

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет  
им. Г.И. Носова»  
Многопрофильный колледж



УТВЕРЖДАЮ  
Директор  
С.А. Махновский  
«23» марта 2017 г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ  
ПО ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ МОДУЛЮ  
ПМ.01 КОНТРОЛЬ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
СРЕДСТВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ  
МДК.01.01 Технология формирования систем автоматического  
управления типовых технологических процессов, средств измерений,  
несложных мехатронных устройств и систем  
программы подготовки специалистов среднего звена  
по специальности СПО  
15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств  
(по отраслям)  
базовой подготовки**

Магнитогорск, 2017

**ОДОБРЕНО**

Предметно-цикловой комиссией  
Автоматизации технологических  
процессов

Председатель: Е.В. Менщикова  
Протокол №7 от 14 марта 2017 г.

Методической комиссией

Протокол №4 от 23 марта 2017 г.

**Разработчик:**

преподаватель ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» Многопрофильный  
колледж Евгения Владимировна Менщикова

Методические указания разработаны на основе рабочей программы профессионального модуля ПМ.01 Контроль и метрологическое обеспечение средств и систем автоматизации.

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Введение	4
2 Методические указания	6
Лабораторная работа 1	6
Лабораторная работа 2	8
Лабораторная работа 3	10
Практическое занятие 1	13
Лабораторная работа 4	18
Лабораторная работа 5	20
Практическое занятие 2	23
Практическое занятие 3	29
Практическое занятие 4	33
Практическое занятие 5	36
Практическое занятие 6	44
Практическое занятие 7	45
Практическое занятие 8	48
Практическое занятие 9	49
Практическое занятие 10	57
Практическое занятие 11	59
Практическое занятие 12	68
Лабораторная работа 6	71
Лабораторная работа 7	74
Лабораторная работа 8	78
Лабораторная работа 9	81
Лабораторная работа 10	83
Практическое занятие 13	90
Практическое занятие 14	97
Практическое занятие 15	101
Практическое занятие 16	103
Практическое занятие 17	105
Практическое занятие 18	108
Практическое занятие 19	111
Практическое занятие 20	112
Практическое занятие 21	114

## 1 ВВЕДЕНИЕ

Важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки обучающихся составляют практические и лабораторные занятия.

Состав и содержание практических и лабораторных занятий направлены на реализацию Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования.

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование профессиональных практических умений (умений выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных практических умений (составлять схемы автоматического регулирования, рассчитывать параметры типовых устройств и др.), необходимых в последующей учебной деятельности.

Ведущей дидактической целью лабораторных занятий является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей).

В соответствии с рабочей программой ПМ. 01 Контроль и метрологическое обеспечение средств и систем автоматизации, МДК.01.01 Технология формирования систем автоматического управления типовых технологических процессов, средств измерений, несложных мехатронных устройств и систем предусмотрено проведение практических и лабораторных работ.

В результате их выполнения, обучающийся должен:

*уметь:*

- выбирать метод и вид измерения;
- пользоваться измерительной техникой, различными приборами и типовыми элементами средств автоматизации;
- рассчитывать параметры типовых схем и устройств;
- осуществлять рациональный выбор средств измерений;
- производить поверку, настройку приборов;
- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем;
- снимать характеристики и производить подключение приборов;
- проводить необходимые технические расчеты электрических схем включения датчиков и схем преобработки данных несложных мехатронных устройств и систем;
- рассчитывать и выбирать регулирующие органы;
- ориентироваться в программно-техническом обеспечении микропроцессорных систем;
- применять средства разработки и отладки специализированного программного обеспечения для управления объектами автоматизации;
- применять Общероссийский классификатор продукции (ОКП).

Содержание практических и лабораторных занятий ориентировано на формирование общих компетенций по профессиональному модулю программы подготовки специалистов среднего звена по специальности и овладению **профессиональными компетенциями:**

– ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации.

А также формированию **общих компетенций:**

- ОК 2 Организовывать собственную деятельность, определять методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.
- ОК 3 Решать проблемы, оценивать риски и принимать решения в нестандартных ситуациях.
- ОК 4 Осуществлять поиск, анализ и оценку информации, необходимой для постановки и решения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.
- ОК 5 Использовать информационно-коммуникационные технологии для совершенствования профессиональной деятельности.

– ОК 6 Работать в коллективе и команде, обеспечивать её сплочение, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

– ОК 9 Быть готовым к смене технологий в профессиональной деятельности.

Выполнение студентами *практических работ* по ПМ. 01 Контроль и метрологическое обеспечение средств и систем автоматизации, МДК.01.01 Технология формирования систем автоматического управления типовых технологических процессов, средств измерений, несложных мехатронных устройств и систем направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление, развитие и детализацию полученных теоретических знаний по конкретным темам междисциплинарных курсов;

- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;

- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, проективных, конструктивных и др.;

- выработку при решении поставленных задач профессионально значимых качеств, таких как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Выполнение студентами *лабораторных работ* по ПМ. 01 Контроль и метрологическое обеспечение средств и систем автоматизации, МДК.01.01 Технология формирования систем автоматического управления типовых технологических процессов, средств измерений, несложных мехатронных устройств и систем направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление, развитие и детализацию полученных теоретических знаний по конкретным темам междисциплинарных курсов;

- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;

- формирование и развитие умений: наблюдать, сравнивать, сопоставлять, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования, пользоваться различными приемами измерений, оформлять результаты в виде таблиц, схем, графиков;

- приобретение навыков работы с различными приборами, аппаратурой, установками и другими техническими средствами для проведения опытов;

- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, проективных, конструктивных и др.;

- выработку при решении поставленных задач профессионально значимых качеств, таких как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Продолжительность выполнения практической, лабораторной работы составляет не менее двух академических часов и проводится после соответствующего занятия, которое обеспечивает наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

## 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### Тема 1.1 Теоретические основы контроля

#### Лабораторная работа № 1

#### Поверка термоэлектрического преобразователя

##### **Формируемая компетенция:**

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

**Цель работы: научиться производить поверку термоэлектрического преобразователя и определять его класс точности**

##### **Выполнив работу, Вы будете:**

*уметь:*

- пользоваться измерительной техникой, различными приборами и типовыми элементами средств автоматизации;
- осуществлять рациональный выбор средств измерений;
- снимать характеристики и производить подключение приборов.

##### **Материальное обеспечение:**

Установка для поверки и градуировки датчиков температуры УПСТ-2М

##### **Задание:**

- 1 Произвести поверку термопары.
- 2 Рассчитать ее класс точности.

##### **Краткие теоретические сведения:**

Поверка термопар заключается в их градуировке - определении зависимости термоЭДС. от температуры рабочих концов при температуре свободных концов  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Термопары поверяют сравнением показаний поверяемой термопары с показаниями образцовой. При поверке термопар с пределами измерения до  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  их помещают в водяной, масляный или солевой термостаты, а при более высокой температуре - в специальные электрические трубчатые печи.

Для проведения поверки требуются следующие оборудование и приборы:

- 1) образцовая медь-константановая термопара для температуры от  $-50$  до  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- 2) образцовая платинородий-платиновая термопара в интервале температур от  $300$  и до  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- 3) образцовая термопара ПР-30/6 для интервала  $90 - 1770\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- 4) электрическая нагревательная горизонтальная муфельная печь;
- 5) термостаты - нулевой ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), водяной (от  $9$  до  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и масляный (от  $90$  до  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- 6) лабораторные потенциометры класса  $0,03$  и выше.

Поверяемую термопару 3 (рис 1, б) освобождают от защитной арматуры, связывают с образцовой термопарой 4 асбестовым шнуром так, чтобы их рабочие концы были совмещены.

Рабочий конец образцовой термопары не должен иметь электрического контакта с термопарой из неблагородных металлов. Для этого образцовую термопару защищают тонкостенным колпачком из фарфора или кварца. Рабочие концы поверяемых термопар остаются обнаженными на  $8 - 10$  мм от спая, остальную часть электрода необходимо изолировать фарфоровыми бусами. Пучок термопар вводят внутрь печи 2 так, чтобы их рабочие концы располагались в зоне максимального нагрева и не касались стенок печи. В этом положении термопары закрепляют, и отверстия печи закрывают асбестом. Допускается одновременная поверка шести термо-

пар. Свободные концы термопар удлиняют компенсационными проводами и пропускают через нуль-термостаты 5, в которых поддерживают температуру 0°C. Компенсационные провода образцовой и поверяемых термопар подключают к потенциометру через переключатель 6. ТермоЭДС термопар измеряют через каждые 100 °С.

При достижении в печи температуры, необходимой для проведения измерения, ток нагревателя регулируют реостатом 1 так, чтобы скорость измерения температуры не превышала 1- 2 °С/мин и при этом делается 3 - 4 отсчета показаний образцовой и поверяемых термопар. ТермоЭДС термопар равны среднеарифметическим значениям, найденным из отсчетов показаний по каждой из термопар в соответствующей температурной точке.

При поверке термопар ведут протокол, в который записывают следующие данные: градуировку поверяемой термопары, ее рабочий диапазон измерений, температуру свободных концов, показания потенциометра.

**Порядок выполнения работы:**

- 1 Подготовить установку для поверки.
- 2 Присоединить поверяемую термопару к образцовой.
- 3 Включить муфельную печь.
- 4 Произвести измерения показания поверяемой и образцовой термопар
- 5 Вычислить класс точности

**Форма представления результата:**

Отчет по лабораторной работе

## Тема 1.1 Теоретические основы контроля

### Лабораторная работа № 2

#### Поверка термопреобразователя сопротивления

##### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

**Цель работы:** научиться производить поверку термометра сопротивления и определять его класс точности

##### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

- пользоваться измерительной техникой, различными приборами и типовыми элементами средств автоматизации;
- осуществлять рациональный выбор средств измерений;
- снимать характеристики и производить подключение приборов.

##### Материальное обеспечение:

Установка для поверки и градуировки датчиков температуры УПСТ-2М

##### Задание:

- 1 Произвести поверку термометра сопротивления.
- 2 Рассчитать его класс точности.

##### Краткие теоретические сведения:

Технические термометры сопротивления поверяют в следующем порядке:

- 1) внешний осмотр, выявление видимых повреждений как защитной арматуры, так и чувствительного элемента, удаленного из защитной арматуры;
- 2) измерение сопротивления изоляции мегомметром на 500 В. При этом клеммы чувствительного элемента соединяются накоротко;
- 3) проверка соотношения  $R_{100}/R_0$  путем сравнения проверяемого термометра  $R_N$  с контрольным термометром сопротивления  $R_1$  с помощью двойного моста, в котором контрольный термометр служит образцовым, а проверяемый — неизвестным сопротивлением.

Уравновешивание моста необходимо производить дважды: первый раз после помещения и выдержки контрольного и проверяемого термометров в течение 30 мин в тающем льде, второй раз - после помещения и выдержки обоих термометров в течение 30 мин в насыщенных парах кипящей воды. Так как температура 0 и 100 °С при этом методе не поддерживается с высокой точностью, то  $R_{100}$  и  $R_0$  не обязательно должны соответствовать табличным. Важно, чтобы значения отношения  $R_{100}/R_0$  были одинаковыми у контрольного и проверяемого термометров (ошибка должна составлять не более 0,02 %).

Измерение сопротивлений может производиться и с помощью потенциометрической установки. При этом измеряют падение напряжения на проверяемом и контрольном термометрах, соединенных последовательно.

Перед поверкой чувствительные элементы извлекают из защитной арматуры и помещают в стеклянные пробирки. Для устранения погрешности от саморазогрева термометров током измерительной схемы сила тока, проходящего через термометры, ограничивается  $R_p$  и не должна превышать 5мА.

##### Порядок выполнения работы:

- 1 Подготовить установку для поверки.

- 2 Присоединить поверяемый и образцовый термометры к мосту.
- 3 Подать напряжение.
- 4 Произвести измерения показания термометров
- 5 Вычислить класс точности

**Форма представления результата:**

Отчет по лабораторной работе

## Тема 1.1 Теоретические основы контроля

### Лабораторная работа № 3

Изучение и поверка газоанализатора для определения содержания кислорода в продуктах сгорания

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

**Цель работы:** научиться производить поверку газоанализатора и определять его класс точности

#### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

- пользоваться измерительной техникой, различными приборами и типовыми элементами средств автоматизации;
- осуществлять рациональный выбор средств измерений;
- снимать характеристики и производить подключение приборов.

#### Материальное обеспечение:

Установка для поверки газоанализаторов

#### Задание:

- 1 Произвести поверку газоанализатора.
- 2 Рассчитать его класс точности.

#### Краткие теоретические сведения:

Газоанализатор подвергается поверке или калибровке в зависимости от сферы применения, согласно Закону РФ "Об обеспечении единства измерений".

При проведении первичной и периодической поверки должны быть выполнены следующие операции и применены средства поверки с характеристиками, указанными в таблице:

Наименование операции	Наименование средств поверки
1. Внешний осмотр	Визуально
2. Опробование. Определение электрического сопротивления изоляции, проверка герметичности газовой системы	Мегаомметр постоянного тока 500 В, КТ1.0 Вентиль запорный, условный проход ДУ2; тройник, условный проход ДУ2; манометр образцовый с диапазоном измерений 0...100 кПа, КТ 0,4; секундомер, КТ 3,0; баллон с техническим аргоном
3. Определение метрологических характеристик. Определение основной приведенной погрешности газоанализатора, в том числе, по выходному унифицированному сигналу. Проверка сигнализации о диапазоне измерений по унифицированному выходному сигналу	Миллиамперметр постоянного тока с диапазоном измерений 0-30 мА, КТ 1,0; поверочные газовые смеси. Прибор комбинированный типа Ц4360 (тестер)

#### Примечания:

1. Допускается применение других средств поверки с аналогичными характеристиками.

