	+	+	–	–
SA1:4	–	–	+	–
SA1:5	–	–	+	–
SA1:6	–	+	+	–
Режим работы	«Продувка, запуск, руч. режим»	«Работа в ручном режиме»	«Отопление автоматич.»	«Откл.»

В зависимости от времени года теплогенераторы могут использоваться для вентиляции или отопления помещений. Принципиальная схема системы автоматики (рис. 9.3) предусматривает работу теплогенератора в трех режимах: «Вентиляция ручная», «Отопление ручное» и «Отопление автоматическое». В режиме «Отопление автоматическое» система управления теплогенератором рассчитана на работу в автоматическом режиме без постоянного наблюдения персоналом.

«Вентиляция ручная». Автоматический выключатель QF необходимо поставить в положение «Вкл.». О том, что система подключена к сети, сигнализирует лампа HL1. Переключатель работы SA1, который имеет несколько пар контактов SA1:1...SA1:6, должен находиться в положении +90° «Отключено». При различных положениях рукоятки переключателя SA1 замыкаются его контакты согласно диаграмме переключения контактов. В этом режиме теплогенератором управляют с помощью переключателя SA2 «Вентилятор», имеющего две пары контактов. При замыкании замыкающих контактов запитывается катушка KM1 магнитного пускателя, который силовыми контактами KM1:1 пускает в работу электродвигатель вентилятора M1. Загорается сигнальная лампа HL2 «Вентилятор». При размыкании переключателем SA2 его замыкающих контактов обесточивается катушка KM1 магнитного пускателя, который останавливает работу электродвигателя M1 вентилятора. Одновременно гаснет лампа HL2.

«Отопление ручное». Для управления теплогенератором в этом режиме используются переключатель режима работы SA1, кнопка зажигания SB «Зажигание» и переключатель SA2 «Вентилятор».

Теплогенератор запускается в работу в следующем порядке. Автоматический выключатель QF ставится в положение «Вкл.», переключатель SA1 – в положение –45° «Продувка, запуск, руч. реж.». Ток протекает по следующей цепи: фаза С – предохранитель FU – контакты SA1:1 – узел 2 – контакты SA1:2 – узел 3 – контакты SA1:3 – узел 4 – размыкающие контакты BK3 температурного реле TP-200 – катушка KM2 магнитного пускателя – узел 5 – контакты KK1, KK2 тепловых реле – N. В результате срабатывает магнитный пускатель KM2, который силовыми контактами KM2:1 пускает в работу электродвигатель M2 привода форсунки, а блок-контактами KM2:2 подготавливает к включению электромагнит YA. Начинается продувка камеры сгорания. Одновременно загорается сигнальная лампа HL1 «Сеть».

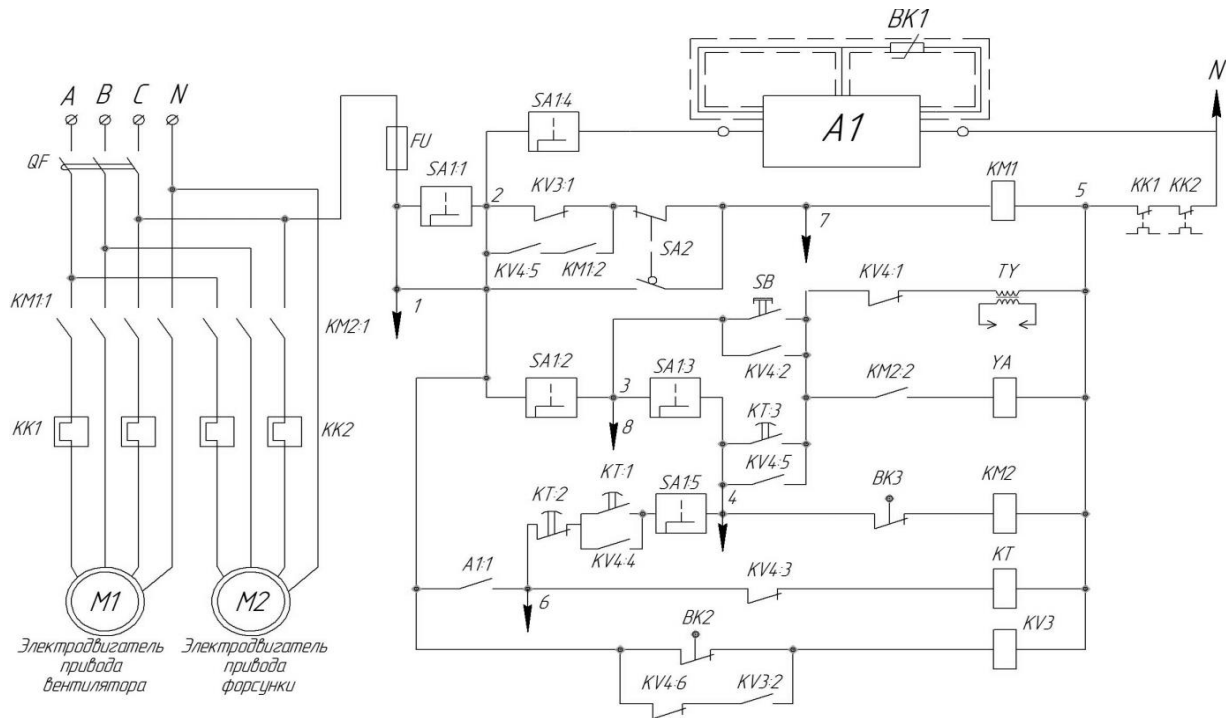


Рис. 9.3. Принципиальная электрическая схема системы автоматики теплогенератора ТГ-1Б

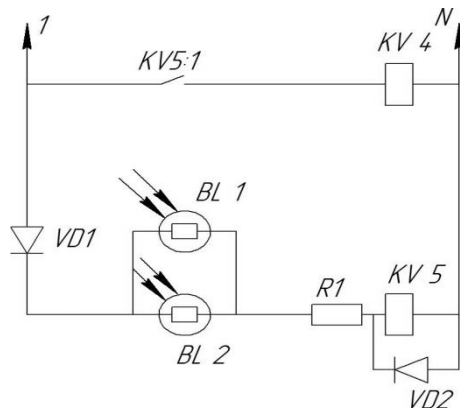


Рис. 9.4. Принципиальная электрическая схема блока контроля горения факела

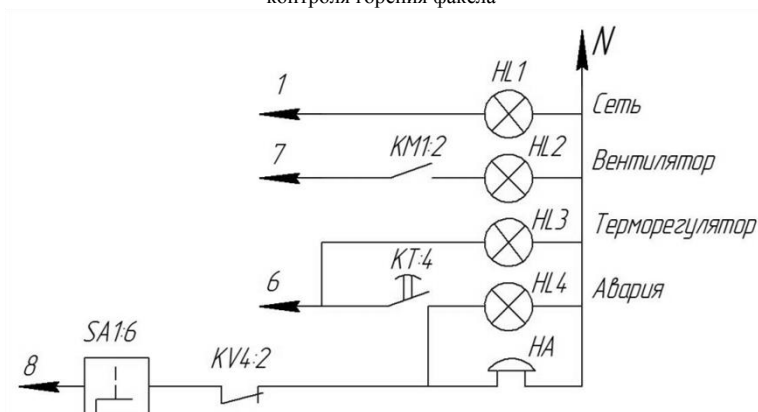


Рис. 9.5. Принципиальная электрическая схема блока сигнализации теплогенератора ТГ-1Б

По истечении времени продувки, равного 36 с, нажимается кнопка SB «Зажигание». При этом подается напряжение на трансформатор зажигания TV и электромагнит YA, который управляет работой клапана подачи топлива. Первичная обмотка трансформатора зажигания запитывается в результате протекания тока по цепи: фаза С – FU – SA1:1 – узел 2 – SA 1:2 – узел 3 – SB – размыкающие контакты KV4:1 – первичная обмотка трансформатора TV – узел 5 – КК1,

KK2 – N. Катушка электромагнита YA запитывается током, протекающим по следующей цепи: С – FU – SA1:1 – узел 2 – SA1:2 – узел 3 – SB – KM2:2 – катушка YA электромагнита – узел 5 – KK1, KK2 – N.

В результате одновременно подается топливо в камеру сгорания теплогенератора и искра зажигания от вторичной обмотки высоковольтного трансформатора TV. После воспламенения топлива кнопку SB отпускают. Срабатывает реле контроля пламени KV5, которое замыкающими контактами KV5:1 запитывает катушку KV4 промежуточного реле. Размыкающие контакты KV4:1 обесточивают первичную обмотку трансформатора TV, размыкающие контакты KV4:2 – электрическую цепь системы аварийной сигнализации, а размыкающие контакты KV4:3 – реле времени KT. Затем переключатель режимов SA1 необходимо поставить в положение 0° «Работа, руч. реж.».

После прогрева камеры сгорания переключателем SA2 включают электродвигатель M1 вентилятора, о чем сигнализирует лампа HL2. Подогретый воздух подается в отапливаемое помещение.

Теплогенератор отключают в следующей последовательности. Переключатель SA1 ставят в положение +90° «Отключен». При этом контактами SA1:1 обесточиваются цепи катушек KM2 и YA, прекращается подача топлива, гаснет факел, останавливается двигатель M2 привода форсунки. После остывания камеры сгорания переключателем SA2 выключают двигатель вентилятора M1.

«Отопление автоматическое». В этом режиме система автоматики обеспечивает:

- автоматическое включение и отключение теплогенератора;
- сигнализацию нормальной работы теплогенератора и аварийных отключений;
- повторную продувку и подачу зажигания при погасании факела в нормальном и аварийном режимах работы.

Автоматическое включение производится, если температура воздуха в отапливаемом помещении ниже заданной. Включение происходит в следующем порядке:

1. Включается электродвигатель привода форсунки для продувки камеры сгорания.

2. Подается топливо и зажигание.

3. После прогрева камеры сгорания включается вентилятор.

Автоматическое отключение теплогенератора происходит в следующих случаях:

1. Если температура воздуха в отапливаемом помещении достигла заданной.

2. Если факел не зажигается при включении или погас во время работы теплогенератора.

3. При перегреве теплогенератора свыше допустимой температуры.

4. При срабатывании защиты от перегрузок или коротких замыканий.

Командным прибором системы автоматики является полупроводниковый двухпозиционный терморегулятор А1. Его выходное реле (на рисунке не показано, терморегулятор в сборе изображен условно в виде прямоугольника) имеет замыкающие контакты, которые замыкаются при понижении температуры.

Система автоматики в режиме «Отопление автоматическое» работает следующим образом. Переключатель режимов SA1 устанавливается в положение +45° «Отопление автоматическое». Ток проходит по следующей цепи: FU – SA1:1 – узел 2 – контакты BK2 температурного реле – катушка KV3 реле напряжения – KK1, KK2 – N. Реле KV3 замыкает контакты KV3:1, предотвращая включение вентилятора и подачу неподогретого воздуха в отапливаемое помещение. Одновременно ток проходит по цепи: FU – SA 1:1 – SA 1:4 и включается питание терморегулятора А1.

При понижении температуры воздуха в отапливаемом помещении замыкаются замыкающие контакты терморегулятора. Ток проходит по следующей цепи: FU – SA1:1 – узел 2 – замыкающие контакты А1:1 выходного реле терморегулятора – контакты KV4:3 – катушка реле времени КТ – KK1, KK2 – N. Включается реле времени КТ, отработывающее программу запуска теплогенератора.