2. Все средства измерений должны иметь непросроченные поверительные клейма или свидетельства о поверке.

Время проведения поверки не более 8 ч.

Поверку газоанализаторов следует проводить при температуре окружающей среды и анализируемого газа + 20±5 °С, относительной влажности окружающего воздуха до 80 % и атмосферном давлении от 84 до 106,7 кПа.

Подготовку газоанализаторов к поверке следует проводить в соответствии с руководством по эксплуатации, подготовку средств поверки - в соответствии с указаниями в их эксплуатационной документации.

Газоанализатор и средства поверки перед проведением поверки следует выдержать в условиях проведения поверки не менее 2 ч. При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие газоанализатора следующим требованиям:

- комплектность газоанализатора должна соответствовать настоящему руководству по эксплуатации, кроме израсходованных запасных частей;
- маркировка газоанализатора должна соответствовать требованиям;
- корпус газоанализатора не должен иметь дефектов, препятствующих его функционированию;
- резьба на штуцерах газоанализатора должна быть исправной, штуцеры должны быть прочно закреплены на корпусе и закрыты защитными заглушками.

Измерение электрического сопротивления изоляции производите мегаомметром при включенном тумблере "СЕТЬ". Электрическое сопротивление измерьте между закороченными штырьками сетевой вилки и корпусом. Оно должно быть не менее 20 МОм. Проверку герметичности газовой системы газоанализатора производите методом определения спада давления по манометру с диапазоном измерений 0...100 кПа на аргоне.

Для определения метрологических характеристик газоанализатор подготовьте и включите в работу.

Перед проведением поверки проведите юстировку прибора согласно настоящего руководства по эксплуатации. Определение основной приведенной погрешности газоанализатора, в том числе, по выходному сигналу, производите для каждого диапазона измерений с помощью поверочных газовых смесей (ПГС), аттестованных заводом изготовителем, указанных в таблице.

Номер ПГС	Диапазон измерений, млн-1	Объемная доля азота в аргоне, млн-1	Относительная погрешность аттестации, %
1	0-10	2-8	±10
2	0-100	15-30	±5
3	0-100	50-90	±5

Основную приведенную погрешность газоанализатора, % определите по формуле:

$$\gamma_0 = \frac{C_{\text{п}} - C_{\text{д}}}{C_{\text{н}}} \cdot 100,$$

где Сп - показания газоанализатора, млн-1; Сд - действительная объемная доля азота в ПГС, млн-1; Сн - наибольшее значение диапазона измерений, млн-1; 100 - коэффициент, обусловленный выбором единиц физических величин, %.

Проверку сигнализации о диапазоне измерений по унифицированному выходному сигналу производите одновременно с определением основной приведенной погрешности газоанализатора. Для проверки сигнализации соответствующего диапазона измерений присоедините тестер в

режиме измерения сопротивления к контактам 1-6 разъема "ДИАПАЗОНЫ". Номера контактов соответствующего диапазона измерений приведены в таблице.

Диапазон измерений, млн1	Номера контактов разъема "ДИАПАЗОНЫ"	Включение индикаторной лампы диапазона измерений
0-10	1,2	x1
0-100	3,4	X10
0-1000	5,6	X100

**Порядок выполнения работы:**

- 1 Провести внешний осмотр измерительной системы.
- 2 Опробование. Определить электрическое сопротивление изоляции, проверить герметичность газовой системы.
- 3 Определить метрологические характеристики. Определить основную приведенную погрешность газоанализатора, в том числе, по выходному унифицированному сигналу.

**Форма представления результата:**

В ходе поверки следует вести протокол произвольной формы. В протоколе должны быть указаны:

- номер протокола, дата поверки и владелец газоанализатора;
- заводской номер поверяемого газоанализатора;
- показания поверяемого газоанализатора и значения погрешностей.

Отчет по лабораторной работе

## Тема 1.1 Теоретические основы контроля

### Практическое занятие № 1

#### Расчет автоматического потенциометра КСП

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

#### Цель работы:

- изучить принцип работы автоматического потенциометра КСП;  
- научиться рассчитывать измерительную схему электронного автоматического потенциометра

#### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- рассчитывать параметры типовых схем и устройств.

#### Материальное обеспечение:

Методические указания по выполнению работы, индивидуальное задание

#### Задание:

1. Изучить схему автоматического потенциометра
2. Рассчитать измерительную схему КСП

#### Краткие теоретические сведения:

Автоматические мосты. Мосты с автоматизированным процессом уравнивания называются автоматическими мостами; они находят широкое применение для непрерывных показаний и регистрации измеряемых величин. Автоматические мосты с дополнительным регулирующим устройством применяются для автоматического управления производственными процессами. В настоящее время широко распространены автоматические мосты для измерения, регистрации и регулирования температуры различных объектов. В качестве измерительного преобразователя температуры в электрическое сопротивление в этих мостах применяются термометры сопротивления.

В автоматических потенциометрах используется компенсационная мостовая измерительная схема. Напряжение, компенсирующее измеряемую термо-ЭДС термоэлектрического термометра - термопары, в этой измерительной схеме получается как разность потенциалов в двух точках. Потенциал одной из этих точек определяется положением движка реохорда, а потенциал другой зависит от температуры свободных концов термометра. Это дает возможность осуществлять автоматическое введение поправки на изменение термо-ЭДС термопары, вызванное отклонением температуры свободных концов ее от  $0^{\circ}\text{C}$ .

Для измерения потенциометром постоянного тока ЭДС  $E_x$  необходимо установить рабочий ток и подобрать такие значения сопротивлений на декадах потенциометра, при которых гальванометр отметит отсутствие тока, т. е. осуществить компенсацию  $E_x$ . Процессы установки рабочего тока и компенсации  $E_x$  могут быть автоматизированы, что упрощает пользование прибором, ускоряет процесс измерения  $E_x$  и, позволяет непрерывно регистрировать значение

измеряемой величины. Потенциометры постоянного тока, у которых установка рабочего тока и процесс компенсации  $E_x$  производятся автоматически, называются *автоматическими потенциометрами постоянного тока*.

Автоматические потенциометры применяются для измерения электрических и неэлектрических величин, которые могут быть предварительно преобразованы в напряжение или ЭДС постоянного тока.

Процесс уравнивания в автоматических потенциометрах может осуществляться как непрерывно (потенциометры со следящей системой уравнивания), так и периодически (потенциометры с развертывающим уравниванием или динамической компенсацией). Чаще всего применяются потенциометры с непрерывным уравниванием. Они в свою очередь могут быть разделены на две группы: потенциометры с полным уравниванием, или с астатической характеристикой, и потенциометры с неполным уравниванием, или со статической характеристикой.

В настоящее время выпускаются автоматические потенциометры с полным уравниванием различных типов и форм записи. Запись измеряемой величины производится на дисковой диаграмме или на диаграммной ленте.

Автоматические потенциометры переменного тока. Автоматические потенциометры переменного тока в работе значительно удобнее потенциометров с ручным уравниванием, и область их применения более широкая, так как они позволяют производить непрерывные точные измерения  $U_x$ . Автоматические потенциометры, как и ручные, могут быть полярно-координатными и прямоугольно-координатными.

### **Методика расчета измерительной схемы электронного автоматического моста**

Термометр сопротивления (его сопротивление  $R_t$ ) включается в измерительную мостовую схему автоматического уравновешенного моста по трехпроводной схеме включения (см. рис.1). Это делается для того, чтобы можно было компенсировать влияние изменения сопротивления соединительных проводов на точность измерения температуры теплового объекта при отклонениях температуры окружающей соединительные провода среды. В измерительную схему моста кроме сопротивления  $R_t$  входят:

$R_l$  - сопротивление соединительных проводов и подгоночных катушек равно обычно для одной линии - 2,5 Ом;

$R_d$  - сопротивление, определяющее начало шкалы (имеющее подгоночное сопротивление в виде спирали  $g_d$ , являющееся частью сопротивления  $R_d$ ), его выбирают согласно паспортным данным электронных автоматических мостов равным 3,7-5,5 Ом;

$R_1, R_2, R_3$  - расчетные резистивные сопротивления;

$R_b$  - балластное сопротивление в цепи источника питания, которое служит для ограничения тока в плечах измерительной схемы;

В схеме измерения имеется также реохорд, который с помощью своего подвижного контакта, связанного с ротором реверсивного двигателя, делится на две части, одна из которых  $R_{1p}$  относится к левой части реохорда, а другая  $R_{2p}$  - к правой его части. Вместе обе части реохорда составляют его полное сопротивление  $R_p = R_{1p} + R_{2p}$ . Параллельно реохорду включаются два резистивных сопротивления — сопротивление шунта  $R_{ш}$  и сопротивление  $R_n$ , определяющее верхний предел изменения сопротивления датчика температуры (или шкалы прибора). Эквивалентное сопротивление для двух указанных сопротивлений будем обозначать  $R_{шп}$ . Оно будет равно:

$R_{шп} = R_{ш} \cdot R_n / (R_{ш} + R_n)$ . Совместно сопротивления  $R_{шп}$ ,  $R_{1p}$  и  $R_{2p}$  оказываются включенными по отношению к внешним выводам по схеме треугольника.

Для расчета режимов измерения работы мостовой схемы такое включение указанных трех сопротивлений является неудобным. Поэтому целесообразно от реальной схемы включения этих сопротивлений перейти к эквивалентной расчетной схеме их включения «звездой», в которой будут фигурировать сопротивления: с левой стороны  $R_{1пp}$ , с правой стороны  $R_{2пp}$  и в ветви, относящейся к сопротивлению измерительной диагонали моста (дополнительному сопротивлению нагрузки),  $R_d$

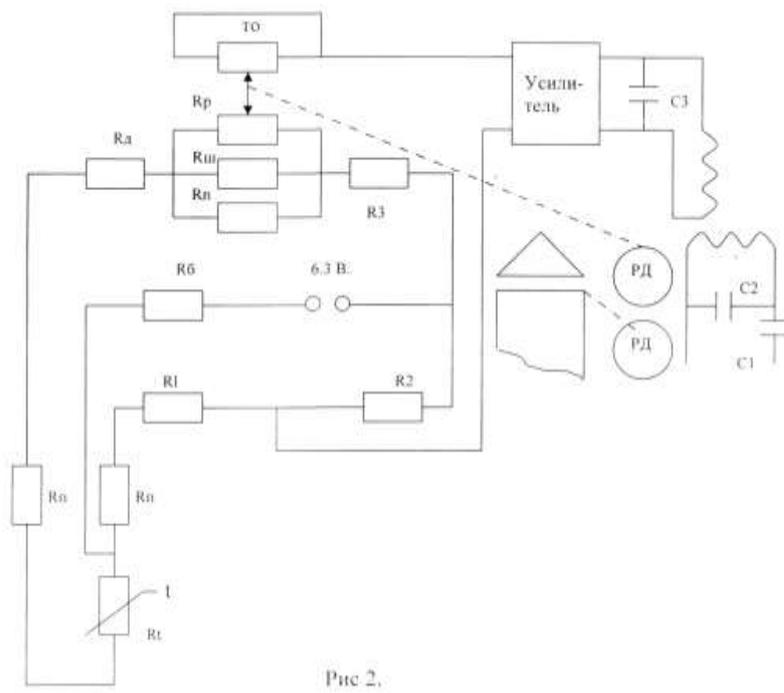


Рис. 2.

Схема автоматического моста

Принимаем для расчета

$$R_{Л} = 2,5 \text{ Ом}$$

$$R_{Д} = 4,3 \text{ Ом}$$

$$R_2 = R_3 = 300 \text{ Ом}$$

$$R_5 = 450 \text{ Ом}$$

По градуировочной таблице определяем

$$R_{t_{\max}} = 68,81 \text{ Ом}; \quad R_{t_{\min}} = 53 \text{ Ом};$$

Определяем  $R_{П}$ ,  $R_1$ ,  $R_{П}$ ;

$$R_{ПП} = \frac{0,5 \cdot (-A) + \sqrt{A^2 + B}}{1 - \lambda}$$

где  $A = (R_{t_{\min}} + (R_{Л} + R_{Д} + R_3) \cdot (1 - 2 \cdot \lambda)) - (R_{t_{\min}} + R_{t_{\max}}) \cdot \lambda$

$$A = (53 + (2,5 + 4,3 + 300) \cdot (1 - 2 \cdot 0,032)) - (57,52 + 68,81) \cdot 0,032 = 375,25$$

$$B = 4 \cdot (R_{t_{\max}} - R_{t_{\min}}) \cdot R_3 \cdot (1 - 2 \cdot \lambda)$$

$$R_{ПП} = \frac{0,5 \cdot (-375,25 + \sqrt{375,25^2 + 177577})}{1 - 0,032} = 100,96$$

$$R_1 = \frac{(R_{1_{\min}} + R_{Л} + R_{Д} + R_{ПП} \cdot (1 - \lambda)) \cdot R_2}{R_{ПП} \cdot \lambda + R_3} - R_{Л}$$

$$R_1 = \frac{(53 + 2,5 + 4,3 + 100,96 \cdot (1 - 0,032)) \cdot 300}{100,96 \cdot 0,032 + 300} - 2,5 = 153,35 \text{ Ом}$$

$$R_{П} = \frac{R_{ПИ} \cdot R_{ПП}}{R_{ПИ} + R_{ПП}}$$

$$R_{II} = \frac{90 \cdot 100,96}{90 + 100,96} = 47,58 \text{OM}$$

Определяем  $U_{II}$

$$U_{II} = \frac{U_0}{1 + \frac{R_5}{R_{JI} + R_1 + R_2} + \frac{R_5}{R_{JI} + R_{II} + R_{1_{\min}} + R_{III} + R_3}}$$

$$U_{II} = \frac{6.3}{1 + \frac{450}{2.5 + 153.35 + 300} + \frac{450}{2.5 + 4.3 + 53 + 100.96 + 300}} = 2.12 \text{B}$$

Затем находим соответствующее значение тока в цепи реохорда при  $R_t = R_{t_{\min}}$

$$I_{R_{\min}} = \frac{U_0}{R_3 + R_{III} + R_{II} + R_{JI} + R_{1_{\min}}}$$

$$I_{R_{\min}} = \frac{2.12}{300 + 100.96 + 4.3 + 2.5 + 53} = 4.6 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$4,5 \cdot 10^{-3} \leq 5 \dots 7 \cdot 10^{-3}$$

Неравенство выполняется. Аналогично находим значение тока в цепи включения реохорда при  $R_t = R_{t_{\max}}$

$$U_{II} = \frac{U_0}{1 + \frac{R_5}{R_{JI} + R_1 + R_2} + \frac{R_5}{R_{JI} + R_{II} + R_{1_{\max}} + R_{III} + R_3}}$$

$$U_{II} = \frac{6.3}{1 + \frac{450}{2.5 + 153.35 + 300} + \frac{450}{2.5 + 4.3 + 68.81 + 100.96 + 300}} = 2.18 \text{B}$$

$$I_{R_{\max}} = \frac{U_{II}}{R_3 + R_{III} + R_{II} + R_{JI} + R_{1_{\max}}}$$

$$I_{R_{\max}} = \frac{2.18}{300 + 100.96 + 4.3 + 2.5 + 68.81} = 4.5 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

Определяем отношение токов при  $R_t = R_{t_{\max}}$  к  $R_t = R_{t_{\min}}$ ;

$$\frac{I_{R_{\max}}}{I_{R_{\min}}} = \frac{4.5 \cdot 10^{-3}}{4.6 \cdot 10^{-3}} = 0.98$$

Сравниваем это значение с предельно допустимым равным 0,8 ... 0,9. Расчетное значение должно быть больше. В нашем случае условие выполняется, поэтому можно полученные расчетные значения считать найденными. Остается для порядка проверить градуировку шкалы, напри-

мер при 20, 40, 60, 80 градусах. Для этого рассчитываются значения  $U_{\text{вых}}$  при указанных значениях температуры, определив предварительно  $R_t$  по градуировочной таблице. Далее строится график функции  $U_{\text{вых}} = f(R_t)$ . Далее определяем динамические параметры:  $K1_{\text{cc}}$ ,  $K_{\text{oc}}$ ,  $K2_{\text{cc}}$ .

$$K_{\text{OC}} = -R_{\text{ПП}} \cdot (1 - 2 \cdot \lambda)$$

$$K_{\text{OC}} = -100,96 \cdot (1 - 2 \cdot 0,032) = -94,49 \text{ Ом}$$

$$K2_{\text{OC}} = \frac{U_{\text{П}}}{R_{\text{Л}} + R_{\text{Д}} + R1_{\text{min}} + R_{\text{ПП}} + R3}$$

$$K2_{\text{OC}} = \frac{2.12}{2.5 + 4.3 + 53 + 18.3 + 300} = 5.5 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

Для вычисления коэффициента  $K1_{\text{cc}}$  необходимо определить  $\Delta U_{\text{вых}}$  и  $\Delta R$ .  
Выберем температуру +20 и +40°C, тогда

$$U_{\text{вых}20} = 0,255 \text{ В}; U_{\text{вых}40} = 0,175 \text{ В}; R_{t20} = 57,52 \text{ Ом}; R_{t40} = 62,03 \text{ Ом}$$

Исходя из этого получим:

$$\Delta U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}40} - U_{\text{вых}20} = 0,175 - 0,255 = -0,08 \text{ В}$$

$$\Delta R_t = R_{t40} - R_{t20} = 62,03 - 57,52 = 4,51 \text{ Ом}$$

Следовательно, будем иметь:

$$K1_{\text{cc}} = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta R}$$

$$K1_{\text{cc}} = \frac{-0,08}{4,51} = -0,018 \text{ А}$$

#### **Порядок выполнения работы:**

- 1 Изучить принцип действия потенциометра КСП.
- 2 Рассчитать по приведенной методике КСП.

#### **Форма представления результата:**

Отчет о проделанной работе

## Лабораторная работа № 4

### Сравнение методов измерения температуры

#### **Формируемая компетенция:**

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

#### **Цель работы: изучение и сравнение методов измерения температуры.**

#### **Выполнив работу, Вы будете:**

*уметь:*

- пользоваться измерительной техникой, различными приборами и типовыми элементами средств автоматизации;
- осуществлять рациональный выбор средств измерений;
- выбирать метод и вид измерения.

#### **Материальное обеспечение:**

Установка «Методы измерения температуры»

#### **Задание:**

- 1 Изучить методы измерения температуры.
- 2 Провести сравнительный анализ.

#### **Краткие теоретические сведения:**

Выбор метода измерения температуры зависит от диапазона измеряемых температур, требуемой точности, быстродействия и допустимой величины входного теплового сопротивления измерительного устройства, т.е. его входной теплоемкости.

В диапазоне низких и средних температур используются в основном контактные методы измерения, при этом используются термометры сопротивления и термоэлектрические преобразователи (термопары). В терморезисторных преобразователях используется свойство проводников или полупроводников изменять свое сопротивление при изменении их температуры. В термометрах сопротивления обычно используют в качестве проводников медь или платину. Преимуществом медных термометров сопротивления является линейная зависимость их сопротивления от температуры:  $R=R_0(1+0,004\Delta T)$ , где  $R_0$  - сопротивление при 293° К. Чувствительность такого ПИП  $0,004R_0K^{-1}$ , а относительная чувствительность  $0,004K^{-1}$ . Недостатком медных термометров сопротивления является узкий температурный диапазон (220-400К). С целью расширения этого диапазона применяют платиновые термометры сопротивления. Их использование возможно до 1400К. Однако, зависимость их сопротивления от температуры имеет нелинейный характер, что является их недостатком.

Значительно более высокие температуры позволяют измерять термоэлектрические преобразователи – термопары. Верхняя граница их диапазона достигает 2300К. Недостатки – высокая инерционность и очень низкий коэффициент полезного действия.

Бесконтактные методы измерения температуры основаны на использовании энергии излучения нагретых тел. Приборы для измерения температуры, основанные на использовании энергии нагретых тел, называют пирометрами, которые делятся на яркостные, радиационные и цветовые.

#### **Порядок выполнения работы:**

- 1 Подготовить установку к работе.
- 2 Включить питание.

- 3 Нагреть печь до требуемой температуры и провести снятие показаний с датчиков в нескольких точках диапазона.
- 4 Провести сравнительный анализ показаний.

**Форма представления результата:**

Отчет по лабораторной работе

## Тема 1.2 Системы технологического контроля

### Лабораторная работа № 5

#### Сравнение методов измерения давления

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

**Цель работы:** изучение и сравнение методов измерения давления.

#### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

- пользоваться измерительной техникой, различными приборами и типовыми элементами средств автоматизации;
- осуществлять рациональный выбор средств измерений;
- выбирать метод и вид измерения.

#### Материальное обеспечение:

Установка «Методы измерения давления»

#### Задание:

- 1 Изучить методы измерения давления.
- 2 Провести сравнительный анализ.

#### Краткие теоретические сведения:

**Единицы измерения давления.** В системе СИ единицей измерения давления является Паскаль.

$$P = \frac{F}{S} = \frac{N}{m^2} = \text{Па}$$

Давление в один Паскаль равно силе равномерно распределённой по поверхности площадью один кв. м. Иногда в качестве технической единицы измерения применяют единицу называемую атмосферой, обозначается 1 атм. Одна атмосфера это давление, которое оказывает столб воды высотой 1 м на площадку 1 см<sup>2</sup> при температуре +4°C. В промышленности применяются другая единица давления – **торр** (физик Торричелли). Идеальное давление атмосферы Земли, равное 760 торр, называется **технической атмосферой**.

1 бар = 10<sup>5</sup> Па;

1 мм вод. ст. = 9,80665 Па ≈ 9,8 Па;

1 мм рт. ст. = 133,322 Па ≈ 133,3 Па;

1 кгс/см<sup>2</sup> = 98 066,5 Па;

1 атм = 101, 325 Па.

1 атм = 760 торр

В США применяется psi: 1 psi = 6,89·10<sup>3</sup>Па=0,0703атм.

При измерении давления нас м. интересоват абсолютное (полное), избыточное и вакуумметрическое(давление разрежение) давления.

Можно различать абсолютное давление его измеряют по отношению к нулевому давлению, и относительное давление, которое измеряют относительно давления окружающей среды.

**Абсолютное давление** - это сумма избыточного или манометрического давления и атмосферного. Абсолютное давление – это сумма действующего на нас давления воды и атмосферы. Давление на поверхности Земли обычно называется атмосферным давлением. Абсолютное дав-

ление необходимо знать в тех случаях, когда влияние атмосферного давления исключить нельзя. При контроле технологических процессов и при проведении научных исследований в большинстве случаев приходится иметь дело с измерением избыточного и вакуумметрического давлений, а также с измерением разности давлений (дифманомметр).

$$P = P_a + P_{\text{и}}$$

$P$  – полное давление;

$P_a$  – атмосферное давление;

$P_{\text{и}}$  – избыточное давление – это давление газа, превышающее давление окружающей среды.

$$P_{\text{в}} = P_a - P.$$

По измеряемому давлению приборы подразделяются:

1. Барометр – приборы для измерения атмосферного давления;
2. Манометры – приборы для измерения избыточного давления; Избыточное давление – в трубопроводах, в закрытых емкостях.
3. Дифманометры – приборы для измерения разности давлений;
4. Вакуумметры – приборы для измерения давления ниже  $P_a$ . Вакуум – это давление ниже атмосферного.
5. Мановакуумметры – приборы для измерения небольших давлений и разрежения.

### **Методы и средства измерения давления**

Методы измерения давления во многом определяют как принципы действия, так и конструктивные особенности средств измерений.

Давление, исходя из самых общих позиций, может быть определено как путем его непосредственного измерения, так и посредством измерения другой физической величины, функционально связанной с измеряемым давлением.

В первом случае измеряемое давление воздействует непосредственно на чувствительный элемент прибора, который передает информацию о значении давления последующим звеньям измерительной цепи, преобразуя ее в требуемую форму. Этот метод определения давления является методом прямых измерений и получил наибольшее распространение в технике измерения давления. На нем основаны принципы действия большинства манометров и измерительных преобразователей давления.

Во втором случае непосредственно измеряются другие физические величины или параметры, характеризующие физические свойства измеряемой среды, значения которых закономерно связаны с давлением (температура кипения жидкости, скорость распространения ультразвука, теплопроводность газа и т. д.). Этот метод является методом косвенных измерений давления и применяется, как правило, в тех случаях, когда прямой метод по тем или иным причинам неприменим, например, при измерении сверхнизкого давления (вакуумная техника) или при измерении высоких и сверхвысоких давлений.

Относительный метод измерений, в отличие от абсолютного, основан на предварительном исследовании зависимости от давления физических свойств и параметров чувствительных элементов средств измерения давления при методах прямых измерений или других физических величин и свойств измеряемой среды — при методах косвенных измерений. На пример, деформационные манометры перед их применением для измерения давления должны быть сначала градуированы по образцовым средствам измерений соответствующей точности.

Помимо классификации по основным методам измерений давлений и видам давления, средства измерений давления классифицируют по:

- принципу действия,
- функциональному назначению,

- диапазону и точности измерений.

**Порядок выполнения работы:**

- 1 Подготовить установку к работе.
- 2 Включить питание.
- 3 Провести снятие показаний с датчиков в нескольких точках диапазона.
- 4 Провести сравнительный анализ показаний.

**Форма представления результата:**

Отчет по лабораторной работе

## Тема 1.2 Системы технологического контроля

### Практическое занятие № 2

#### Расчет и выбор сужающего устройства

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

#### Цель работы: научиться рассчитывать и выбирать сужающее устройство

#### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

- рассчитывать параметры типовых схем и устройств;
- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### Материальное обеспечение:

Методические указания по выполнению работы, индивидуальное задание

#### Задание:

1. Выполнить расчет сужающего устройства в соответствии с “Правилами измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами РД–50–231–80”.

#### Краткие теоретические сведения:

Одним из наиболее распространенных средств измерений расхода жидкостей и газов (паров), протекающих по трубопроводам, являются расходомеры переменного перепада давления, состоящие из стандартного сужающего устройства, дифманометра, приборов для измерения параметров среды и соединительных линий. В комплект расходомерного устройства также входят прямые участки трубопроводов до и после сужающего устройства с местными сопротивлениями.

Сужающее устройство расходомера является первичным измерительным преобразователем расхода, в котором в результате сужения сечения потока измеряемой среды (жидкости, газа, пара) образуется перепад (разность) давления, зависящий от расхода. В качестве стандартных (нормализованных) сужающих устройств применяются измерительные диафрагмы, сопла, сопла Вентури и трубы - Вентури. В качестве измерительных приборов применяются различные дифференциальные манометры, рассмотренные в главе VII, снабженные показывающими, записывающими, интегрирующими, сигнализирующими и другими устройствами, обеспечивающими выдачу измерительной информации о расходе в соответствующей форме и виде.