Реле времени работает с фиксированными выдержками времени 6, 36 и 48 с. Через 6 с замыкаются контакты КТ:1 реле времени КТ, ток проходит по следующей цепи: FU – SA 1:1 – узел 2 – А1:1 – КТ:2 – КТ:1 – SA1:5 – контакты BK3 температурного реле – KM2 – узел 5 – KK1, KK2 – N. Срабатывает магнитный пускатель KM2 и запитывает электродвигатель привода форсунки M2, начинается продувка камеры сгорания. Замыкаются также блок-контакты KM2:2, подготавливая к пуску электромагнитный клапан YA.

По истечении времени продувки, равного 36 с, замыкаются контакты КТ:3. Ток протекает по цепи: FU – SA 1:1 – узел 2 – А1:1 – КТ:2 – КТ:1 – SA1:5 – узел 4 – КТ:3 – KM2:2 – обмотка YA электромагнитного клапана – узел 5 – KK1, KK2 – N. Электромагнитный клапан полу-

чает питание, одновременно ток протекает по следующей цепи KV4:1 – TV – узел 5 – КК1, КК2 – N, запитывая первичную обмотку трансформатора зажигания TV. В камере сгорания воспламеняется топливо, резко уменьшается сопротивление фоторезисторов BL1, BL2, что приводит к срабатыванию реле контроля факела KV5 и реле KV4. Замыкающие контакты KV4:1 обесточивают трансформатор зажигания, а KV4:3 – реле времени КТ, замыкающие контакты KV4:4 и KV4:5 шунтируют соответствующие контакты реле времени.

На камере сгорания установлены два температурных реле TP-200, которые имеют размыкающие контакты ВК2 и ВК3 и срабатывают при определенной степени нагрева камеры сгорания. При нагреве свыше 40 °С размыкаются контакты ВК2, срабатывает реле KV3, контакты KV3:1 которого замыкаются и запитывают катушку КМ1. Включается двигатель М1 вентилятора, и нагретый воздух подается в отапливаемое помещение. Запуск теплогенератора на этом заканчивается.

С течением времени температура в отапливаемом помещении повышается и достигает значения, установленного на шкале терморегулятора. При этом терморегулятор подает команду на отключение теплогенератора следующим образом. Сигнал от измерительного преобразователя ВК1 поступает по цепям в терморегуляторе А1 (электрическая схема регулятора температуры ТЭЗПЗМ не приводится), в результате размыкаются контакты А1:1, обесточиваются катушка КМ2 магнитного пускателя и электромагнитный клапан YA. В камере сгорания гаснет факел.

При понижении температуры в отапливаемом помещении до нижнего заданного значения, установленного на шкале терморегулятора, подается команда на включение теплогенератора. Сигнал от ВК1 поступает по цепям терморегулятора, контакты А1:1 замыкаются и теплогенератор снова включается в работу.

В системе автоматики предусмотрена защита теплогенератора, которая действует в следующих случаях нарушения нормального режима его работы:

1. Если при запуске теплогенератора топливо не воспламеняется, реле времени обрабатывает программу до тех пор, пока контакты КТ:1 и КТ:2 не возвратятся в исходное состояние. При этом катушки KV5 и KV4 не запитываются и обесточиваются цепи, питающие катушку пускателя КМ2, электромагнит клапана подачи топлива YA и трансформатор TV. Запуск теплогенератора прекращается, через контакты КТ:4 загорается лампа НЛ4 «Авария» и включается сирена НА. По-

вторно теплогенератор запускается обслуживающим персоналом после устранения причин невоспламенения топлива путем поворота переключателя SA1 в положение +90° «Отключено» и возврата его снова в положение +45° «Отопление автоматическое».

2. Если факел погас во время работы теплогенератора, реле KV5 и KV4 обесточиваются. Реле KV4 своими контактами KV4:3 включает реле времени КТ. Запуск теплогенератора начинается сначала. Если факел восстанавливается, то теплогенератор продолжает нормальную работу. В противном случае происходит отключение теплогенератора и включение аварийной сигнализации. Защита от срыва факела действует в ручном и автоматическом режимах.

3. Если во время работы теплогенератор нагрелся выше допустимой температуры (85...90°), контакты ВКЗ температурного реле замыкаются и обесточивают цепь катушки КМ2. Контакты КМ2:2 замыкают цепь питания электромагнитного клапана YA, гаснет факел, что приводит к обесточиванию реле KV5 и KV4 блока контроля горения факела. Запитывается реле времени КТ, которое контактами КТ:4 включает лампу HL4 и сирену HA аварийной сигнализации.

Схемой системы автоматики предусмотрена защита силовой цепи от коротких замыканий с помощью автоматического выключателя QF, а также защита цепей управления с помощью предохранителя FU. Защита двигателей вентилятора и форсунки от перегрузки осуществляется тепловыми реле КК1 и КК2.

После монтажа шкафа управления необходимо провести проверку и настройку системы автоматики для последующей ее эксплуатации. Для этого проводится внешний осмотр аппаратуры, мест соединений, заземления шкафа управления и электродвигателей. Без заземления эксплуатация не разрешается. Необходимо очистить все аппараты и элементы шкафа от консервирующей смазки, проверить их крепление, затяжку всех винтов и гаек, свободу хода подвижных частей реле и магнитных пускателей. Правильность монтажа цепей проверяется осмотром, сравнением с чертежами и их прозвонкой.

Измерительный преобразователь ВК1 температуры воздуха монтируется в центре помещения и соединяется со шкафом управления любым экранированным проводом или прокладывается в заземленной трубе, выполняющей роль экрана. Сечение провода должно быть не менее 0,5 мм². Прокладка провода в одной трубе с силовыми цепями не допускается.

Температурные реле ТР-200 устанавливаются заводом-изготовителем в верхней части теплообменника и защищены от механических воздействий металлической коробкой.

Реле времени ВЛ-58 с фиксированными выдержками времени не требует настройки. Заводом-изготовителем установлены выдержки времени срабатывания контактов реле 6, 36 и 48 с.

Электроды зажигания должны быть установлены согласно рис. 9.6. Высоковольтные провода, соединяющие электроды и трансформатор зажигания, должны быть надежно соединены и уложены таким образом, чтобы не мешать вращению вентилятора форсунки.

Перед запуском теплогенератора устанавливается требуемая температура воздуха в отапливаемом помещении. Для этого специальным ключом, прилагаемым к терморегулятору, снимают крышку прибора, вращением стрелок шкалы устанавливают требуемую температуру и дифференциал. Следует иметь в виду, что меньшее значение дифференциала на шкале соответствует большей точности поддержания заданной температуры в помещении, причем это будет достигаться за счет более частого включения теплогенератора. Рекомендуемая установка дифференциала – не менее 1,5...2 °С.

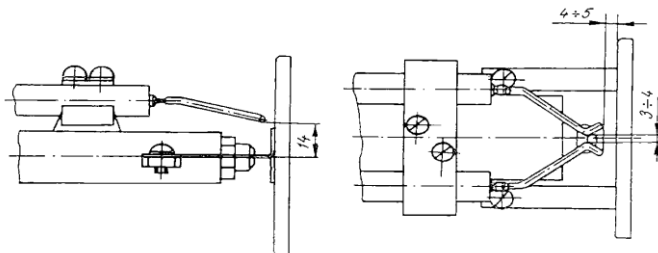


Рис. 9.6. Установка электродов зажигания форсунки теплогенератора ТГ-1Б

Шкаф управления опробуется под напряжением. Для этого подается номинальное напряжение и проверяется работа схемы шкафа во всех режимах. Одновременно проверяется действие световой и звуковой сигнализации.

Внимание! Опробование системы управления в режимах «Вентиляция ручная» и «Отопление ручное» ведется без топлива. Поэтому топливный насос не должен работать без перерыва более 30 с.

Контрольные вопросы

1. Объяснить устройство и принцип действия температурного реле, трансформатора зажигания, блоков сигнализации и контроля горения пламени.
2. Объяснить загорание сигнальных ламп при различных режимах работы теплогенераторов.
3. Когда и как отключается система аварийной сигнализации в режиме «Отопление ручное»?
4. Какие операции обеспечивает система автоматики в режиме «Отопление автоматическое»?
5. Объяснить отработку программы реле времени. В каком режиме это происходит?
6. Объяснить работу системы автоматики в случае невоспламенения топлива.
7. Как и в каких режимах действует защита при срыве факела?
8. Как изменить программу работы реле времени?
9. С какой целью и когда необходима продувка камеры сгорания?
10. Объяснить настройку системы автоматики на нужный режим работы.

Лабораторная работа 10. СИСТЕМА АВТОМАТИКИ ПАСТЕРИЗАЦИОННО-ОХЛАДИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ОПФ-1-300

Цель работы: 1) изучить назначение, устройство и принцип работы системы автоматики, основных элементов ее, а также возможных регулировок;

2) усвоить правила пуска, остановки и настройки системы автоматики на необходимый температурный режим.

10.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте расположена пастеризационно-охладительная установка ОПФ-1-300, оснащенная системой автоматики, и учебный планшет с функциональной и принципиальной электрическими схемами установки.

10.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить назначение, устройство и принцип работы системы автоматики пастеризационно-охладительной установки ОПФ-1-300 и ее основных элементов.

2. Усвоить правила пуска, остановки и настройки системы автоматики на нужный температурный режим работы.

3. Научиться определять неисправности в работе пастеризационно-охладительной установки ОПФ-1-300, которые могут возникать при ее эксплуатации.

4. Составить отчет по лабораторной работе, в котором должны быть представлены функциональная и принципиальная электрическая схемы пастеризационно-охладительной установки ОПФ-1-300 с кратким описанием назначения, устройства и принципа действия системы автоматики установки, а также ее основных элементов.

10.3. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы литературных источников: [3, с. 129–134; 16, с. 89–140; 17, с. 215–253; 21; 23].

2. Записать основные положения по назначению, устройству и принципу действия системы автоматики установки ОПФ-1-300, а также ее основных элементов.

3. Записать паспортные данные по объекту управления.

10.4. Система автоматики пастеризационно-охладительной системы ОПФ-1-300

Пастеризационно-охладительная пластинчатая автоматизированная установка ОПФ-1-300 предназначена для центробежной очистки, пастеризации, выдержки и охлаждения молока от больных коров в закрытом потоке при температуре 90...94 °С с выдержкой 300 с.

Установка ОПФ-1-300 (рис. 10.1) состоит из пластинчатого теплообменного аппарата (поз. 7, 8, 9, 10, 11) центробежного молокоочистителя 14, трубчатого выдерживателя 17, молочного насоса 13, насоса для подачи горячей воды 1, уравнильного бака 12, перепускного электрогидравлического клапана молока 6, регулирующего клапана пара 4, бойлера 2 с инжектором 3, систем трубопровода и пульта управления. В пульте управления размещена пусковая, контролирующая и сигнализирующая аппаратура.

Система автоматики является автоматизированной и, в отличие от автоматической, представляет собой систему, в которой некоторые операции управления выполняет человек. Операции пуска, остановки, промывки основных ее элементов выполняются оператором вручную. Заданный температурный режим пастеризации молока устанавливается при помощи оператора, и затем автоматически поддерживается заданная температура пастеризации (в пределах 92 ± 2) °С соответствующими техническими средствами автоматики.

Пастеризационно-охладительная установка ОПФ-1-300 может работать в ручном и автоматическом режимах. При ручном режиме пастеризации молока все операции управления выполняются оператором вручную. Система автоматики обеспечивает нормальное протекание процесса пастеризации в автоматическом режиме. Однако операции пуска и остановки ОПФ-1-300 выполняются вручную.