Измерительная диафрагма представляет собой диск, установленный так, что центр его лежит на оси трубопровода (рис. VIII.1). При протекании потока жидкости или газа (пара) в трубопроводе с диафрагмой сужение его начинается до диафрагмы. На некотором расстоянии за ней под действием сил инерции поток сужается до минимального сечения, а далее постепенно расширяется до полного сечения трубопровода. Перед диафрагмой и после нее образуются зоны завихрения. Давление струи около стенки вначале возрастает из-за подпора перед диафрагмой. За диафрагмой оно снижается до минимума, затем снова повышается, но не достигает прежнего значения, так как вследствие трения и завихрений происходит потеря давления  $p_{\text{пот}}$ .

Таким образом, часть потенциальной энергии давления потока переходит в кинетическую. В результате средняя скорость потока в суженном сечении повышается, а статическое давление в этом сечении становится меньше статического давления перед сужающим устройством. Разность этих давлений (перепад давления) служит мерой расхода протекающей через сужающее устройство жидкости, газа или пара.

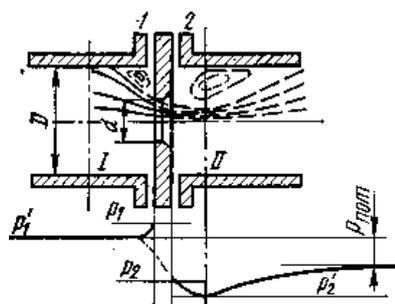


Рис. VIII.1. Схема распределения статического давления в потоке при установке в трубопроводе сужающего устройства — диафрагмы

Из рис. VIII.1 видно, что давление по оси трубопровода, показанное штрихпунктирной линией, несколько отличается от давления вдоль стенки трубопровода только в средней части графика. Через отверстия 1 и 2 производится измерение статических давлений до и после сужающего устройства.

## Расчет специального сужающего устройства

### 2.1. Выбор специального сужающего устройства.

2.1.1. При выборе специального сужающего устройства необходимо руководствоваться следующими соображениями:

при одних и тех же значениях величин  $m$  и  $Dr$  сопла позволяют измерять больший расход, чем диафрагмы;

при одних и тех же значениях величин  $m$  и  $Q$  потеря давления в соплах меньше, чем в диафрагмах;

диафрагмы с входным конусом, сопла «четверть круга», двойные диафрагмы, цилиндрические сопла рекомендуются для измерения расхода веществ при малых числах Рейнольдса, что имеет практическое значение в случаях установки сужающих устройств в трубопроводах малого диаметра, вязких жидкостей и горячих газов;

при измерении расхода загрязненных жидкостей и газов\*, а также жидкостей\*\*, из которых могут выделяться газы, необходимо использовать сегментные диафрагмы;

\* Для газов содержание жидкой фазы должно быть в количестве  $\eta \leq 0,4 \rho / \rho_{\text{п}}$  или твердой фазы в количестве  $\eta \leq \rho / \rho_{\text{п}}$ .

\*\* Для жидкостей, содержащих газовую фазу, измерение расхода возможно при  $D \rho / \rho \leq D0,04 + 4,8 m^{6,4}$ .

износоустойчивые диафрагмы рекомендуется применять взамен стандартных диафрагм. Это вызвано тем, что стандартные диафрагмы обладают существенным недостатком: в процессе эксплуатации их острая входная кромка неизбежно притупляется под влиянием абразивного действия потока, что приводит к значительным погрешностям при измерении расхода. Напротив, износоустойчивые диафрагмы сохраняют свой профиль при длительной эксплуатации, что увеличивает срок ее службы;

стандартные диафрагмы для трубопроводов с внутренним диаметром менее 50 мм рекомендуются для измерения малых расходов газов (менее  $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) и малых расходов жидкостей (менее  $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ), обладающих кинематической вязкостью менее  $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

### 2.2. Методика расчета сужающего устройства для измерения расхода газа.

2.2.1. При расчете сужающего устройства для измерения расхода газа необходимы следующие исходные данные: наибольший расход газа  $Q_{\text{max}}$ ; наименьший расход газа  $Q_{\text{min}}$  (рекомендуется  $Q_{\text{min}}$  не менее  $1/3 Q_{\text{max}}$ ); компонентный состав газа; температура газа; избыточное дав-

ление газа; барометрическое давление окружающей среды; допустимая потеря давления на сужающем устройстве при максимальном расходе газа  $p'_{пд}$  диаметр трубопровода  $D_{20}$  материал трубопровода и сужающего устройства.

2.2.2. Определяют недостающие для расчета данные  $p$ ;  $D$ ;  $\mu$  или  $\nu$ ;  $\chi$ ;  $K$ ;  $\rho_{ном}$ ,  $\rho$ . Значения  $K$  (а для расхода газа в рабочем состоянии также  $\rho_{ном}$ ) не требуются, если значения  $\rho$  заданы. При применении разделительных сосудов определяют, кроме того,  $\rho_{рс}$ ,  $\rho_c$ .

2.2.3. Выбирают разновидность дифманометра. Требуемую разновидность дифманометра устанавливают в зависимости от наличия у него необходимых устройств для отсчета и передачи показаний, интегрирования, автоматической коррекции, сигнализации, регулирования и др.

Верхний предел измерений дифманометра  $Q_{п}$  ( $Q_{оп}$ ,  $Q_{мп}$ ,  $Q_{ном п}$ ) выбирают по заданному наибольшему измеряемому расходу ( $Q_{о max}$ ,  $Q_{м max}$ ,  $Q_{ном max}$ ) так, чтобы стандартное значение  $Q_{п}$ , взятое из стандартного ряда (см. разд. 1 ГОСТ 18140-77), было ближайшее к  $Q_{max}$  и не менее его.

2.2.4. Определяют предельный номинальный перепад давления дифманометра. Предельный номинальный перепад давления  $\Delta p_H^0$  следует выбирать из ряда значений, указанных в разд. 1 ГОСТ 18140-77. При этом необходимо исходить из следующего: чем больше перепад, тем меньшая относительная площадь ( $m$ ) сужающего устройства требуется для измерения заданного расхода.

При измерении расхода газа желательно, чтобы отношение  $\Delta p_H^0 / \rho$  было наименьшим.

2.2.4.1. Если задана допустимая потеря давления  $p'_{пд}$  сужающем устройстве при наибольшем измеряемом расходе  $Q_{max}$  то допустимую потерю давления  $p_{пд}$  определяют при расходе, равном  $Q_{п}$

$$p_{пд} = p'_{пд} \left( \frac{Q_{п}}{Q_{max}} \right)^2 \quad (2.1)$$

Подсчитывают (с четырьмя значащими цифрами) вспомогательную величину  $c$ , которая в зависимости от единицы измерения расхода равна

$$c = \frac{Q_{ном п}}{D^2} \sqrt{\frac{\rho_{ном} \cdot T \cdot K \cdot \rho_{ном}}{T_{ном} \cdot \rho}} \cdot \frac{4}{\sqrt{2\pi}}; \quad (2.2)$$

$$c = \frac{Q_{ном п} \rho_{ном}}{D^2 \sqrt{\rho}} \cdot \frac{4}{\sqrt{2\pi}}; \quad (2.3)$$

$$c = \frac{Q_{оп} \sqrt{\rho}}{D^2} \cdot \frac{4}{\sqrt{2\pi}}; \quad (2.4)$$

$$c = \frac{Q_{мп}}{D^2 \sqrt{\rho}} \cdot \frac{4}{\sqrt{2\pi}}. \quad (2.5)$$

Из стандартного ряда чисел (см. разд. 1 ГОСТ 18140-77) выбирают величину  $\Delta p_H^0$ , которая при подстановке в формулу

$$m\alpha = \frac{c}{\sqrt{\Delta p_H^0}} \quad (2.6)$$

обеспечивает допустимое значение  $m\alpha$  для рассчитываемого типа сужающего устройства. По формулам приложения 2 и данным приложений 3 и 4 РД 50-411-83 определяют для найденной величины  $m\alpha$  приближенное значение  $m$ . Из рис. 11 для полученной величины  $m$ , определяют относительную потерю давления ( $\Pi$ ). Затем проверяют выполнение неравенства

$$\frac{\rho_{п.д}}{\Pi} \geq \Delta p_{н}^0 \quad (2.7)$$

Если неравенство выполняется, то величину  $\Delta p_{н}^0$  считают предельным номинальным перепадом давления. В противном случае, из стандартного ряда выбирают следующее меньшее значение ( $\Delta p_{н}^0$ ) и для него определяют в той же последовательности новые величины  $m\alpha$ ;  $m$ ;  $\Pi$  и проверяют выполнение неравенства (2.7). Если неравенство не выполняется, то подбор величины  $\Delta p_{н}^0$  продолжают.

2.2.4.2. Если допустимая потеря давления в сужающем устройстве не задана, то по формулам (2.2)-(2.5) определяют вспомогательную величину  $c$ . За значение предельного номинального перепада давления принимают величину  $\Delta p_{н}^0$  из стандартного ряда (см. разд. 1 ГОСТ 18140-77), которая при подстановке в формулу (2.6) обеспечивает допустимое значение  $m\alpha$  (см. приложения 2-4 РД 50-411-83). По формулам приложения 2 и данным приложений 3 и 4 РД 50-411-83 определяют для найденной величины  $m\alpha$  приближенное значение  $t$ .

2.2.5. Определяют числа Рейнольдса  $Re_{\min}$ ,  $Re_{\max}$  (см. п. 4.7 РД 50-411-83), соответствующие наименьшему и наибольшему расходам ( $Q_{\min}$ ,  $Q_{\max}$ ). Если значения  $Re_{\min}$  и  $Re_{\max}$  лежат вне области постоянства коэффициента расхода  $\alpha$  для данной величины  $t$  (см. п. 3.1 РД 50-411-83), то при принятых параметрах расходомера измерение данным методом невозможно. В этом случае желательно изменить  $\Delta p_{н}^0$ , а следовательно  $m$ , так, чтобы соблюдались следующие соотношения:

$$\left. \begin{aligned} Re_{\max} &\leq Re_{\text{п.г}} \\ Re_{\min} &\leq Re_{\text{п.г}} \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

Если и в этом случае неравенства не будут выполняться, то необходимо перейти к другому типу сужающего устройства или изменить диаметр трубопровода.

2.2.6. Проверяют соблюдение требований п. 8.4 РД 50-411-83 при данном значении  $m$ .

2.2.7. Определяют (с четырьмя значащими цифрами) наибольший перепад давления  $Dp_{\max}$  в сужающем устройстве по формулам, приведенным в п. 4.2.2 РД 50-411-83, в которых вместо  $Dp_{н}$  должно быть  $\Delta p_{н}^0$ .

2.2.8. Вычисляют отношение  $Dp_{\max}/p$  и проверяют выполнение условий п. 1.5 РД 50-411-83.

2.2.9. Подсчитывают отношение  $Dp_{ср}/p$  по следующей зависимости:

$$\frac{\Delta p_{ср}}{\rho} = \frac{\Delta p_{\max}}{\rho} \left( \frac{Q_{ср}}{Q_{п}} \right)^2 \quad (2.9)$$

В этом случае для всех значений  $Q \neq Q_{ср}$  возникает дополнительная погрешность, обусловленная отклонением действительных значений множителя  $\epsilon$  от его расчетного среднего значения (см. п. 4.5.2 РД 50-411-83).

2.2.10. Учитывая ранее найденные приближенные значения  $m$  и  $Dp_{ср}/p$ , определяют поправочный множитель  $(\epsilon_{ср})_1$  (см. п. 4.5.2 РД 50-411-83).

2.2.11. Вычисляют (с четырьмя значащими цифрами) вспомогательную величину

$$m_1 \alpha_1 = \frac{c}{(\epsilon_{ср})_1 \sqrt{\Delta p_{\max}}} \quad (2.10)$$

Для полученного значения  $m_1 \alpha_1$  по формулам приложения 2 и данным приложения 3, 4 РД 50-411-83 находят (с четырьмя значащими цифрами)  $m_1$ .

2.2.12. Определяют множитель  $(\varepsilon_{cp})_2$ , соответствующий величине  $m_1$  при том же отношении  $Dp_{cp}/p$ . Если разность значений  $(\varepsilon_{cp})_2$   $(\varepsilon_{cp})_1$  не превышает 0,001, то значения  $m_1$  и  $(\varepsilon_{cp})_2$  считают окончательными. В противном случае определяют величину

$$m_2 \alpha_2 = \frac{c}{(\varepsilon_{cp})_2 \sqrt{\Delta p_{max}}}, \quad (2.11)$$

а по ней величину  $m_2$  и соответствующее ей значение  $(\varepsilon_{cp})_3$ , которое и является окончательным.

2.2.13. Подсчитывают (с четырьмя значащими цифрами) вспомогательную величину

$$d_{20} = \frac{D}{k_7} \sqrt{m} \quad (2.12)$$

и  $d$  по формуле  $d = d_{20} [1 + \alpha_7 (t - 20)] = d_{20} K_t$ ,

2.2.14. Проверяют правильность выполненного расчета, для чего определяют коэффициент расхода  $\alpha$  для значений  $d$  и  $m$  (см. п. 3.2 РД 50-411-83). По одной из формул [разд. 2](#) РД 50-411-83 вычисляют (с четырьмя значащими цифрами) расход  $Q$ , соответствующий наибольшему перепаду давления  $Dp_{max}$ . Найденное значение расхода не должно отличаться от верхнего предела измерения более чем на  $\pm 0,2\%$ .