После подготовки ОПФ-1-300 к пастеризации сначала вручную включается центробежный молокоочиститель 14 (рис. 10.1) с паузой в 2...3 мин до полного набора барабаном оборотов, а затем включаются в работу насос подачи молока 13, насос горячей воды 1 и открывается запорный вентиль 5 подачи пара. *(Внимание! Регулирующий клапан пара 4 в это время не работает.)*

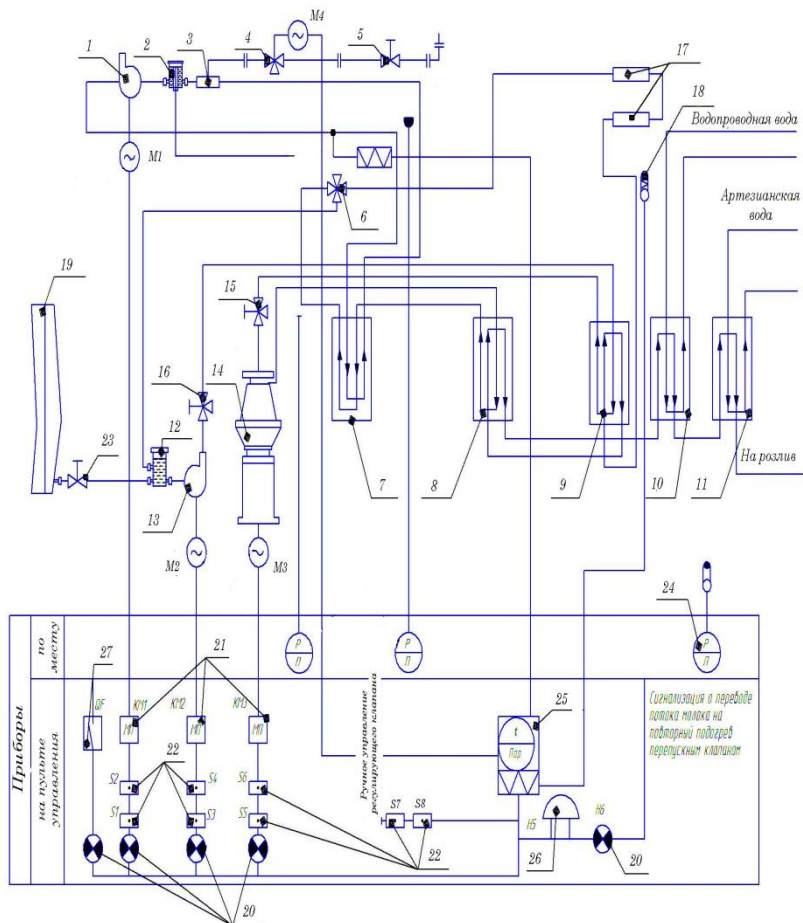


Рис. 10.1. Функциональная схема пастеризационно-охладительной установки ОПФ-1-300:

1 – насос подачи горячей воды; 2 – бойлер; 3 – инжектор; 4 – регулирующий клапан пара; 5 – запорный вентиль подачи пара; 6 – перепускной электрогидравлический клапан молока; 7 – секция пастеризации; 8, 9 – секции регенерации; 10, 11 – секции охлаждения; 12 – уравнильный бак; 13 – насос подачи молока; 14 – молокоочиститель; 15, 16 – трехходовые запорные вентили; 17 – выдерживатель; 18, 24 – термометры сопротивления; 19 – молочный танк; 20 – сигнальные лампы; 21 – магнитные пускатели; 22 – кнопки управления; 23 – запорный вентиль подачи молока; 25 – электронный мост; 26 – звуковая сигнализация; 27 – автоматический выключатель

Молоко из танка 19 поступает самотеком или под давлением через запорный вентиль 23 в уравнильный бак 12, откуда насосом 13 подается в секцию регенерации 9. Затем молоко поступает в молокоочиститель 14, проходит вторую секцию регенерации 8, секцию пастеризации 7 и перепускным клапаном 6 направляется в уравнильный бак 12. Цепь катушки электромагнита перепускного клапана 6 запитана напряжением. Далее молоко повторяет пройденный путь, т. е. циркулирует через узлы 13, 9, 14, 8, 7, 6 и 12 по малому пути. Затем переключателем, расположенным на пульте управления, устанавливается положение «Автомат». *(Внимание! Включается в работу регулирующий клапан пара 4.)* Далее процесс пастеризации протекает в автоматическом режиме.

Первичный сигнал, соответствующий начальной температуре пастеризуемого молока, поступает от термометра сопротивления 18 в электронный мост 25, который своими контактами включает в работу регулирующий клапан пара 4. Термометр сопротивления установлен на трубопроводе горячего молока после секции пастеризации. Клапан пара автоматически увеличивает подачу пара в бойлер 2, в котором вода подогревается паром, поступающим через инжектор 3 из паропровода.

Горячая вода подается насосом 1 из бойлера 2 в секцию пастеризации 7, где происходит нагрев молока. Циркуляция молока по малому пути продолжается до тех пор, пока температура молока в секции пастеризации не достигнет значения 90 °С. *(Внимание! В этот момент оператор должен включить подачу холодной воды.)* Сигнал, соответствующий температуре молока 90 °С, поступает от термометра сопротивления в электронный мост 25, который действует на перепускной клапан 6, и молоко из секции пастеризации 7 направляется в выдерживатель 17. Молоко здесь выдерживается в течение 300 с и далее поступает последовательно в секции регенерации 9 и 8 для отдачи теплоты встречному потоку пастеризуемого молока, поступающего в секции регенерации после молокоочистителя. Затем молоко последовательно поступает в секции охлаждения 10, 11, где охлаждается до температуры 8 °С, и выходит из пастеризационно-охладительной установки. Температура охлажденного молока контролируется термометром, который установлен на трубопроводе выхода молока после секции охлаждения. При изменении температуры молока в заданных пределах (90...94 °С) молоко совершает большой путь и направляется на розлив или в танк для последующего хранения. При температуре молока ниже

90 °С замыкаются контакты электронного моста, запитывается цепь катушки электромагнита перепускного клапана 6, который открывает проход на вторичный подогрев молока. Клапан срабатывает так, что молоко поступает из секции пастеризации 7 в уравнильный бак 12 и далее циркулирует по малому пути.

Система автоматики (см. рис. 10.1) включает следующие узлы: регулирующий клапан пара 4, перепускной электрогидравлический клапан молока 6, электродвигатели насосов горячей воды М1, молока М2, молокоочистителя М3, термометр сопротивления 18, электронный мост 25, уравнильный бак 12, пульт управления.

Регулирующий клапан пара 4 имеет электрический привод и служит для подачи определенного количества пара согласно заданному режиму пастеризации молока, который контролируется термометром сопротивления, установленным на пути движения пастеризуемого молока.

Перепускной электрогидравлический клапан молока 6 служит для автоматического переключения потока молока на повторный подогрев при снижении температуры его пастеризации ниже 90 °С.

Он состоит из корпуса, выполненного из нержавеющей стали, собственно клапана и электрогидравлического реле (рис. 10.2). Электромагнит 16 реле соединен с датчиком, контролирующим температуру пастеризуемого молока. Если молоко выходит из пастеризатора, имея температуру ниже заданной величины, то цепь катушки реле замкнута и шток 14 находится в верхнем положении. При этом клапан входа воды в гидрореле закрыт, мембрана 7 реле с ее клапанным устройством находится в верхнем положении и клапан перекрывает верхнее окно, оставляя молоку путь обратно в уравнильную камеру.

По достижении температуры пастеризации контакты электронного моста размыкаются, обесточивая катушку электромагнита 16. Под действием пружины 12 шток 14 отпускается и открывает доступ воде в гидрокammerу клапана. Вода под напором, создаваемым насосом, преодолевает сопротивление пружины 5 и опускает мембранно-клапанный механизм в нижнее положение. При этом перекрывается путь молоку в уравнильную камеру клапана и открывается выход для подачи молока в молочные танки или на разливочно-укупорочную машину.

При понижении температуры молока в пастеризационной секции контакты электронного моста замыкаются, шток 14 втягивается электромагнитом 16 реле, одновременно закрывая напорный канал воды и

открывая отверстие для выхода из гидрокамеры. Пружина 5, освобожденная от напора воды, поднимает мембранно-клапанный механизм, вытесняя остаток воды из гидрокамеры через окно слива, а клапан переходит в верхнее положение, открывая путь молоку на повторную пастеризацию.

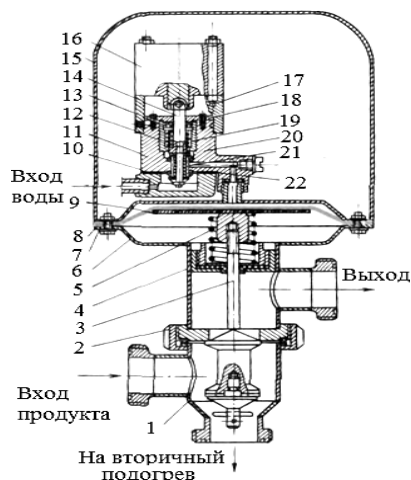


Рис. 10.2. Перепускной электрогидравлический клапан молока:

1, 4, 10, 11 – корпуса; 2 – гайка; 3 – щиток; 5, 12 – пружины; 6 – нижняя тарелка; 7 – мембрана; 8 – верхняя тарелка; 9 – грибок; 13 – манжета; 14 – шток; 15 – кожух; 16 – электромагнит; 17 – опора; 18 – крышка; 19 – стакан; 20 – шпилька; 21 – втулка; 22 – прокладка

Термометр сопротивления 18 (см. рис. 10.1) служит для получения первичных сигналов при изменении температуры пастеризуемого молока. Он представляет собой платиновый термометр сопротивления, сигнал которого, пропорциональный температуре пастеризуемого молока, поступает в измерительную схему электронного моста.

Электронный мост 25 обеспечивает автоматическое управление клапаном пара 4, перепускным клапаном молока 6 и служит для записи показаний температуры пастеризуемого молока.

Измерительная мостовая схема состоит из реохорда R_p , обеспечивающего балансировку моста; резистора $R_{ш}$, шунтирующего реохорд; резисторов R_n , R_v , определяющих нижний и верхний пределы измерения; резисторов r_n , r_v , выполняющих роль подстроечных сопротивле-

ний; резистора R_6 , служащего для ограничения тока в цепи источника питания; резисторов R_1 , R_2 , R_3 , являющихся плечами моста; термометра сопротивления R_0 ; резисторов $R_{л1}$, $R_{л2}$ для подгонки сопротивления соединительных проводов до градуировочного значения.

Мост работает следующим образом. При изменении температуры пастеризуемого молока меняется сопротивление R_0 , в результате чего нарушается равновесие измерительной схемы. Сигнал рассогласования, пропорциональный разности между заданными значениями температуры и ее действительным значением, усиливается усилителем и вызывает вращение реверсивного двигателя PD, который, перемещая движок реохорда в соответствующую сторону, восстанавливает равновесие измерительной схемы.

Уравнительный бак 12 имеет поплавковый регулятор прямого действия, который исключает пригорание пастеризуемого молока за счет обеспечения непрерывной его подачи в пастеризатор. Таким образом исключается подсос воздуха в молочный насос. Невыполнение этого условия приводит к пенообразованию, которое снижает эффективность пастеризации. Поплавковый регулятор поддерживает уровень молока не менее 300 мм.

Пульт управления служит для размещения в нем пусковой, контролирующей и сигнализирующей аппаратуры. Кнопки управления 22 (см. рис. 10.1) служат для включения электродвигателей в работу и ручного управления регулирующим клапаном пара. Лампы 20 сигнализируют о включении пульта и электродвигателей в работу и о падении температуры пастеризуемого молока ниже 90°C . Ручным переключателем управления переводят работу системы регулирования с автоматического режима на дистанционный и наоборот. С помощью автоматического выключателя 27 на пульт управления подается электроэнергия. Питание пульта управления осуществляется напряжением 380 В, 50 Гц через автоматический выключатель АЕ 2033-10, а цепей управления сигнализации – напряжением 220 В, 50 Гц.

Магнитный пускатель (рис. 10.3) предназначен для автоматического или дистанционного управления электродвигателями и другими электроприемниками. Пускатель имеет две основные части – неподвижную и подвижную. Неподвижная часть представляет собой пластмассовое основание 4, на котором укреплены Ш-образный магнитопровод 3, силовые и вспомогательные контакты 5. Магнитопровод набран из большого количества изолированных друг от друга (для уменьшения потерь от вихревых токов) листов электротехнической

стали толщиной 0,3...0,5 мм. На среднюю часть магнитопровода надета катушка 2, рассчитанная на сетевое напряжение (фазное или линейное). Подвижная часть представляет собой пластмассовое основание 7, на котором укреплены Ш-образный магнитопровод 1 и мостиковые контакты 6.

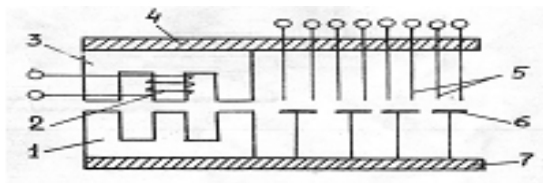


Рис. 10.3. Электрическая схема магнитного пускателя:
1, 3 – Ш-образный магнитопровод; 2 – катушка; 4, 7 – пластмассовое основание;
5 – силовые и блокировочные контакты; 6 – мостиковые контакты

При протекании через катушку пускателя электрического тока намагничивается магнитопровод 3 неподвижной части и притягивает к себе магнитопровод 1 подвижной части. В результате замыкаются силовые (главные) и блокировочные (вспомогательные) контакты.

Управление магнитным пускателем осуществляется с помощью кнопочной станции или контактами других аппаратов в автоматическом режиме.

Кнопочная станция имеет кнопки «Пуск» и «Стоп». Ее применение обусловлено необходимостью подачи напряжения на соответствующие катушки магнитных пускателей для включения электродвигателей молокоочистителя, насосов подачи молока и горячей воды.

Электромагнит представляет собой цилиндрический сердечник, выполненный из ферромагнитного материала (электротехнической стали), на который надета катушка. Внутри сердечника находится подвижный якорь. При протекании тока по катушке возникает магнитный поток, создаваемый током катушки и сердечником, и якорь перемещается под его действием. Электромагнит преобразует энергию электрического тока в поступательное движение якоря.

Реле напряжения переменного тока в данной системе автоматики используется для управления работой регулирующего клапана пара и другими элементами. Реле имеет катушку и контакты, катушка расположена на сердечнике, который служит магнитопроводом. На электрических схемах графически изображаются только катушка и контакты.

Реле работает следующим образом. При протекании управляющего электрического тока по катушке в сердечнике возникает магнитный поток, который вызывает притягивающую электромагнитную силу, в результате чего реле срабатывает, и это вызывает замыкание контактов (т. е. включение управляемой цепи).

Защита электродвигателей от перегрузок осуществляется тепловыми реле КК1, КК2 и КК3 (рис. 10.4) с одноименными контактами.

Защита силовых цепей и цепей управления от токов короткого замыкания осуществляется автоматическим выключателем QF , а также плавким предохранителем FU .

На принципиальной схеме системы автоматизации пастеризационно-охладительной установки ОПФ-1-300 (рис. 10.4) все элементы изображены в соответствии с условными обозначениями во взаимосвязи между собой.

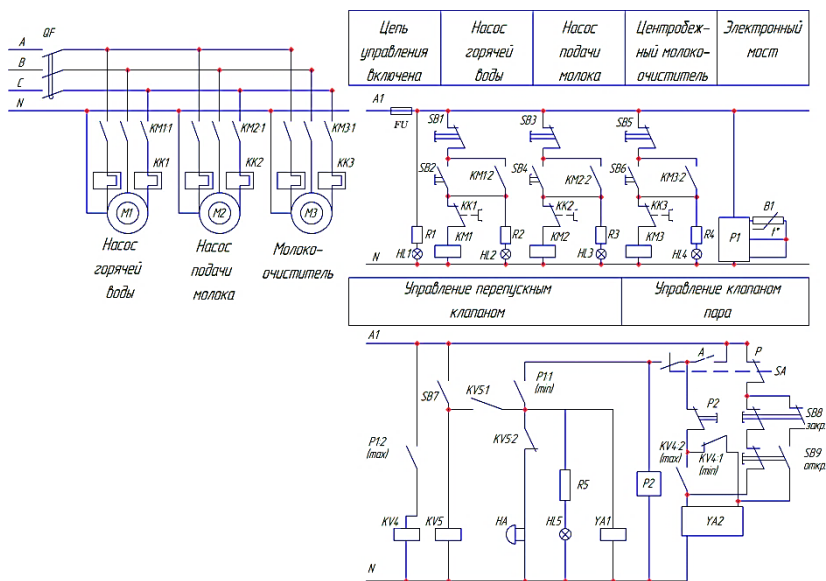


Рис. 10.4. Принципиальная электрическая схема установки ОПФ-1-300

Изображение элементов соответствует выключенному (обесточенному) состоянию всех цепей схемы и отсутствию внешних воздействий. Каждому элементу принципиальной схемы присвоено уникаль-

ное буквенно-цифровое позиционное обозначение. Буквенное обозначение представляет собой сокращенное наименование элемента, а цифровое в порядке возрастания и в определенной последовательности условно показывает нумерацию элемента, считая слева направо или сверху вниз.

Положение ручного переключателя на пульте управления обеспечивает «Автоматический» (А) или «Ручной» (Р) режимы работы изучаемой пастеризационно-охладительной установки ОПФ-1-300.

Для автоматического управления процессом пастеризации необходимо переключатель SA поставить в положение «А». Запитывается ступенчатый импульсный прерыватель P2, и включается в работу регулирующий клапан пара YA2, увеличивая его подачу. Вначале вручную пускаются в работу последовательно центробежный молокоочиститель M3, насос подачи молока M2 и насос горячей воды M1. Пуск этих агрегатов обеспечивается соответственно нажатием на кнопки SB6, SB4 и SB2. В результате запитываются катушки магнитных пускателей KM3, KM2 и KM1, которые своими силовыми контактами KM3:1, KM2:1, KM1:1 подключают к трехфазной сети статорные обмотки асинхронных электродвигателей M3, M2 и M1. Одновременно кнопки SB6, SB4, SB2 шунтируются блок-контактами KM3:2, KM2:2 и KM1:2 магнитных пускателей.

Замыкающий контакт P1:1 электронного моста P1 замыкается, и запитывается фазным напряжением электромагнит YA1 перепускного клапана, приборы световой HL и звуковой HA сигнализации. При минимальном значении температуры пастеризуемого молока (90 °С) контакт P1:1 электронного моста размыкается и обесточивается катушка электромагнита YA1 (перепускной клапан направляет молоко в выдерживатель). Контакт P1:2 замыкается при максимальном значении температуры пастеризуемого молока (94 °С), и запитывается катушка промежуточного реле KV4. В результате его срабатывания замыкается контакт KV4:1 и замыкается контакт KV4:2. Электромагнит YA2 действует таким образом, что регулирующий клапан уменьшает подачу пара.

Ручное управление обеспечивается постановкой переключателя на пульте управления в положение «Р». Все операции управления режимом пастеризации выполняются вручную оператором. Управление работой молокоочистителя, насосами подачи молока и горячей воды осуществляется кнопками SB5 и SB6, SB3 и SB4, SB1 и SB2. Кнопка-

ми SB8, SB9 управляют подачей пара вручную. Так, при нажатии на кнопку SB8 срабатывает электромагнит YA2 так, что подача пара прекращается путем закрытия регулирующего клапана. Нажатием на кнопку SB9 обеспечиваются открытие регулирующего клапана и подача пара.

Прибор звуковой сигнализации HA отключается кнопкой SB7. Путем нажатия на кнопку SB7 запитывается катушка промежуточного реле KV5, контакт KV5:1 которого обесточивает цепь питания прибора звуковой сигнализации.

Для запуска пастеризационно-охладительной установки ОПФ-1-300 в работу необходимо установить переключатель на пульте управления на автоматическое управление. В результате включается молокоочиститель, который должен работать на полных оборотах к моменту подачи молока, иначе возможен перелив молока из барабана в чашу станины. Затем включается подача молока в аппарат. После этого открывается запорный вентиль подачи пара и включается насос подачи горячей воды. При таком порядке пуска молоко из уравнительного бака вытесняет воду, оставшуюся в аппарате после стерилизации. Воду необходимо спускать до тех пор, пока не будет вытекать молоко. При этом уровень молока в уравнительном баке должен быть не менее 300 мм во избежание подсоса воздуха в молочный насос.

Вначале молоко имеет температуру 90 °С. Поэтому оно автоматически с помощью перепускного клапана возвращается из секции пастеризации обратно в уравнительный бак. Такая циркуляция первых порций молока продолжается до температуры его нагрева, равной 90 °С. В этот момент необходимо включать подачу холодной воды.

Для прекращения работы ОПФ-1-300 необходимо закрыть подачу молока в уравнительный бак. Когда остаток молока из бака уйдет в насос, нужно подать воду для вытеснения молока из аппарата. Подача воды продолжается до прекращения вытекания молока из установки. Этот момент определяется по виду струи, пробой на вкус или замером плотности лактоденсиметром. Затем прекращается подача пара, отключается молочный насос, насос горячей воды и останавливается молокоочиститель.

Контрольные вопросы

1. Объяснить назначение, устройство и принцип работы пастеризационно-охладительной установки ОПФ-1-300, используя функциональную схему.
2. Объяснить назначение, устройство и принцип действия системы автоматики пастеризационно-охладительной установки ОПФ-1-300.
3. Объяснить назначение, устройство и принцип действия основных элементов системы автоматики пастеризационно-охладительной установки ОПФ-1-300.
4. Как и в какой последовательности необходимо запускать и останавливать установку ОПФ-1-300?
5. Как настроить систему автоматики установки ОПФ-1-300 на нужный температурный режим работы?
6. Какие основные регулировки имеет установка ОПФ-1-300?
7. Объяснить устройство и принцип действия магнитного пускателя.
8. Объяснить устройство и принцип действия перепускного электрогидравлического клапана молока.

Лабораторная работа 11. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛАХ

Цель работы: 1) ознакомиться с методами обнаружения посторонних включений в сырье различного вида, его ингредиентах и готовой продукции;

2) изучить назначение, устройство и принцип действия системы автоматизации, ее возможные неполадки;

3) усвоить правила пуска, остановки и настройки системы автоматизации на нужный режим работы.

11.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте расположена система автоматического контроля металлических примесей в сыпучих материалах и учебный планшет с ее принципиальной электрической схемой.

11.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить назначение, устройство и принцип действия системы автоматического контроля.

2. Усвоить правила пуска, остановки и настройки системы автоматизации на нужный режим работы.

3. Научиться определять неисправности в работе системы автоматизации, которые могут возникать при ее эксплуатации.

4. Разработать электрическую схему, которая исключила бы попадание в дробилку железистых примесей совместно с сырьем. Для разработки схемы использовать трехфазный двигатель, магнитный пускатель, размыкающие контакты реле, которые применяются в системах автоматического контроля, а также звуковой сигнал. Описать принцип действия разработанной схемы.

5. Составить отчет по лабораторной работе, в котором должен быть представлен краткий обзор методов обнаружения посторонних включений, вычерчена принципиальная электрическая схема системы автоматического контроля металлических примесей в сыпучих материалах (рис. 11.1), описано ее устройство и принцип работы.