2.3. Методика расчета сужающего устройства для измерения расхода жидкости.

2.3.1. При расчете сужающего устройства для измерения расхода жидкости необходимо иметь следующие исходные данные:  $Q_{max}$ ,  $Q_{min}$ ,  $t$ ,  $D_{20}$ ,  $p_{и}$ ,  $p_{б}$ ,  $p'_{пд}$ , а также знать материал сужающего устройства и трубопровода.

2.3.2. Определяют недостающие для расчета данные:  $p$ ;  $D$ ;  $\rho$ ;  $\mu$  или  $\nu$ .

2.3.3. Выбирают тип и разновидность дифманометра, его верхний предел измерений  $Q_{п}$  ([п. 2.2.3](#)).

2.3.4. Для поплавковых дифманометров определяют  $\rho'_y$ ,  $\rho'_{py}$ . При применении разделительных сосудов определяют также  $\rho_c$  и  $\rho_{pc}$ .

2.3.5. Определяют предельный номинальный перепад давлений дифманометра и приближенное значение  $m$  ([п. 2.2.4](#)).

2.3.6. Проверяют выполнение условия [п. 2.2.5](#).

2.3.7. Проверяют соблюдение требований [п. 8.4](#) РД 50-411-83

2.3.8. Определяют (с четырьмя значащими цифрами)  $Dp_{max}$  по формулам, приведенным в [п. 4.2](#) РД 50-411-83, в которых вместо  $Dp_{н}$  должно быть  $\Delta p_{н}^0$ . Проверяют выполнение условий [п. 1.6](#) РД 50-411-83.

2.3.9. Определяют (с четырьмя значащими цифрами) вспомогательную величину

$$m \alpha = \frac{c}{\sqrt{\Delta p_{max}}}, \quad (2.13)$$

где

$$c = \frac{4Q_{оп} \sqrt{\rho}}{\pi D^2 \sqrt{2}} \quad \text{или} \quad c = \frac{4Q_{мп}}{\sqrt{2} D^2 \sqrt{\rho \pi}}$$

2.3.10. Для данных значений  $D$  и  $m \alpha$  по формулам приложения [2](#) и данным приложений [3](#), [4](#) РД 50-411-83 находят искомое значение  $m$ .

2.3.11. Подсчитывают  $d_{20}$  (то же, что в [п. 2.2.13](#)).

2.3.12. Проверяют правильность выполнения расчета (то же, что в [п. 2.2.14](#)). При этом необходимо учесть, что  $\varepsilon = 1,0$ .

**Порядок выполнения работы:**

- 1 Изучить назначение и конструкцию сужающего устройства (СУ).
- 2 Выбрать СУ по приведенной методике.

**Форма представления результата:**

Выполнение индивидуального задания.

## Тема 1.2 Системы технологического контроля

### Практическое занятие № 3 Обозначения средств автоматизации

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

#### Цель работы:

- 1 Изучить обозначение КИПиА в функциональных схемах.
- 2 Научиться использовать обозначения в функциональных схемах САР

#### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

- применять Общероссийский классификатор продукции (ОКП);
- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### Материальное обеспечение:

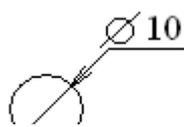
Методические указания по выполнению работы, индивидуальное задание

#### Задание:

1. Изучить обозначения средств автоматизации.
2. Определить по условному обозначению назначение и основные функции приборов.

#### Краткие теоретические сведения:

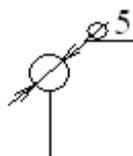
Условное обозначение приборов в функциональных схемах



- прибор установлен вне щита, т.е. по месту измерения;



- прибор установлен на щите;



- автоматический исполнительный механизм;



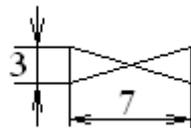
- исполнительный механизм что-либо открывает;



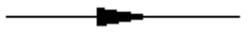
- исполнительный механизм что-либо закрывает;

 - исполнительный механизм остается в неизменном положении;

 - исполнительный механизм с ручным приводом;

 - регулирующий орган;

 - электрический сигнал;

 - гидравлический сигнал;

 - пневматический сигнал;

Е – электрический сигнал;

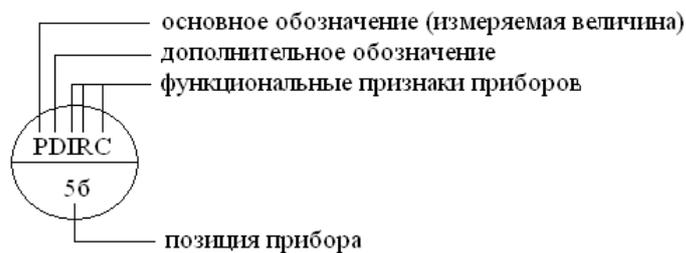
Р – пневматический сигнал;

Г – гидравлический сигнал;

Н – верхний предел измеряемой величины;

Л – нижний предел измеряемой величины.

#### *Буквенные обозначения*



#### Основные обозначения

Е – электрическая величина;

Д – плотность;

Р – расход;

Г – положение, перемещение;

Н – ручное воздействие;

К – временная программа;

Л – уровень;

М – влажность;

Р – давление;

Q – характеризует состав, содержание;

Р – радиоактивность;

С – скорость;

Т – температура;

В – вязкость;

W – масса.

#### Дополнительные обозначения

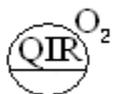
Е – чувствительный элемент, устройство выполняет первичные преобразования;  
Т – дистанционная передача (приборы бесшкальные с дистанционной передачей);  
К – выбор управления (автоматическое, ручное);  
У – преобразования;  
S – включение, отключение, переключение, блокировка;  
Q – интегрирование, суммирование по времени.

### Функциональные обозначения

I – показывает;  
R – регистрирует, записывает;  
A – сигнализация;  
C – автоматическое управление и регулирование.

### Примеры приборов

-  - прибор для измерения температуры, показывающий, установленный по месту;
-  - первичный измерительный преобразователь для измерения температуры, установленный по месту;
-  - прибор для измерения температуры, показывающий, установленный на щите;
-  - прибор для измерения температуры, бесшкальный с дистанционной передачей;
-  - прибор для измерения температуры, регистрирующий, установленный на щите;
-  - прибор для измерения температуры, показывающий, регистрирующий, установленный на щите;
-  - первичный измерительный преобразователь для измерения расхода, установленный по месту;
-  - прибор для измерения расхода, бесшкальный с дистанционной передачей;
-  - прибор для измерения расхода, снабженный вычислительным устройством, извлекающим корень, установленный на щите;
-  - прибор для измерения расхода, интегрирующий, показывающий, установленный на щите;
-  - прибор для измерения уровня с сигнализацией верхнего предела измерений, установленный по месту;



- прибор для измерения концентрации кислорода, показывающий, регистрирующий, установленный на щите;



**E/E** - прибор для измерения температуры, преобразующий входной электрический сигнал в выходной электрический сигнал, установленный на щите;



**P/E** - прибор для измерения давления, преобразующий входной пневматический сигнал в выходной электрический сигнал, установленный на щите;



- пусковая аппаратура для управления электродвигателями, исполнительными механизмами;



- аппаратура предназначена для ручного дистанционного управления;



**U, I и т.д.**

- прибор для измерения любой электрической величины, показывающий, установленный на щите

**Порядок выполнения работы:**

- 1 Изучить обозначения средств автоматизации.
- 2 Определить по условному обозначению назначение и основные функции приборов.

**Форма представления результата:**

Выполнение индивидуального задания.

## Тема 1.2 Системы технологического контроля

### Практическое занятие № 4

#### Функциональные схемы автоматического регулирования

#### **Формируемая компетенция:**

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

#### **Цель работы:**

- 1 Изучить методику выполнения функциональных схем
- 2 Научиться составлять функциональную схему САР

#### **Выполнив работу, Вы будете:**

*уметь:*

- применять Общероссийский классификатор продукции (ОКП);
- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### **Материальное обеспечение:**

Методические указания по выполнению работы, индивидуальное задание

#### **Задание:**

1. Изучить обозначения средств автоматизации.
2. Определить по условному обозначению назначение и основные функции приборов.

#### **Краткие теоретические сведения:**

Функциональная схема – это схема, отображающая функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, сигнализации, управления и регулирования технологического процесса и определяющая оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации (ПиСА).

На технологических трубопроводах показывают регулируемую и запорную арматуру, которая участвует в контроле и управлении процессом.

Технологические установки и агрегаты изображаются в верхней части чертежа. Приборы и средства автоматизации, встраиваемые в технологическое оборудование, изображают на схеме в непосредственной близости от технологического оборудования.

Приборы и средства автоматизации на щитах и пультах показывают в прямоугольниках в нижней левой части чертежа.

*Упрощённое изображение функциональной системы*

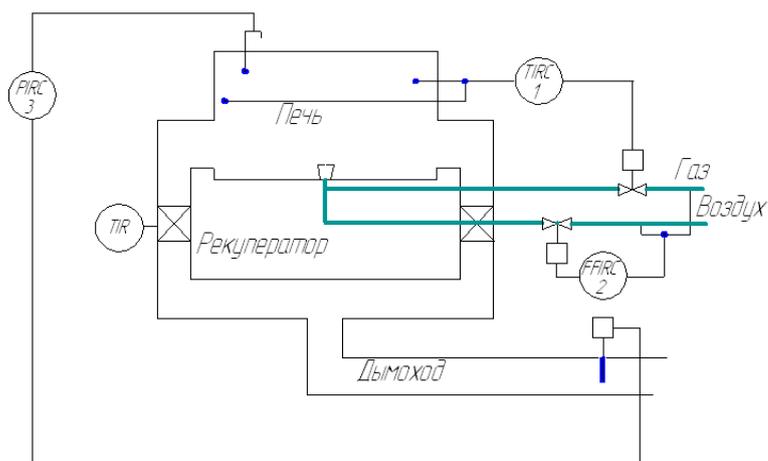


Рис 2

*Условные цифровые обозначения трубопроводов для жидкостей и газов.*

Таблица 4

<i>Наименование среды транспортируемой трубопроводам</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Наименование среды транспортируемой трубопроводам</i>	<i>Обозначение</i>
<i>Вода</i>	<i>-1-1-</i>	<i>Горячие газы</i>	
<i>Пар</i>	<i>-2-2-</i>	<i>Водород</i>	<i>-16-16-</i>
<i>Воздух</i>	<i>-3-3-</i>	<i>Ацетилен</i>	<i>-17-17-</i>
<i>Азот</i>	<i>-4-4-</i>	<i>Фреон</i>	<i>-18-18-</i>
<i>Кислород</i>	<i>-5-5-</i>	<i>Метан</i>	<i>-19-19-</i>
<i>Инертные газы</i>		<i>Этан</i>	<i>-20-20-</i>
<i>аргон</i>	<i>-6-6-</i>	<i>Этилен</i>	<i>-21-21-</i>
<i>неон</i>	<i>-7-7-</i>	<i>Пропан</i>	<i>-22-22-</i>
<i>гелий</i>	<i>-8-8-</i>	<i>Пропилен</i>	<i>-23-23-</i>
<i>криптон</i>	<i>-9-9-</i>	<i>Бутан</i>	<i>-24-24-</i>
<i>ксенон</i>	<i>-10-10-</i>	<i>Бутилен</i>	<i>-25-25-</i>
<i>Аммиак</i>	<i>-11-11-</i>		
<i>Кислота (окислитель)</i>	<i>-12-12-</i>	<i>Противопожарный трубопровод</i>	<i>-26-26-</i>
<i>Щелочь</i>	<i>-13-13-</i>		
<i>Масла</i>	<i>-14-14-</i>	<i>Вакуум</i>	<i>-27-27-</i>
<i>Жидкое горючее</i>	<i>-15-15-</i>		

**Основные условные обозначения КИП и А по ГОСТ 21404-85**

Таблица 1

Наименование	Обозначение
Первичный измерительный преобразователь, прибор, установленный по месту (базовое обозначение)	
То же, на щите	
То же, (допускаемое обозначение)	
Исполнительный механизм. Общее обозначение. (Положение регулирующего органа при прекращении управляющего сигнала не регламентируется)	
Регулирующий орган	
Линия связи	
Пересечение линий связи без соединения друг с другом	
Пересечение линий связи с соединением друг с другом	

**Порядок выполнения работы:**

- 1 Изучить правил выполнения функциональных схем.
- 2 Выполнить схемы на миллиметровке.

**Форма представления результата:**

Выполнение индивидуального задания.

## Тема 1.2 Системы технологического контроля

### Практическое занятие № 5

#### Схемы автоматического контроля

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

#### Цель работы:

- 1 Изучить методику выполнения принципиальных схем
- 2 Научиться строить и вычерчивать принципиальные схемы автоматического контроля

#### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять Общероссийский классификатор продукции (ОКП);
- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### Материальное обеспечение:

Методические указания по выполнению работы, индивидуальное задание

#### Задание:

1. Изучить системы автоматического контроля (САК).
2. Начертить принципиальную электрическую схему САК.

#### Краткие теоретические сведения:

Системы автоматического контроля (САК) предназначены для автоматического контроля различных технологических параметров на производственном объекте (объекте автоматизации) и, в конечном счёте, для непосредственного измерения и регистрации этих параметров. Поэтому их часто называют *измерительными системами*. Исключение составляют системы контроля дискретного типа, в которых выходная величина может принимать только два (0 – 1) или несколько фиксированных значений.