11.3. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы литературных источников: [3, с. 37–44; 5, с. 52–58; 16, с. 76–81; 21, с. 154–159; 22, с. 45–63; 29, с. 104–113].
2. Записать основные положения по назначению, устройству и принципу действия системы автоматического контроля металлических примесей в сыпучих материалах.
3. Записать данные по объекту управления.

11.4. Методы обнаружения посторонних включений. САК металлических примесей

Технологические процессы в сельскохозяйственном производстве и промышленности предусматривают механическую обработку и транспортировку сырья, ингредиентов и готовой продукции. В ходе процесса не исключена возможность попадания в обрабатываемый материал частиц металлов и неметаллов, что может вызвать повреждение рабочих органов машин, ускорить их износ и т. д. При поточном механизированном производстве попадание посторонних включений в продукцию практически неизбежно.

В нормативной документации (ГОСТы, ТУ) имеются категорические требования о недопустимости наличия посторонних включений в готовой продукции. Продукция с посторонними примесями должна быть обнаружена и отбракована до завершения производственного процесса. Поэтому необходимо включать в состав таких линий установки для сплошного контроля и автоматического удаления из технологического потока изделий с посторонними включениями без остановки оборудования.

Средства, применяемые для контроля, можно разделить на неразрушающие и разрушающие. При неразрушающем контроле продукт, не имеющий дефекта, сохраняет свои качества, несмотря на то, что при контроле на него оказывается определенное воздействие (потoki нейтронов, электромагнитное поле и т. д.).

Перспективными средствами контроля можно считать такие, которые, не изменяя качества, параметров и характеристик контролируемого продукта, позволяют по косвенным, вторичным признакам обнаруживать посторонние включения.

Методы интегральной диагностики дают возможность обнаруживать посторонние включения, но не позволяют однозначно установить

причину и локализацию дефекта в продукте. В основе интегральных методов лежит измерение специфических параметров или их совокупности (в статическом или динамическом режиме).

Методы локальной диагностики позволяют установить локальную зону возникновения дефекта, а также выделить одну из многих причин ее возникновения (т. е. локализовать причину).

Рассмотрим некоторые физические методы контроля и оценим их эффективность.

Оптический метод заключается в пропускании через продукт светового излучения и определении оптических показателей инородного включения по степени преломления, поглощения или рассеяния светового излучения. Этот метод непригоден для контроля оптически непрозрачных материалов.

Магнитометрический метод основан на регистрации магнитных потоков рассеяния, вызванных присутствием постороннего тела внутри исследуемого вещества. Различают обнаружение в постоянном и переменном магнитных полях. Этот метод позволяет обнаруживать только металлические частицы.

Рентгеноскопия. В основе метода – большая проникающая способность рентгеновских лучей. Исследуемые лучами участки объекта имеют различные химический состав и плотность, поэтому при прохождении через объект лучи будут ослабляться в разной степени, и эту разницу можно зафиксировать. Однако использование рентгеновских установок сопряжено с риском для здоровья человека. К тому же организация контроля на всех участках производственной цепочки требует больших капиталовложений на аппаратуру и специально оборудованные помещения.

Радиоактивный метод схож с рентгеноскопией, только основан на применении гамма-излучения, возникающего в результате ядерных превращений. Однако применение этого метода ограничено, что связано с необходимостью защиты персонала.

Ультразвуковой метод основан на измерении скорости отражения и поглощения ультразвуковых волн в зависимости от физико-химических свойств исследуемого продукта. Для обнаружений посторонних включений используются «теневой» и «эхо»-способы.

Электрометрические методы основаны на связи между электропроводностью и физико-химическими свойствами объекта. Электрофизические свойства характеризуют физическое состояние, химическую структуру и электрические характеристики продукта, поэтому

методы на этой основе можно отнести к универсальным. Они отличаются практически мгновенным преобразованием изменения физических параметров исследуемого объекта в электрический сигнал, что позволяет автоматизировать процесс обнаружения и отбраковки посторонних включений, применяя сравнительно простые технические решения.

Электрические процессы, происходящие в зоне датчика обнаружителя, не оказывают никакого влияния на свойства контролируемых продуктов и совершенно безопасны для персонала. Они являются наиболее перспективными для применения.

Электрометрические методы подразделяются на индуктивные, емкостные и контактные.

Индуктивный метод основан на переменном магнитном поле. В качестве датчика используется индуктивная ячейка. Аномалии электропроводности обнаруживаются по изменению комплексных сопротивлений или проводимости катушки ячейки. При прохождении через датчик металлической частицы она становится источником вторичного поля, что регистрируется как импульс напряжения. В случае прохождения через датчик неметаллической частицы чувствительность датчика будет низкой.

Емкостной метод основан на применении в качестве датчика конденсатора, через обкладки которого проходит контролируемый продукт. Присутствие в продукте примесей с проводимостью, отличной от проводимости продукта, повлечет за собой изменение общей проводимости емкостной ячейки, что фиксируется измерительной аппаратурой. Однако при работе емкостной ячейки с продуктами высокой проводимости ее чувствительность резко снижается, что является ограничением к использованию этого метода для применения.

Электроконтактный метод основан на измерении проводимости исследуемого продукта с помощью введенных в него электродов, через которые пропускают постоянный или переменный ток. Если в продукт попадают частицы с иной удельной проводимостью, изменится общая проводимость столба продукта, расположенного между электродами, что фиксируется измерительной аппаратурой.

К достоинствам метода следует отнести высокую чувствительность на продуктах с высокой проводимостью, возможность дифференцировать частицы по размеру, а также классифицировать частицу как диэлектрик или проводник. Этим методом можно обнаруживать ферромагнитные и неферромагнитные частицы, проводники и диэлектрики.

Недостатки метода – изменение проводимости участка между электродами со временем по причине загрязнения и окисления электродов. Ослабить этот процесс можно, используя специальные материалы для электродов, а также регулярно промывая контакты, что в условиях производства обычно не вызывает дополнительных трудностей, так как промывка технологического оборудования является частью производственного процесса.

Система автоматического контроля (САК) должна обнаруживать крупные металлические примеси в исходном материале и обеспечивать сигнализацию об их наличии. Попадание их в дробилку может вызвать поломку или заклинивание ее рабочих органов с последующим «опрокидыванием» электрического двигателя привода дробилки.

Разработанная студентом электрическая схема, дополняющая принципиальную электрическую схему системы автоматики (САК) должна исключать попадание крупных железистых примесей в дробилку и предотвращать аварийную ситуацию.

Система автоматического контроля состоит из электронного усилителя, измерительного преобразователя ДИ-2А индуктивного типа и устройства сигнализации.

Измерительный преобразователь (ИП) ДИ-2А представляет собой дроссель, имеющий магнитопровод и две обмотки Z_1 и Z_2 (рис. 11.1).

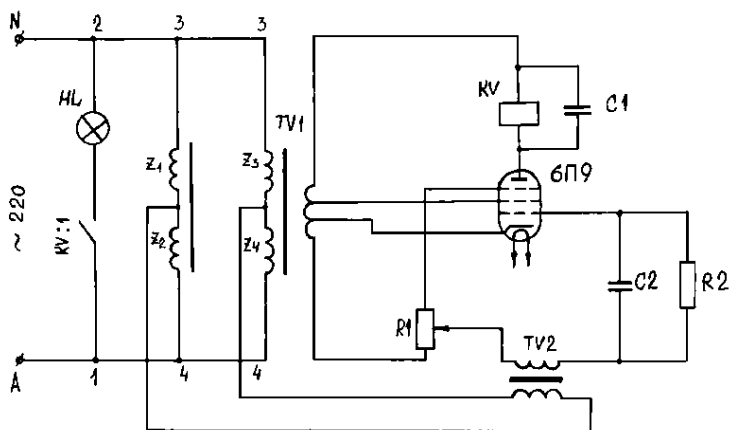


Рис. 11.1. Принципиальная электрическая схема системы автоматического контроля металлических примесей в сыпучих материалах

Преобразователь ДИ-2А реагирует на изменение магнитного состояния рабочего пространства при появлении над ним ферромагнитных материалов. Измерительный преобразователь предназначен для работы в схемах автоматического контроля.

Электронный усилитель выполнен на основе пентода 6П9, к электродам которого подсоединены потенциометр R1, конденсатор C2 и резистор R2. Электроды пентода питаются от вторичных обмоток трансформаторов TV1 и TV2. Усилитель обеспечивает усиление электрического сигнала, поступающего от измерительного преобразователя ДИ-2А. Усиленный сигнал используется для управления световой и звуковой сигнализацией, а также для работы системы автоматики, разработанной студентом и дополняющей систему автоматического контроля по обнаружению металлических материалов.

Устройство сигнализации включает реле KV, шунтирующий катушку реле конденсатор C1, сигнальную лампу HL.

Принципиальная электрическая схема системы автоматики включает измерительный мост переменного тока. Он состоит из двух катушек индуктивного преобразователя ДИ-2А с сопротивлениями Z_1 и Z_2 , двух первичных обмоток трансформатора TV1 с сопротивлениями Z_3 и Z_4 и питается от источника переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

Равновесие моста $Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$ соответствует условию, когда в зоне действия индуктивного преобразователя ДИ-2А отсутствуют металлические материалы. Равновесное состояние моста обеспечивается конструктивным исполнением обмоток ДИ-2А и первичных обмоток трансформатора TV1, имеющих необходимые значения их полных сопротивлений.

Система автоматики работает следующим образом. При отсутствии металлических материалов над катушкой Z_1 или Z_2 измерительный мост находится в равновесии. Поэтому отсутствует напряжение в диагонали моста, которая соединена с первичной обмоткой трансформатора TV2. Управляющая сетка лампы, соединенная через потенциометр R1 со вторичной обмоткой TV2, не получает питания. Лампа закрыта по анодному току и усилитель не работает. Обесточенная катушка реле KV поддерживает контакты KV:2 разомкнутыми.

При появлении металлических материалов над катушкой преобразователя ДИ-2А нарушается равновесие моста в силу изменения сопротивления этой катушки. В диагонали измерительного моста появляется электрический сигнал в виде напряжения, которое запитывает

первичную обмотку TV2 и обеспечивает питание через R1 управляющей сетки лампы. Последняя открывается по анодному току при положительной полувольте напряжения на обмотке TV2. В результате срабатывает реле KV и его замыкающие контакты KV:1 запитывают лампу HL, которая сигнализирует о наличии металлических предметов. Одновременно заряжается конденсатор C1, потенциал которого при отрицательной полувольте напряжения на обмотке трансформатора TV2 поддерживает ток в катушке KV реле напряжения. Его контакты KV:1 продолжают быть замкнутыми и лампа не гаснет.

Потенциометром R1 изменяется ток в цепи управляющей сетки лампы. Изменяя сопротивление R1, можно регулировать чувствительность усилителя. Значение сигнала, поступающего на вход усилителя, зависит от массы металлического предмета.

Контрольные вопросы

1. Назвать и объяснить применяемые методы для обнаружения посторонних включений.
2. Объяснить устройство и принцип действия системы контроля металлических примесей.
3. Объяснить устройство и принцип действия ИП ДИ-2А.
4. Какие функции в системе автоматического контроля выполняет электромагнитное реле?
5. Как регулируется чувствительность системы автоматического контроля?
6. Объяснить устройство и принцип действия дополнительно разработанной схемы к системе автоматического контроля металлических примесей.

Лабораторная работа 12. СИСТЕМА АВТОМАТИКИ ДРОБИЛКИ ДБ-5

Цель работы: 1) изучить назначение, устройство и принцип действия системы автоматики, ее возможные регулировки;

2) усвоить правила пуска, остановки и настройки системы автоматки на нужный режим работы.

12.1. Объект и средства исследования

На рабочем месте расположена дробилка ДБ-5, оснащенная системой автоматки и учебный планшет с ее принципиальной электрической схемой.