Структура измерительных систем включает в себя сам объект автоматизации *ОА* (объект контроля), измерительное устройство *ИУ* и регистрирующее устройство *РУ* для конечной фиксации или записи измеренного параметра при его изменении в течение определённого промежутка времени (рис.1).

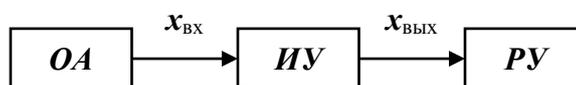


Рис.1. Структурная схема системы автоматического контроля

В зависимости от вида измерительного устройства автоматические измерительные системы делятся на две большие группы:

1. *Небалансные* (некомпенсационные, неуравновешенные) системы;
2. *Балансные* (компенсационные, уравновешенные) системы.

*Небалансные системы* – это системы прямого измерения. Они просты по своей структуре и конструкции, но имеют существенный недостаток, т.к. обладают погрешностью измерения, возникающей под действием различных внешних условий, таких как, изменение окружающей

температуры, нестабильность величины напряжения источника питания, а также погрешностью, обусловленной изменением внутренних параметров входящих в систему элементов.

Структурно измерительные устройства таких систем состоят из датчика  $D$ , преобразующего неэлектрическую величину в электрический сигнал, измерительной схемы  $ИС$  и, как правило, усилителя  $У$  (рис.2), т.е. представляют собой последовательное соединение нескольких элементов, изменение, по какой-либо причине, выходного параметра одного из них сказывается на изменении результирующей выходной величины.

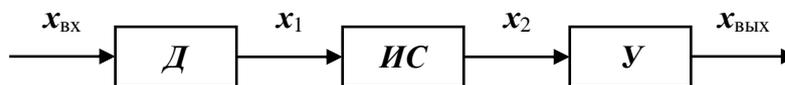


Рис.2. Структурная схема измерительного устройства (системы прямого измерения)

*Балансные системы* – основаны на автоматическом уравнивании (*балансировании*) выходной величины датчика, поступающей на измерительную схему, с помощью равной ей величины такого же рода, пропорциональной изменению выходной величины датчика  $x_1$ .

На рис.3 представлена структурная схема измерительной системы непрерывного балансирования, чаще всего используемая на практике. В таких системах, как видно из схемы, имеется жесткая обратная связь, т.е. такие системы – *замкнутые*, и в них вводятся дополнительные звенья, значительно усложняющие структуру в целом.

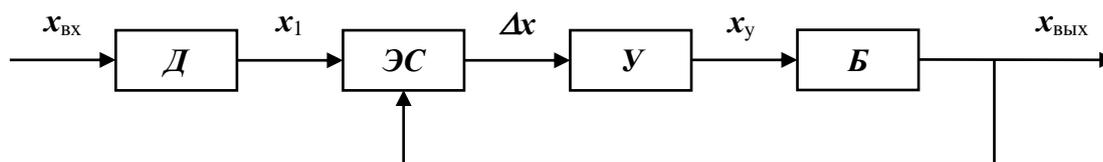


Рис.5.3. Структурная схема балансной измерительной системы

В этой схеме используется, прежде всего, элемент сравнения  $ЭС$ , выполняющий функции *«нуль-органа»* и работающий на установление нулевого выходного сигнала  $\Delta x = 0$ , поступающего на вход усилителя  $У$ . В качестве *нуль-органа* в балансных системах используются уравновешенные измерительные схемы, такие, как мостовые, дифференциальные или компенсационные (см. ч.1 *Схемы включения датчиков*). Другое дополнительное звено *балансирующий орган*  $Б$ , который своей выходной величиной соответствующим образом воздействует на элемент сравнения. В качестве этого элемента обычно используется электродвигатель с редуктором, который по цепи обратной связи, как правило, механической, уравнивает применяемую измерительную схему, устанавливая, таким образом, на ее выходе нулевой сигнал. При выполнении условия  $\Delta x = 0$  выходной сигнал усилителя также отсутствует ( $x_у = 0$ ). При этом балансирующий орган не работает, не оказывая никакого воздействия на элемент сравнения, и вся система находится в состоянии покоя. Малейшее изменение измеряемого параметра  $x_{вх}$  вызывает на выходе элемента сравнения появление сигнала рассогласования  $\Delta x$ , отличного от нуля, причем определенной полярности или фазы. Этот сигнал, увеличенный количественно с помощью усилителя, поступает на обмотку управления используемого электродвигателя. При этом двигатель приходит в движение и, в соответствии со знаком (или фазой) управляющего сигнала  $x_у$ , через редуктор перемещает движок регулирующего элемента измерительной схемы в требуемом направлении, уравнивая ее снова, т.е. добываясь равенства нулю выходного сигнала измерительной схемы, а следовательно и  $x_у$ , при котором двигатель вновь останавливается до следующего изменения измеряемого параметра.

Выходной величиной подобных **балансных измерительных систем** является угловое перемещение выходного вала редуктора и угловое (или линейное) перемещение механически связанного с ним движка переменного резистора (**реоходда**), а в некоторых случаях (при дифференциальной схеме включения датчика) положение движка измерительного трансформатора, уравновешивающих соответствующую измерительную схему. Поэтому подобные регулирующие элементы всегда оснащаются специальной измерительной шкалой, проградуированной в единицах измеряемого параметра, по которой и определяется величина контролируемого параметра  $x_{вх}$ .

Как видим, подобные измерительные системы более сложные и по структуре они подобны **системам автоматического регулирования – САР** (см. далее), но в них исключаются многие погрешности, свойственные небалансным системам, и, кроме этого, обеспечивается большая мощность выходного сигнала.

По виду балансируемой величины балансные измерительные системы в зависимости от используемых датчиков и схем их включения подразделяются на **автоматические потенциометры**, уравновешивающие выходное напряжение датчика, и **автоматические мосты**, уравновешивающие выходное сопротивление датчика.

Далее рассмотрим на конкретных примерах некоторые измерительные системы, остановимся на их работе, на положительных и отрицательных свойствах этих систем, а также на причинах возникновения погрешностей измерения и методах их компенсации.

Так простейший измеритель температуры – **пирометр** (рис.4) состоит из датчика генераторного типа – **термопары**, измерительного милливольтметра и двух соединительных проводов СП, длина которых в большинстве случаев может достигать значительной величины, из-за удалённости самого объекта контроля от пункта наблюдения. В этой схеме, под действием возникающей в датчике **термо-э.д.с.**, в зависимости от измеряемой температуры, по соединительным проводам будет протекать ток, под действием которого на каждом из этих проводов будет наблюдаться падение напряжения, пропорциональное величине тока и внутреннему сопротивлению проводов. Поэтому величина напряжения на самом милливольтметре соответственно уменьшится, что приведёт, тем самым, к появлению погрешности измерения. Причём, сопротивление соединительных проводов зависит от их длины и может также изменяться от окружающих температурных условий. В результате возникающая погрешность ещё больше может возрасти. Таким образом, несмотря на простоту рассмотренной измерительной системы (пирометра), она всегда имеет достаточно высокую погрешность измерения.

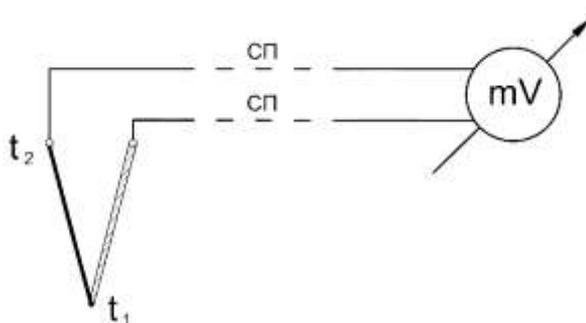


Рис.4. Принципиальная электрическая схема пирометра

В качестве другого примера рассмотрим измерительную систему с применением мостовой схемы, в которую включен тензочувствительный датчик сопротивления (рис.5) и предназначенную для измерения деформаций строительных конструкций.

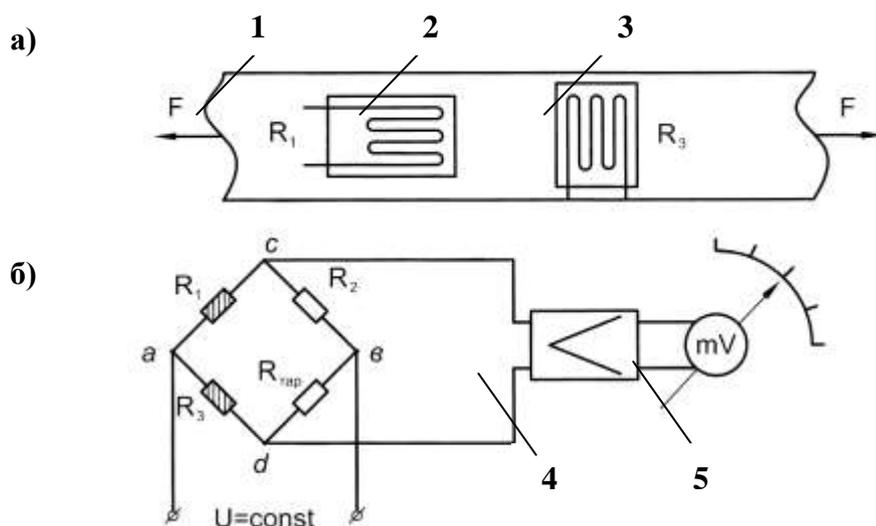


Рис.5. Конструктивная и электрическая схема измерителя деформаций

В этой измерительной системе используется схема *неравновесного моста*, в котором в качестве резистора  $R_1$  (рис.5.б), подключён *проволочный датчик сопротивления 2* (тензодатчик), прикрепленный (тщательно приклеенный) к исследуемой детали (конструкции) **1** (рис.5.5.а) и воспринимающий деформацию этой детали при воздействии на неё механических усилий  $F$ . Для увеличения чувствительности рассматриваемой измерительной системы в ней дополнительно используется усилитель **4**, вход которого подключен к измерительной диагонали моста  $c-d$ , а усиленный им сигнал поступает затем на регистрирующий прибор **5**, по шкале которого и фиксируется контролируемый параметр

Рассматриваемая схема может быть использована не только для измерения деформаций различных конструкций или их отдельных элементов, но также она позволяет определять величины действующих усилий  $F$ , а также механических напряжений, возникающих в результате деформации.

Погрешность измерения рассмотренной системы обусловлена несколькими причинами. Прежде всего, в ней имеет место температурная составляющая погрешности, вызванная тем, что, во-первых, возможна дополнительная деформация конструкции, на которой закреплен тензодатчик, из-за изменения окружающей температуры и, во-вторых, сам тензодатчик может работать как *термосопротивление*, т.е. его сопротивление от температуры тоже может изменяться.

Для компенсации температурной погрешности, в подобных случаях, необходимо на исследуемой конструкции рядом с рабочим тензодатчиком установить ещё один, точно такой же, датчик **3** (рис.5.а), включив его в смежное плечо мостовой схемы (например, в качестве резистора -  $R_3$ ). Однако располагать этот датчик на детали необходимо так, чтобы он не воспринимал её деформацию от нагрузки, т.е. перпендикулярно рабочему датчику  $R_1$ . В результате, оба датчика будут находиться в одинаковых температурных условиях, и в уравнении равновесия мостовой схемы при изменении температуры будут одинаково изменяться и правая и левая части равенства (см. ч.1 «Схемы включения датчиков»). При этом равновесие моста не нарушится, а деформацию конструкции от нагрузки будет воспринимать только рабочий датчик  $R_1$ .

Однако в подобной измерительной системе кроме температурной погрешности может иметь место погрешность за счет изменения напряжения источника питания  $U$ , т.к. величина сигнала, поступающего на усилитель и, в конечном счете, показание измерительного прибора пропорциональны величине этого напряжения. Для компенсации такой составляющей погрешности необходимо применять стабилизированный источник питания мостовой схемы. Если такой возможности нет, то в качестве измерительного прибора следует использовать *логометр*.

*Логометр* - это электродинамическая измерительная система, в которой вместо одной используются две жестко соединённые между собой под определенным углом подвижные катушки.

Поэтому угол их поворота и результирующее отклонение стрелки (показание измерительного прибора) пропорционально не величине протекающего по этим катушкам тока, а зависит только от соотношения токов, протекающих по каждой катушке отдельно.

Так на рис.6 представлена схема измерителя температуры с использованием в качестве регистрирующего прибора *логометра*. Здесь в качестве температурного датчика применяется *термосопротивление*  $R_t$ , включенное также в неравновесную мостовую схему, а к измерительной диагонали моста *c-d* подключена одна из подвижных катушек логометра. Вторая катушка логометра подключена к тому же источнику питания через дополнительный резистор  $R_3$ . При этом величины токов  $I_1$  и  $I_2$  в зависимости от значения напряжения питания  $U$  будут изменяться одинаково, и соотношение этих токов будет оставаться неизменным.

Но в этой системе имеет место погрешность измерения, обусловленная наличием соединительных проводов, идущих от мостовой схемы к датчику, и длина которых также может быть значительной из-за удаленности объекта контроля от пункта наблюдения. Величина сопротивления этих двух проводов  $R_{сн}$  является ненужной составляющей к термосопротивлению, и она может также изменяться от окружающих условий.