12.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить назначение, устройство и принцип действия системы автоматки дробилки ДБ-5.

2. Усвоить правила пуска, остановки и настройки системы автоматки на нужный режим работы.

3. Научиться определять неисправности в работе системы автоматки, которые могут возникать при ее эксплуатации.

4. Составить отчет по лабораторной работе, в котором должны быть представлены принципиальная электрическая схема системы автоматки дробилки ДБ-5 с кратким описанием ее назначения, устройства и принципа действия, а также описанием назначения, устройства и принципа действия ее основных элементов.

12.3. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы литературных источников: [4, с. 233–246; 5, с. 97–99; 16, с. 150–187; 17, с. 206–209; 22, с. 160–172; 30].

2. Записать основные положения по назначению, устройству и принципу действия системы автоматки дробилки ДБ-5, а также описать назначение, устройство и принцип действия ее основных элементов.

3. Записать паспортные данные объекта исследования.

12.4. Система автоматики дробилки ДБ-5 и ее элементы

Дробилка ДБ-5 (рис. 12.1) предназначена для измельчения фуражного зерна для различных видов и возрастных групп животных и птиц. Дробилка состоит из загрузочного и выгрузного шнеков, дробильного агрегата и шкафа управления.

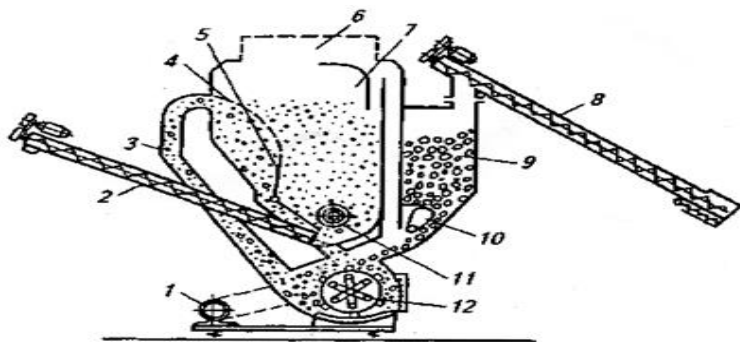


Рис. 12.1. Функциональная схема дробилки ДБ-5:

- 1 – электродвигатель; 2 – выгрузный шнек; 3 – кормопровод;
4 – решетчатый сепаратор; 5 – регулирующая заслонка; 6 – фильтр;
7 – разделительная камера; 8 – шнек; 9 – бункер; 10 – заслонка;
11 – ворошилка; 12 – ротор

Подлежащее измельчению зерно шнеком 8 загружается в бункер 9, где его уровень автоматически поддерживается двумя датчиками уровня (верхний отключает загрузочный шнек, а нижний включает его). Подачу зерна на измельчение регулируют заслонкой 10 и осуществляют за один неполный оборот ротора 12. Открытие заслонки регулирует автоматический регулятор загрузки (АРЗ). При увеличении нагрузки заслонка прикрывается и подача зерна уменьшается.

Если зерно не поступает в дробильную камеру, то автоматически включается звуковой сигнал с помощью конечного выключателя, установленного на крышке электропривода заслонки.

В дробильной камере зерно измельчается ударами молотков о деку, а также ударами зерна друг о друга и о другую деку.

Далее продукт дробления по кормопроводу 3 воздушным потоком перемещается в разделительную камеру 7. Достаточно измельченное зерно, прошедшее решетчатый сепаратор 4, представляет собой готовый продукт и выгружается с помощью ворошилки 11 и выгрузного

шнека 2. Оставшаяся часть возвращается в дробильную камеру, причем количество продукта устанавливает оператор с помощью регулирующей заслонки 5 (в крайнем правом положении заслонки весь материал идет на выгрузку без деления на фракции). Одна часть запыленного воздуха возвращается в дробильную камеру, а другая часть, пройдя фильтр 6, выбрасывается в атмосферу.

В системе автоматики дробилки использованы следующие основные элементы: автоматический регулятор загрузки (АРЗ), магнитные пускатели (КМ), электромагнитная муфта (YA), реле времени (КТ), реле напряжения (KV), путевые выключатели (SQ).

Автоматический регулятор загрузки представляет собой электронный блок. Он поддерживает такое положение заслонки, при котором количество поступающего на измельчение зерна обеспечивает непрерывный процесс измельчения при номинальной загрузке электродвигателя и предотвращает завал дробилки зерном или перегрузку электродвигателя.

Контролируемым параметром здесь является ток электродвигателя дробильного аппарата, значение которого зависит от количества подаваемого зерна в дробилку и который контролируется регулятором загрузки. Положение заслонки, которая имеет отдельный электропривод, определяет загрузку дробилки. Заданное значение тока регулирования соответствует номинальному току электродвигателя дробильного аппарата (значение тока соответствует паспортным данным двигателя).

Когда значение регулируемого тока превышает заданное на 14...20 %, регулятор загрузки, действуя на электродвигатель, заставляет его вращаться в сторону, соответствующую опусканию заслонки, чем уменьшает подачу зерна и, соответственно, контролируемый ток.

Когда значение регулируемого тока меньше заданного на 14...20 %, регулятор загрузки, действуя на электродвигатель, заставляет его вращаться в сторону, соответствующую открытию заслонки, чем увеличивает подачу зерна и, соответственно, контролируемый ток.

При значительном превышении регулируемого тока регулятор загрузки, действуя на заслонку, перекрывает поступление зерна в дробилку.

Магнитный пускатель (рис. 12.2) предназначен для автоматического или дистанционного управления электродвигателями и другими электроприемниками. Пускатель имеет две основные части – неподвижную и подвижную. Неподвижная часть представляет собой пластмассовое основание 4, на котором укреплены Ш-образный маг-

нитопровод 3, силовые и вспомогательные контакты 5. Магнитопровод набран из большого количества изолированных друг от друга (для уменьшения потерь от вихревых токов) листов электротехнической стали толщиной 0,3...0,5 мм. На среднюю часть магнитопровода надета катушка 2, рассчитанная на сетевое напряжение (фазное или линейное). Подвижная часть представляет собой пластмассовое основание 7, на котором укреплены Ш-образный магнитопровод 1 и мостиковые контакты 6.

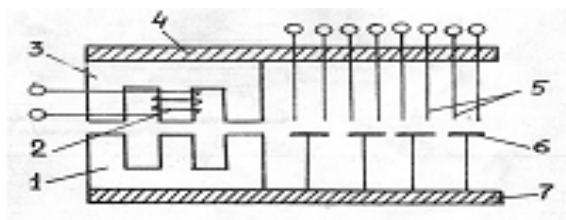


Рис. 12.2. Электрическая схема магнитного пускателя:

1, 3 – Ш-образный магнитопровод; 2 – катушка;

4, 7 – пластмассовое основание;

5 – силовые и блокировочные контакты; 6 – мостиковые контакты

При протекании через катушку пускателя электрического тока намагничивается магнитопровод 3 неподвижной части и притягивает к себе магнитопровод 1 подвижной части. В результате замыкаются силовые (главные) и блокировочные (вспомогательные) контакты.

Управление магнитным пускателем осуществляется с помощью кнопочной станции или контактами других аппаратов в автоматическом режиме.

Кнопочная станция может иметь две или три кнопки «Пуск вперед», «Стоп» и «Пуск назад». Применение той или иной кнопочной станции зависит от конкретных условий: используется реверсивный или неревверсивный электродвигатель.

Электромагнит представляет собой цилиндрический сердечник, выполненный из ферромагнитного материала (электротехнической стали), на который надета катушка. Внутри сердечника находится подвижный якорь. При протекании тока по катушке возникает магнитный поток, создаваемый током катушки и сердечником, и якорь перемещается под его действием. Электромагнит преобразует энергию электрического тока в поступательное движение якоря.

Реле времени предназначено для автоматического включения и выключения потребителей электрического тока по независимым временным программам. Реле имеет синхронный электродвигатель, передаточный механизм, контакты и устройство для задания программы времени.

Реле напряжения переменного тока в данной системе автоматики управляет работой, включает и выключает магнитный пускатель и электромагнит. Реле имеет катушку и контакты, катушка расположена на сердечнике, который служит магнитопроводом. На электрических схемах графически изображаются только катушка и контакты.

Реле работает следующим образом. При протекании управляющего электрического тока по катушке в сердечнике возникает магнитный поток, который вызывает притягивающую электромагнитную силу, в результате чего реле срабатывает и это вызывает замыкание контактов (т. е. включение управляемой цепи).

Путевой выключатель имеет переключающий рычаг с роликом и контакты, связанные с рычагом. При отклонении ролика рычаг действует на контакты и замыкает их.

На принципиальной схеме системы автоматики дробилки ДБ-5 (рис. 12.3) все элементы изображены в соответствии с условными обозначениями во взаимосвязи между собой.

Изображение элементов соответствует выключенному (обесточенному) состоянию всех цепей схемы и отсутствию внешних воздействий. Каждому элементу принципиальной схемы присвоено буквенно-цифровое позиционное обозначение. Буквенное обозначение представляет собой сокращенное наименование элемента, а цифровое в порядке возрастания и в определенной последовательности условно показывает нумерацию элемента, считая слева направо или сверху вниз.

Работа принципиальной схемы. Переключателем SA2 выбираем режим работы схемы – рабочий или наладочный. В наладочном режиме оборудование включается в любом порядке, проверяется направление вращения валов, работа датчиков уровня и блокировки. В рабочем режиме оборудование включается в порядке, обратном технологической схеме. Сначала происходит включение электродвигателей шнека выгрузки, затем дробилки и шнека загрузки. Отключение происходит в обратной последовательности.

Включаем трехфазный переключатель SA1 и автоматические выключатели QF1 и QF2. Напряжение поступает в цепь управления, о чем сигнализирует лампочка HL. При включении автомата QF1 его

одноименный независимый контакт замыкается и подготавливает к включению двигатель дробилки M2.

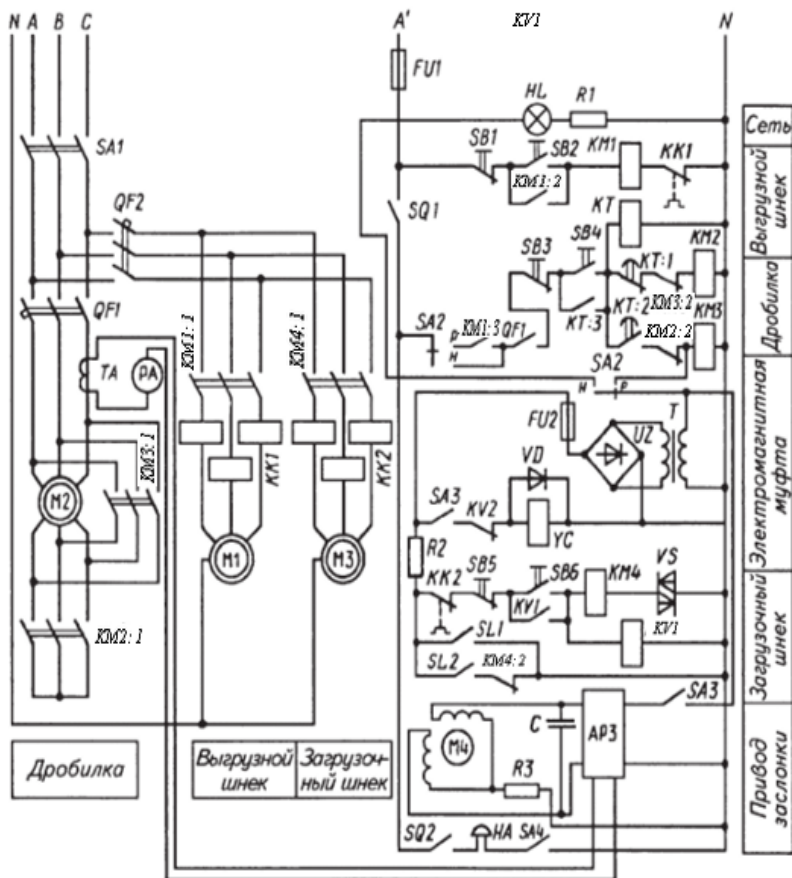


Рис. 12.3. Принципиальная схема системы автоматики дробилки ДБ-5

Рабочий режим. Для включения выгрузного шнека нажимаем кнопку SB2 и запитываем катушку магнитного пускателя KM1, в результате чего его силовой контакт KM1:1 замыкается и запускается электродвигатель M1, который приводит в действие выгрузной шнек. Вспомогательный контакт KM1:2 при этом замыкается, ставя катушку

магнитного пускателя КМ1 на самоподпитку, а контакт КМ1:3, замыкаясь, подготавливает к включению дробилку.

Для обеспечения облегченного пуска электродвигателя дробилки электросхемой предусмотрено переключение обмоток статора со «звезды» на «треугольник». Переключение происходит автоматически. Двигатель дробилки М2 включится в том случае, если закрыт защитный кожух и замкнут контакт конечного выключателя SQ1. Для его включения нажимаем кнопку SB4, в результате чего запитывается катушка реле времени КТ и катушка магнитного пускателя КМ2. Контакт реле времени КТ3 замыкается, ставя катушку реле на самоподпитку, а силовой контакт магнитного пускателя КМ2:1 замыкается и запускает электродвигатель дробилки М2 по схеме «звезда». Через 10 с реле времени КТ пере замыкает свои контакты (контакт КТ1 размыкается, а контакт КТ2 замыкается), обесточивая таким образом катушку магнитного пускателя КМ2 и запитывая катушку магнитного пускателя КМ3. В результате силовой контакт магнитного пускателя КМ3:1 замыкается и электродвигатель дробилки М2 включается по схеме «треугольник».

Размыкающие контакты КМ3:2 и КМ2:2 используются как дополнительная защита электродвигателя дробилки от возможного замыкания в случае пригорания контактов реле времени.

Электродвигатель загрузочного шнека работает в повторно-кратковременном режиме. Загрузочный шнек пускают, нажимая кнопку SB6 при незаполненном бункере дробилки. В результате чего запитываются катушки магнитного пускателя КМ4 и промежуточного реле КV1. Силовые контакты магнитного пускателя КМ4:1 замыкаются, запускается электродвигатель загрузочного шнека М3, и зерно поступает в приемный бункер. Контакт промежуточного реле КV1 замыкается, ставя на самоподпитку магнитный пускатель КМ4 и обеспечивая его повторное автоматическое включение.

При поступлении зерна в бункер сначала срабатывает мембранный датчик нижнего уровня SL2, а затем и верхнего уровня SL1. При замыкании датчика SL1 цепь управления симистора VS шунтируется. На управляющий электрод приходит нулевой сигнал, симистор закрывается, а катушка магнитного пускателя КМ4 обесточивается. Электродвигатель загрузочного шнека отключается. Повторный пуск шнека происходит автоматически после опорожнения бункера и размыкания контактов датчиков верхнего SL1 и нижнего SL2 уровней. В этом случае на симистор VS поступает единичный сигнал, симистор открыва-

ется и запитывает катушку магнитного пускателя КМ4. Замыкаются его силовые контакты КМ4:1, и запитывается электродвигатель М3.

Для запуска в работу автоматического регулятора загрузки АРЗ включаем переключатель SA3. Контакт АРЗ замыкается, напряжение подается на электромагнитную муфту YC, связанную с реверсивным электродвигателем М4. АРЗ получает сигнал с трансформатора тока ТА, установленного на одной из фаз в силовой цепи электродвигателя М2. Ток нагрузки электродвигателя дробилки контролируется амперметром РА. Подача зерна регулируется автоматически, в зависимости от силы тока, потребляемого двигателем дробилки. При увеличении нагрузки (а следовательно, и силы тока) АРЗ подает команду на двигатель М4, который прикрывает заслонку, или, наоборот, при снижении силы тока (а следовательно, и нагрузки) АРЗ подает команду на двигатель М4 для открытия заслонки.

При значительных перегрузках двигателя и перерывах в электропитании АРЗ запитывает катушку промежуточного реле KV2, контакт которого KV2 размыкается и обесточивает электромагнитную муфту YC, соединяющую заслонку с электродвигателем М4. При этом заслонка под действием пружины закрывается и перекрывает подачу зерна в дробильную камеру.

При значительном снижении нагрузки заслонка полностью открывается, при этом замыкается контакт конечного выключателя SQ2 и включается звонок НА (при включенном переключателе SA4). Отключается оборудование в обратном порядке.

Защита электродвигателей от перегрузок осуществляется тепловыми реле КК1 и КК2 с одноименными контактами.

Защита силовых цепей и цепей управления от токов короткого замыкания осуществляется автоматическими выключателями QF1 и QF2, а также предохранителями FU1 и FU2.

Регулятор загрузки (рис. 12.4) работает следующим образом. С помощью трансформатора тока ТА2, выпрямительного моста VD 24 и конденсатора фильтра С4 контролируемый ток двигателя дробилки преобразуется в выпрямленное напряжение, которое сравнивается со стабилизированным напряжением постоянного тока, снимаемым с потенциометра R9.

Алгебраическая сумма измеряемого и опорного напряжения с помощью резисторов R14 и R15 складывается с напряжением смещения, снимаемым с потенциометра R5. Напряжение смещения устанавливается такого значения, чтобы порог срабатывания транзисторов VT1 и

VT2 был выше этого напряжения на зону нечувствительности регулятора. К потенциометру R5 и резисторам R6, R14 подключены контуры R16, C6 и R17, C7, а к потенциометру R13 и резисторам R6, R15 подключены RC-контуры R42, C17 и R43, C18. Параллельный RC-контур R28, R29, C10 непосредственно подключен опорным диодом VD1 к стабилизированному источнику питания.

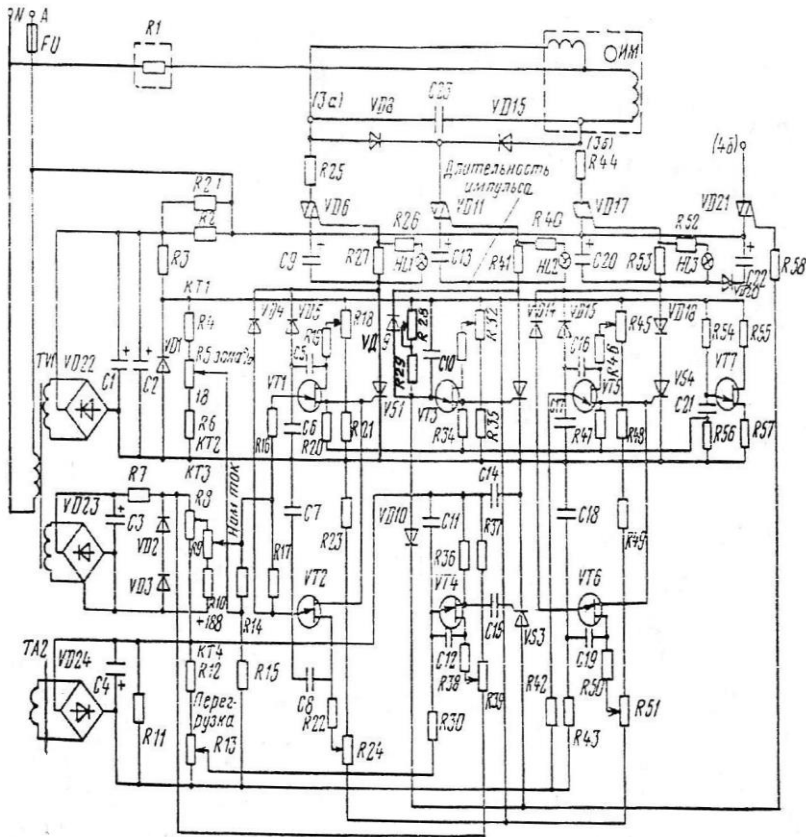


Рис. 12.4. Принципиальная схема автоматического регулятора загрузки дробилки

Параллельно источнику измеряемого напряжения, образованному TA2, VD 24 и C4, подсоединены потенциометр R13 и резистор R12.

К потенциометру R13 подключен контур R30, C11, установленный в цепи эмиттера транзистора VT4. При включении регулятора загрузки в сеть через конденсатор C10 эмиттер-базу транзистора VT3 и резисторы R34 и R55 проходит зарядный импульс, под действием которого отпирается отключающий тиристор триггера VS2. Конденсатор C10 через разделительный диод VD9 подключается к открытому тиристоры VS2 и поддерживается в заряженном состоянии до тех пор, пока тиристор VS2 открыт. Тиристор VS2 через резистор R41 включает симистор VD11, который через резистор R31 и диоды VD8 и VD15 обеспечивает динамическое торможение двигателя исполнительного механизма.

Если стабилизируемый ток намного ниже заданного значения, суммарное напряжение на потенциометре R5 и резисторе R14 превысит напряжение отпирания транзисторов VT1, VT2. Если стабилизируемый ток ниже заданного значения до 14...20 % от номинального тока, суммарное напряжение на потенциометре R5 и резисторе R14 превысит напряжение отпирания транзистора VT1. Под действием этого напряжения через резистор R16 заряжается конденсатор C6. Как только напряжение на конденсаторе превысит порог срабатывания VT1, конденсатор C6 разряжается через транзистор VT1 на резисторы R20, R55 и управляющий электрод-катод тиристора VS1. Затем отпирается тиристор VS1, который через резистор R27 открывает симистор VD6. Электродвигатель начинает вращаться в сторону, соответствующую подъему заслонки. Контролируемый ток увеличивается. Одновременно за счет общего резистора R12 и конденсаторов C9 и C13 закрывается тиристор VS2. Через разделительные диоды VD4 и VD5 конденсаторы C6 и C7 разряжаются на открытый тиристор.

По истечении времени, определяемого постоянной времени RC-контура R28, R29, C10, конденсатор C10 разрядится до напряжения отпирания транзистора VT3. Последний отпирается, вызывая открытие тиристора VS2, а за счет общего резистора R2 и конденсаторов C9 и C13 осуществляется закрытие тиристора VS1 и симистора VD6. При этом электродвигатель останавливается. Процесс периодического включения электродвигателя повторяется до тех пор, пока напряжение на потенциометре R4 и резисторе R14 не снизится ниже порога срабатывания транзистора VT1. Порог срабатывания транзистора VT2 устанавливается на 14...20 % выше, чем порог VT1, а постоянная времени контура R17, C7 примерно на порядок меньше постоянной времени контура R16, C6. Поэтому при перегрузке на 14...20 % выше нормы транзистор VT2 успевает раньше отпираться, чем транзистор VT1, вызывая включение тиристора VS1 и симистора VD6. Время паузы

при больших рассогласованиях опорного и контролируемого напряжений будет в 5...15 раз меньше, чем при малых рассогласованиях.

Время включенного состояния исполнительного электродвигателя (импульса) может быть изменено резистором R28. В процессе работы регулятора оно не меняется. Время же паузы при обработке возмущений зависит от их значения, снижаясь с ростом амплитуды возмущений. При нормальном контролируемом токе включается тиристор VS2 – исполнительный электродвигатель неподвижен.