Для исключения этой составляющей погрешности измерения, в большинстве случаев, как правило, вместо двухпроводной цепи используют трехпроводную схему подключения датчика. На рис.6 третий провод показан жирной пунктирной линией, а провод, идущий к точке *a*, - обрывается. При этом точка питания «*a*» смещается вниз (по схеме) - к термодатчику  $R_t$ . (точка *á*) При этом в уравнение равновесия мостовой схемы величина сопротивлений каждого из двух соединительных проводов, идущих от мостовой схемы к термосопротивлению, входит в состав сопротивлений смежных сторон мостовой схемы, и их изменение за счет длины и воздействия окружающей температуры не нарушает равновесия мостовой схемы. Влияние величины сопротивления третьего провода, по которому, в данном случае, подается питание к мостовой схеме, сказывается лишь на уменьшении величины напряжения питания на ней, но это изменение скомпенсировано применением в качестве измерительного прибора *логометра*.

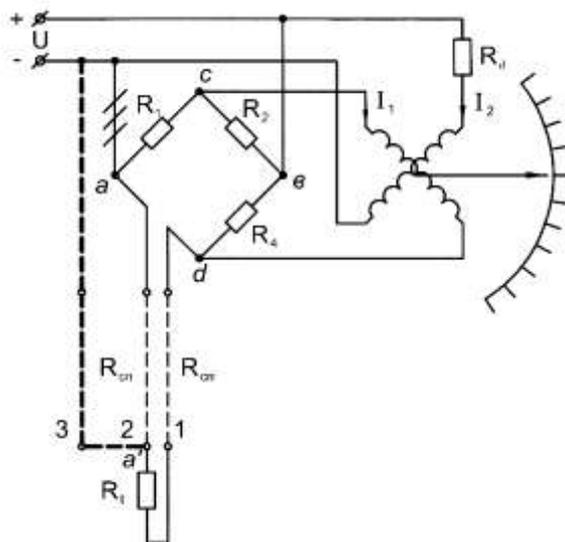


Рис.6. Принципиальная электрическая схема измерителя температуры с логометром

При трехпроводной схеме включения датчиков, кроме сказанного, компенсируется и величина электромагнитных наводок от внешних магнитных полей на длинные соединительные провода.

В рассмотренных измерительных системах, являющихся системами прямого измерения (*небалансными*), все погрешности скомпенсировать невозможно, особенно такие, которые обусловлены изменением внутренних параметров самих элементов, составляющих систему в целом.

Например изменение коэффициента усиления усилителя по различным причинам, как в схеме на рис.5, и даже наличие чисто субъективной погрешности измерения.

Для исключения перечисленных погрешностей и были разработаны **балансные измерительные системы**.

Так на рис.7 представлена схема автоматического моста для измерения температуры. В рассматриваемой системе датчиком также является **термосопротивление  $R_t$** , включенное здесь в схему **равновесного моста**, запитанного от сети переменного тока. В схеме также используется трёхпроводная схема подключения датчика. Сигнал с равновесной мостовой схемы поступает на вход электронного усилителя **ЭУ**, нагрузкой которого служит обмотка управления асинхронного электродвигателя **АД** с редуктором. Двигатель работает в режиме управляемого электропривода (рис. 1), и выходной вал редуктора жестко связан с движком реохорда **R**, включенного в схему равновесного моста.

Обмотка возбуждения асинхронного двигателя через фазосдвигающую емкость **C** также запитана от сети переменного тока, чтобы получить вращающееся магнитное поле, создаваемое его статорными обмотками.

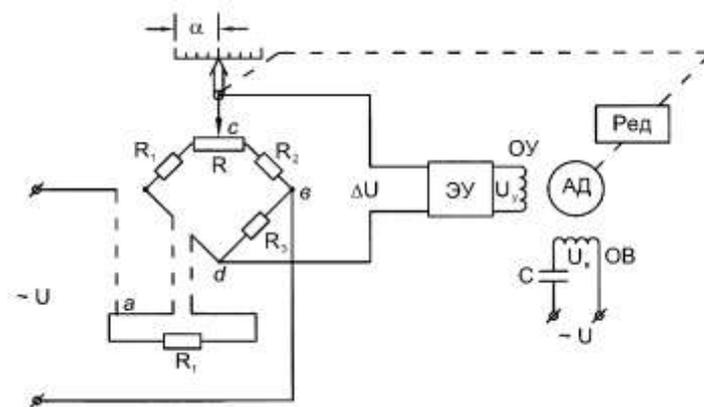


Рис.7. Принципиальная электрическая схема балансной измерительной системы

В работе рассматриваемой системы при каждом изменении измеряемого параметра (**температуры**) равновесие мостовой схемы будет нарушаться, что вызывает появление на входе электронного усилителя **сигнала рассогласования  $\Delta U$** , причем соответствующей фазы. В результате на выходе усилителя и на обмотке управления электродвигателя появляется напряжение управления  $U_y$ , и двигатель приходит в движение. Через редуктор он перемещает движок реохорда в требуемом направлении, в соответствии с фазой сигнала рассогласования и величиной напряжения управления, до тех пор, пока сигнал рассогласования не станет равным нулю, т.е. мостовая схема вновь уравнивается, а двигатель при этом остановится. При этом, по шкале реохорда, заранее проградуированной в единицах температуры (градусах), можно определить текущее значение температуры на объекте контроля.

Рассмотренная система работает в режиме непрерывного балансирования, но, в некоторых случаях, для измерения одновременно нескольких параметров используют системы периодического балансирования, в которых используется один электропривод, поочередно используемый для каждой схемы измерения.

В балансных измерительных системах все погрешности, в том числе от изменения внутренних параметров входящих элементов, таких как изменение коэффициента усиления усилителя, исключаются. Единственным недостатком подобных измерительных систем является невозможность их применения для контроля быстроизменяющихся во времени параметров, т.е. для динамических измерений, например, таких, как взаимодействие ж/д пути и подвижного состава. Это связано с использованием в балансных измерительных системах такого инерционного элемента

как электродвигатель с редуктором. Поэтому для динамических измерений возможно применение лишь систем прямого измерения (*небалансных систем*) с соответствующими быстродействующими регистрирующими устройствами.

Все рассмотренные выше измерительные системы являются аналоговыми приборами непосредственной оценки. Благодаря современным достижениям в области микроэлектроники и измерительной техники всё большее применение получают цифровые измерительные приборы, т.е. измерительные системы с цифровым отсчетом.

Дискретная форма представления результатов измерения более точна и удобна как для визуального наблюдения и регистрации, так и для передачи на расстояние в системах телемеханики и телеизмерений. В цифровых измерительных системах, кроме этого, полностью исключается и субъективная составляющая погрешности.

Структура цифровой измерительной системы представлена на рис.5.8, и она состоит из входного устройства **ВУ**, в состав которого входят датчики с соответствующими схемами их включения и усилителями, аналогово-цифрового преобразователя **АЦП**, созданного на основе современной микроэлектроники, цифрового отсчетного устройства **ЦОУ** и устройства управления **УУ**.

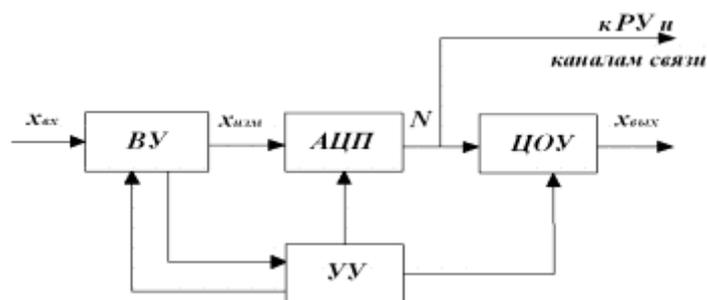


Рис.8. Структурная схема цифровой измерительной системы

Входное устройство предназначено для масштабного преобразования (усиления) входной измеряемой величины  $x_{вх}$  и, кроме этого, отделения от неё возможных помех.

Аналогово-цифровой преобразователь преобразует измеряемую величину  $x_{изм}$  в цифровой код  $N$ , который поступает на цифровое отсчетное устройство **ЦОУ**, где измеряемая величина индицируется в виде ряда цифр на соответствующем цифровом табло. Кроме этого, цифровой код  $N$  может использоваться для его фиксации на регистрирующем устройстве **РУ** и для передачи его по каналам связи в системах телеизмерения и телемеханики.

Устройство управления, в зависимости от входного сигнала, вырабатывает определенную последовательность командных сигналов во все функциональные узлы цифровой измерительной системы, обеспечивая их четкую и надежную работу.

Цифровые измерительные системы обладают, по сравнению с аналоговыми, следующими достоинствами:

- высокая точность,
- быстродействие,
- помехоустойчивость,
- минимально потребляемая энергия от объекта измерения (с датчиков),
- удобство визуального отсчета,
- возможность выдачи результатов измерения (в виде кода) в различные внешние устройства, обеспечивающие автоматизацию процессов измерения и управления.

К недостаткам подобных систем следует отнести сравнительную сложность, что обуславливает их более высокую стоимость и, в некоторых случаях, относительно невысокую надежность.

К сожалению, ограниченный объем настоящего учебного пособия и программа изучаемой дисциплины не позволяют более подробно на них останавливаться.

**Порядок выполнения работы:**

- 1 Изучить принципы построения и правила выполнения принципиальных схем автоматического контроля.
- 2 Выполнить схемы автоматического контроля на миллиметровке и на компьютере с применением программы «Компас – 3Д».

**Форма представления результата:**

Выполнение индивидуального задания.

## Тема 1.2 Системы технологического контроля

### Практическое занятие № 6

#### Схемы автоматического регулирования

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

#### Цель работы:

- 1 Изучить методику выполнения принципиальных схем
- 2 Научиться строить и вычерчивать принципиальные схемы автоматического регулирования

#### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

- применять Общероссийский классификатор продукции (ОКП);
- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### Материальное обеспечение:

Методические указания по выполнению работы, индивидуальное задание

#### Задание:

1. Изучить системы автоматического регулирования (САР).
2. Начертить принципиальную электрическую схему САР.

#### Краткие теоретические сведения:

**Система автоматического регулирования (САР)** поддерживает или улучшает функционирование управляемого объекта. В ряде случаев вспомогательные для САР операции (пуск, остановка, контроль, наладка и т.д.) также могут быть автоматизированы. САР функционирует в основном в составе производственного или какого-либо другого комплекса.

#### Порядок выполнения работы:

- 1 Изучить принципы построения и правила выполнения принципиальных схем автоматического регулирования
- 2 Выполнить схемы автоматического регулирования на миллиметровке и на компьютере с применением программы «Компас – 3Д».

#### Форма представления результата:

Выполнение индивидуального задания.

## Тема 1.2 Системы технологического контроля

### Практическое занятие № 7

#### Построение и чтение схем управления приводами

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

#### Цель работы:

##### 1 Изучить принцип построения схем управления приводами

#### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

- снимать характеристики и производить подключение приборов;
- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### Материальное обеспечение:

Методические указания по выполнению работы, индивидуальное задание

#### Задание:

1. Изучить принципы построения схем управления приводами.
2. Начертить схему управления приводом.

#### Краткие теоретические сведения:

Электрический привод (сокращённо — *электропривод*) — это электромеханическая система для приведения в движение исполнительных механизмов рабочих машин и управления этим движением в целях осуществления технологического процесса.

Современный электропривод — это совокупность множества электромашин, аппаратов и систем управления ими. Он является основным потребителем электрической энергии (до 60 %) <sup>[1]</sup> и главным источником механической энергии в промышленности.

Электропривод - электромеханическая система, состоящая из преобразователей электроэнергии, электромеханических и механических преобразователей, управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения с внешними электрическими, механическими, управляющими и информационными системами, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением в целях осуществления технологического процесса.

#### Принципы построения схемы управления электроприводом переменного тока

Трёхфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором в наибольшей степени удовлетворяет требованиям эксплуатационной надёжности электроприводов, так как он является бесконтактным и коммутация его рабочей цепи не сопровождается высокими переходными токами и напряжениями. Однако такой вид подключения к сети в нашей стране не получил столь широкого распространения как двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением. Одна из основных причин этого заключается в том, что схемы управления трёхфазным двигателем существенно превышают по расходу кабеля или аппаратурным затратам типовую двухпроводную схему управления электроприводом постоянного тока. Наиболее близка к двухпроводной схеме по технико-экономическим показателям и алгоритму трёхпроводная схема управления электроприводом с трёхфазным двигателем, имеющая местное реверсирование.

Рабочая и контрольная цепи схемы (рис. 4.28, а) содержат фазо-контрольное устройство ФК для блокировки пускового реле НПС по рабочему току, узел контроля К и положения стрелки, фазочувствительное реверсирующее реле ФЧ, электропривод СП с автопереключателем АП, источник трехфазного напряжения С1Ф—С3Ф. Расчеты кабельных линий показывают, что благодаря большей дальности управления без дублирования кабельных жил данная схема по расходу кабеля находится на уровне предельно экономичной двухпроводной схемы.

Но она содержит большее число приборов, а также реверсирующее реле с открытой контактной системой, работающее в эксплуатируемых условиях, что является основной причиной, сдерживающей ее широкое применение. Однако имеется принципиальная возможность построения трех-проводной схемы без реверсирующего реле, т. е. с центральным реверсированием. Для совмещения рабочей и контрольной цепей в такой схеме применяют силовой диод VD, включенный в один из линейных проводов для выполнения контрольных функций (рис. 4.28, б). Возможно также использование трех батарей конденсаторов С1—С3, устраняющих замыкание постоянной составляющей контрольного тока через обмотки электродвигателя и асимметрию рабочего тока (рис. 4.28, в).