Когда значение регулируемого тока превысит заданное, а суммарное напряжение на потенциометре R5 и резисторе R15 превысит порог срабатывания транзистора VT5, то он начинает поочередно с транзистором отпираться, вызывая кратковременное открытие тиристора VS4 и симистора VD17, – электродвигатель вращается в обратную сторону (в сторону уменьшения стабилизируемого тока). Периодическое включение исполнительного электродвигателя происходит до тех пор, пока регулируемый ток не снизится до заданного значения. Как и при недогрузке, время паузы между включениями электродвигателя зависит от степени перегрузки. Так, при больших значениях напряжения на резисторе R15 начинает работать транзистор VT6, порог срабатывания которого на 14...20 % выше, чем транзистора VT5. При таких перегрузках время невключения электродвигателя (паузы) значительно меньше (в 5...15 раз), чем при отклонениях от нормы до 14...20 %.

Потенциометром R9 устанавливают заданное значение тока регулирования, а с помощью потенциометра R5 – зону нечувствительности регулятора. В случае значительного превышения допустимого значения регулируемого тока (достигается значение перегрузки) через резистор R30 заряжается конденсатор C11 до напряжения отпирания транзистора VT4. Последний отпирается, пропуская в цепь управления тиристора VS3 разрядный импульс тока конденсатора C11 и вызывая тем самым открытие тиристора VS3 и симистора VD21. Включается реле перегрузки замыкающими контактами, разрывающими цепь питания электромагнитной муфты. Заслонка под действием груза перекрывает поступление зерна в дробилку. Через диод VD20 тиристор VS3 вызывает отпирание симистора VD17, который включает на непрерывное вращение электродвигатель исполнительного механизма в сторону уменьшения подачи зерна в дробилку, что необходимо в случае применения заслонок без электромагнитной муфты,

Значение перегрузки, при которой срабатывает симистор VD21, устанавливается с помощью потенциометра R13. Для исключения периодического открытия симистора VD21 за счет разряда конденсатора C10 на резисторы R28, R29 и отпирания транзистора VT3 и тиристора

VS2 служит разделительный диод VD10, подключенный к аноду тиристора VS2. Чтобы периодическое открытие тиристора VS4 не вызвало запираание тиристора VS3, последовательно с тиристором VS4 включен диод D18. При снижении тока электродвигателя дробилки ниже минимального значения срабатывают транзистор VT1 и тиристор VS1, вызывая отключение тиристора VS3 симисторов VD17 и VD21. Симистор VD6 начинает периодически включать электродвигатель исполнительного механизма в сторону увеличения регулируемого тока.

Для повышения точности работы и чувствительности регулятора в него введен релаксационный генератор на однопереходном транзисторе VT7. Импульсы, генерируемые последним, с частотой, значительно превышающей частоту переключений тириستоров триггера, подаются в цепи без транзисторов VT1, VT2, VT3, VT5, VT6. Это позволяет резко уменьшить ток утечки транзисторов в зоне напряжения их переключения и тем самым обеспечить стабилизацию порогов их срабатывания при увеличении постоянной времени RC-контуров, установленных в цепи эмиттеров этих транзисторов.

Потенциометры R18, R24, R32, R45, R51 предназначены для корректировки порогов срабатывания транзисторов, конденсаторы C5, C8, C12, C16, C19 – для защиты схемы регулятора от помех. Импульсный режим работы регулятора обеспечивает устойчивое регулирование даже при значительном запаздывании, которое может иметь место в системе питатель-дробилка. Изменение скважности импульсов в широких пределах, обеспечиваемое регулятором, позволяет применять исполнительные электродвигатели с редукторами, имеющими различное передаточное отношение.

Система автоматики обеспечивает автоматическое управление загрузкой дробилки. Контролируемым параметром является ток электродвигателя дробильного аппарата, значение которого зависит от количества подаваемого зерна в дробилку. Положение заслонки, которая имеет отдельный электропривод, определяет загрузку дробилки. Предельное значение контролируемого тока соответствует номинальной загрузке. Ток электродвигателя дробилки контролирует регулятор загрузки. При значении тока, превышающем его предельное значение, заслонка опускается, уменьшая подачу зерна в дробилку и, соответственно, контролируемый ток.

Заданное значение тока регулирования соответствует номинальному току электродвигателя дробильного аппарата (значение тока соответствует паспортным данным двигателя). Когда значение регулируемого тока значительно превышает заданное, регулятор загрузки, действуя на заслонку, уменьшает подачу зерна.

При значительном превышении регулируемого тока регулятор загрузки, действуя на заслонку, перекрывает поступление зерна в дробилку.

Наличие зерна в бункере контролируется измерительными преобразователями, которые управляют работой загрузочного шнека. Управление дробилкой определяется с помощью пульта управления на основе значений, принципа работы системы автоматики и ее элементов.

Пульт управления предназначен для управления безрешетной дробилкой в наладочном и рабочем режимах и представляет собой металлическую конструкцию. Обслуживание производится через переднюю дверь и открывающуюся верхнюю панель. В дне пульта установлены сальниковые вводы для кабелей внешнего подключения. В нем расположена основная аппаратура управления дробилкой: амперметр, показывающий загрузку электродвигателя привода дробилки по току, переключатель режимов работы, кнопки включения и выключения дробилки и шнеков. Под пультом управления установлен автоматический регулятор и тумблер его включения.

В верхней части пульта размещена сигнальная лампочка наличия напряжения при включении сетевого переключателя, расположенного на правой стенке. На левой стенке размещена сирена, сигнализирующая об отсутствии зерна в зерновом бункере. Внутри пульта установлена пускозащитная аппаратура.

Контрольные вопросы

1. Объяснить назначение и устройство системы автоматики дробилки.
2. Объяснить назначение, устройство и принцип действия основных элементов системы автоматики дробилки.
3. Объяснить принцип действия системы автоматики дробилки.
4. Как и в какой последовательности необходимо запускать и останавливать дробилку?
5. Как настроить систему автоматики дробилки на нужный режим работы?
6. Какие основные регулировки имеет автоматический регулятор загрузки?
7. Какие основные неисправности могут возникнуть в работе системы автоматики дробилки при ее эксплуатации?
8. Объяснить принцип действия автоматического регулятора загрузки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гурчин, А. М. Электрические измерения неэлектрических величин / А. М. Гурчин. – М. – Л.: Государственное энергоиздательство, 1959. – 684 с.
2. Электромеханические аппараты автоматики / В. К. Буль [и др.]. – М.: Высш. шк., 1988. – 303 с.
3. Бородин, И. Ф. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов / И. Ф. Бородин, Н. И. Кирилин. – М.: Колос, 1977. – 328 с.
4. Бохан, Н. И. Основы автоматики и микропроцессорной техники / Н. И. Бохан, Р. И. Фурунжиев. – Минск: Ураджай, 1987. – 376 с.
5. Гоповинский, О. И. Основы автоматики / О. И. Гоповинский. – М.: Высш. шк., 1987. – 207 с.
6. Электрические измерения / Р. М. Демидова [и др.]. – М.: Энергоиздат, 1983. – 392 с.
7. Фрумкин, Г. Д. Расчет и конструирование радиоэлектронной аппаратуры / Г. Д. Фрумкин. – М.: Высш. шк., 1985. – 287 с.
8. Автоматизация, электроника, электроток, свет: проспекты по электрооборудованию Международной специализированной выставки. – Минск, 2012.
9. Черник, Г. В. Контрольно-измерительные приборы и автоматика в животноводстве / Г. В. Черник. – М.: Агропромиздат, 1985. – 279 с.
10. Кравцов, А. В. Электрические измерения / А. В. Кравцов. – М.: Агропромиздат, 1988. – 239 с.
11. Жарский, М. А. Гидравлика и гидروпровод / М. А. Жарский. – Минск: Энергоперспектива, 2010. – 158 с.
12. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А. П. Исаев [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с.
13. Медведев, В. Ф. Гидравлика и гидравлические машины / В. Ф. Медведев. – Минск: Высш. шк., 1998. – 311 с.
14. Центробежные насосы серии «Джамбо». – URL: <http://www.jeelex.ru/catalog/roverkhnostnye-nasosy-dzhambo> (дата обращения: 20.03.2025).
15. Автоматизация, электроника, электроток, свет: проекты по электрооборудованию Международной специализированной выставки. Минск, 2012.
16. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов / И. Ф. Бородин, Ю. А. Судник. – М.: КолосС, 2007. – 344 с.
17. Бохан, Н. И. Основы автоматики и телемеханики: учеб. пособие / Н. И. Бохан, И. Ф. Бородин. – М.: Агропромиздат, 1992. – 351 с.
18. Воробьев, В. А. Электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства / В. А. Воробьев. – М.: КолосС, 2007. – 280 с.
19. Клюев, А. С. Автоматическое регулирование / А. С. Клюев. – М.: Высш. шк., 1983. – 350 с.
20. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации / А. П. Коломиец [и др.]. – М.: КолосС, 2007. – 351 с.
21. Радченко, Г. Е. Автоматизация сельскохозяйственной техники / Г. Е. Радченко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2011. – 368 с.
22. Шандров, Б. В. Технические средства автоматизации / Б. В. Шандров, А. Д. Чудиков. – М.: ИЦ Академия, 2007. – 368 с.
23. Загинайлов, В. И. Основы автоматики / В. И. Загинайлов, Л. И. Шеповалов. – М.: Колос, 2001. – 200 с.

24. Литвак, В. И. Фотореле в системах автоматики / В. И. Литвак. – М.: Энергия, 1979. – 104 с.
25. Майоров, С. В. Фотоэлектронные и термоэлектронные приборы и их применение / С. В. Майоров. – М.: Машиностроение, 1973. – 160 с.
26. Бородин, И. Ф. Технические средства автоматики / И. Ф. Бородин. – М.: Колос, 1982. – 303 с.
27. Крамарухин, Ю. Е. Приборы для измерения температуры / Ю. Е. Крамарухин. – М.: Машиностроение, 1990. – 208 с.
28. Приборы и методы температурных измерений / Б. Н. Олейник [и др.]. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 296 с.
29. Фурсенко, С. Н. Автоматизация технологических процессов: учеб. пособие / С. Н. Фурсенко, Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. – Минск: БГАТУ, 2007. – 592 с.
30. Радченко, Г. Е. Автоматизация сельскохозяйственной техники: учеб. пособие / Г. Е. Радченко. – Минск: УП «Технопринт», 2005. – 362 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Техника безопасности при выполнении лабораторных работ.....	6
Общие сведения о лабораторном стенде НТЦ-46	8
Лабораторная работа 1. Исследование работы и характеристик потенциометрического измерительного преобразователя.....	13
Лабораторная работа 2. Исследование работы и характеристик измерительного преобразователя давления	31
Лабораторная работа 3. Исследование работы и рабочих характеристик центробежного насоса	47
Лабораторная работа 4. Изучение и исследование системы автоматического регулирования с регулированием по уровню	62
Лабораторная работа 5. Изучение и исследование системы автоматического регулирования с регулированием по давлению.....	70
Лабораторная работа 6. Исследование характеристик фотодатчиков и фотореле	80
Лабораторная работа 7. Изучение измерительных преобразователей температуры и исследование системы автоматического регулирования температуры воды.....	93
Лабораторная работа 8. Электрическая коммутационная аппаратура.....	102
Лабораторная работа 9. Система автоматики теплогенератора ТГ-1Б	115
Лабораторная работа 10. Система автоматики пастеризационно- охладительной установки ОПФ-1-300	129
Лабораторная работа 11. Система автоматического контроля металлических примесей в сыпучих материалах	141
Лабораторная работа 12. Система автоматики дробилки ДБ-5.....	148
Библиографический список	161

Учебное издание

Острейко Алексей Адольфович

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Лабораторный практикум

Редактор *С. Н. Кириленко*

Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 01.06.2026. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная.

Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 9,53. Уч.-изд. л. 8,16.

Тираж 60 экз. Заказ .

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/52 от 09.10.2013.

Ул. Мичурина 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.

Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.