Но первая из этих схем не обеспечивает номинального вращающего момента на валу электродвигателя при пуске электропривода из крайних положений, так как все три обмотки в это время подмагничиваются постоянной составляющей выпрямленного диодом VD рабочего тока. Вторая же схема содержит большое число параллельно соединенных и поэтому неконтролируемых рабочей и контрольными цепями конденсаторов. Первая и вторая схемы требуют индивидуального для каждой стрелки времязадающего датчика I класса для автоматического размыкания рабочей цепи по истечении времени нормального перевода, что обусловлено невозможностью остановки электропривода по окончании перевода стрелки в случае неисправности контрольной цепи. Трехпроводными схемами без реверсирующего органа невозможно последовательно переводить спаренные электроприводы, в связи с чем для стрелок съездов требуется удвоенный расход кабеля. Необходимо также обеспечивать непрерывность работы контрольной цепи при размыкании блок-контакта электропривода, так как контрольный ток проходит через обмотки электродвигателя.

Добавление в схему с центральным реверсированием четвертого провода уменьшает аппаратную избыточность, так как облегчается задача совмещения рабочей и контрольной цепей (рис. 4.28, г). Однако при этом сохраняются параллельный перевод спаренных электроприводов и более высокий (на 30—35%) расход кабеля по сравнению с двухпроводной схемой. Четырехпроводная схема применяется на ряде станций магистральных железных дорог и промышленного транспорта.

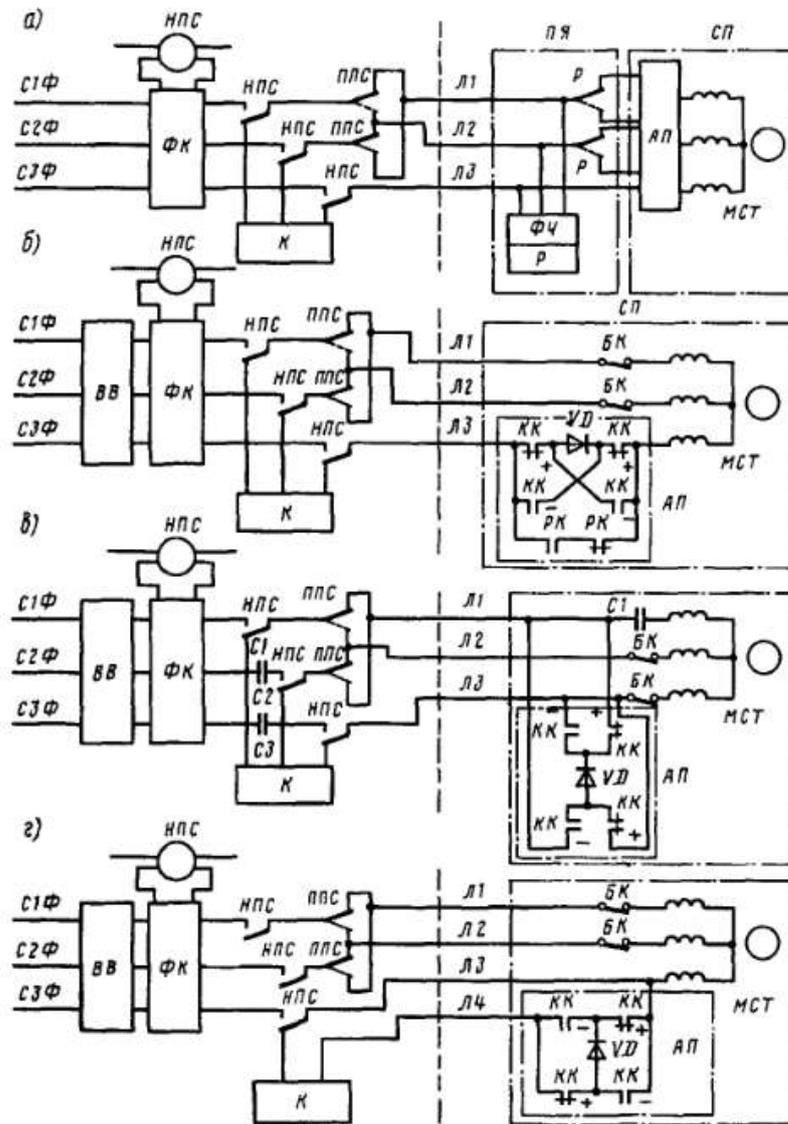


Рис. 4.28. Принципиальные схемы управления стрелочным приводом переменного тока

#### Порядок выполнения работы:

- 1 Изучить принципы построения и правила выполнения схем управления приводами
- 2 Выполнить схему управления приводами на миллиметровке и на компьютере с применением программы «Компас – 3Д».

#### Форма представления результата:

Выполнение индивидуального задания.

## Тема 1.2 Системы технологического контроля

### Практическое занятие № 8

#### Построение и чтение схем сигнализации

#### **Формируемая компетенция:**

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

#### **Цель работы:**

##### **1 Изучить принцип построения схем сигнализации**

#### **Выполнив работу, Вы будете:**

*уметь:*

- снимать характеристики и производить подключение приборов;
- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### **Материальное обеспечение:**

Методические указания по выполнению работы, индивидуальное задание

#### **Задание:**

1. Изучить принципы построения схем сигнализации.
2. Начертить схему сигнализации.

#### **Порядок выполнения работы:**

- 1 Изучить принципы построения и правила выполнения схем сигнализации
- 2 Выполнить схему сигнализации на миллиметровке и на компьютере с применением программы «Компас – 3Д».

#### **Форма представления результата:**

Выполнение индивидуального задания.

## Тема 1.2 Системы технологического контроля

### Практическое занятие № 9

#### Типовые САР

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

#### Цель работы:

#### 1 Изучить принцип построения локальных САР

#### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### Материальное обеспечение:

Методические указания по выполнению работы, индивидуальное задание

#### Задание:

1. Изучить принципы построения типовых САР.
2. Начертить схему по индивидуальному заданию.

#### Краткие теоретические сведения:

Типовыми называются САР, которые сходны структурно и аппаратно и применяются при автоматизации многих различных тепловых агрегатов.

К типовым можно отнести САР:

1. Температуры в печи
2. Соотношения расходов топлива и воздуха
3. Давления в печи
4. Давления вещества в трубопроводе
5. Расхода вещества в трубопроводе

Каждую САР следует рассматривать в плане:

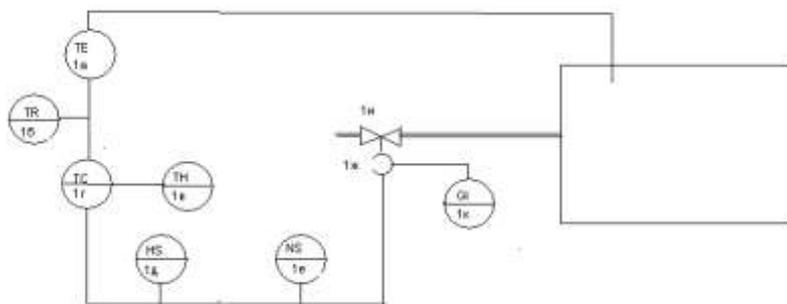
1. Назначение САР
2. Функциональная схема САР
3. Перечень средств автоматизации
4. Порядок работы САР
5. Управляющее воздействие
6. Возмущающие воздействия

Типовые САР будут рассматриваться на примере одного объекта управления: в нагревательной печи должна поддерживаться температура  $1000^{\circ}\text{C}$ , печь отапливается газом. Для сжигания газа в печь подается воздух, сжигание должно быть экономичным. Для создания оптимального теплового режима в печи должно поддерживаться определенное давление. Горелочные устройства должны работать стабильно, для чего следует стабилизировать расход (или давление) газа и воздуха. При падении давления газа или воздуха ниже допустимого предела должна сработать сигнализация и отсечка газа и воздуха в печь.

#### САР температуры в печи

**Назначение САР** – поддержание температурного режима, т.е. поддержание в ней температуры  $1000^{\circ}\text{C}$ .

## Функциональная схема САР температуры



### Перечень КИПиА

Обозначение позиции	Наименование	Количество	Примечание
1а	Термопара	1	
1б	Вторичный прибор	1	
1в	Ручной задатчик	1	
1г	Регулятор	1	
1д	Блок ручного управления	1	
1е	Пускатель (усилитель)	1	
1ж	Исполнительный механизм МЭО (механизм электрический однооборотный)	1	
1и	Регулирующий орган	1	
1к	Указатель положения регулирующего органа (вала исполнительного механизма)	1	

### Порядок работы САР

Температура в печи измеряется термопарой 1а, сигнал с неё подается на вторичный прибор 1б и на регулятор 1г. На регулятор также подается сигнал задания с ручного задатчика 1в. Текущий сигнал температуры (например, 900<sup>0</sup>С) и сигнал задания (пропорциональный 1000<sup>0</sup>С) сравниваются, если между ними есть разница (отклонение, рассогласование), то регулятор вырабатывает сигнал управляющего воздействия в сторону «больше» или «меньше» и через блок ручного управления 1д (в автоматическом режиме) передает его на пускатель (усилитель) 1е, где сигнал усиливается по мощности. Пускатель приводит в действие двигатель исполнительного механизма 1ж. Исполнительный механизм сочленён с регулирующим органом 1и и перемещает его в сторону «больше» или «меньше» пока температура в печи не станет равной заданной. Положение регулирующего органа (вала исполнительного механизма) фиксируется указателем положения 1к. Блок ручного управления предназначен для переключения САР из автоматического режима в ручной или наоборот, а также для перемещения регулирующего органа в ручном режиме с помощью кнопок управления. В блоке ручного управления может быть встроенный указатель положения.

**Управляющее воздействие** – изменение подачи газа.

**Возмущающие воздействия:** изменение давления газа или воздуха, давления в печи, калорийности газа и т.д.

### САР соотношения расходов топлива и воздуха

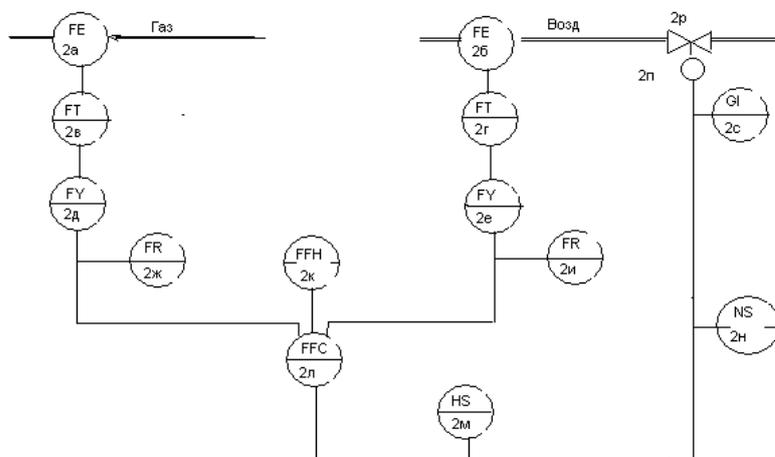
Назначение САР – экономичное сжигание топлива. Топливо сжигается полностью в определенном соотношении с воздухом.

Другими словами, для сжигания, например, 1 кг газа необходимо 10 кг воздуха, то соотношение их расходов 1 : 10, т.е. коэффициент соотношения расходов  $\kappa_c$  равен 10. Поэтому правильно, что расход воздуха  $F_B$  должен быть равен расходу газа  $F_T$ , умноженному на коэффициент соотношения  $\kappa_c$  или  $F_B = \kappa_c F_T$

Если количество воздуха больше необходимого, то топливо сожжется полностью, а тепло будет расходоваться на нагрев лишнего топлива и температура в печи снизится, т.е. не будет достигнута максимальная температура.

Если количество воздуха меньше необходимого, то топливо не сожжется полностью и максимальная температура также не будет достигнута.

### Функциональная схема САР соотношения расходов «топливо-воздух»



### Перечень КИПиА

Обозначение позиции	Наименование	Количество	Примечание
2а, 2б	Сужающее устройство	2	
2в, 2г	Дифманометр	2	
2д, 2е	Блок извлечения корня	2	
2ж, 2и	Вторичный прибор	2	
2к	Ручной задатчик	1	
2л	Регулятор	1	
2м	Блок ручного управления	1	
2н	Пускатель (усилитель)	1	
2п	Исполнительный механизм МЭО (механизм электрический однооборотный)	1	
2р	Регулирующий орган	1	
2с	Указатель положения регулирующего органа (вала исполнительного механизма)	1	

### Порядок работы САР

Для измерения расхода газа (воздуха) в трубопроводе устанавливается сужающее устройство 2а (2б), оно создаёт перепад давления газа (воздуха) в трубопроводе, этот перепад фиксируется дифманометром 2в (2г). Сигнал с дифманометра поступает на блок извлечения корня 2д (2е).

[Зависимость расхода  $F$  от перепада давления  $\Delta P$  квадратичная.

$$F = k \sqrt{\Delta P},$$

где  $k$  – коэффициент, который учитывает свойства среды и трубопровода.

Блок извлечения корня производит математическую операцию – извлечение корня из значения сигнала перепада давления]

С блока извлечения корня сигнал пропорциональный расходу поступает на вторичный прибор 2ж (2и) и на регулятор 2л. На регулятор также подается сигнал задания (пропорциональный коэффициенту избытка воздуха  $\alpha$ ) с ручного задатчика 2к.

Текущие сигналы расхода газа  $F_G$  и воздуха  $F_B$  должны быть в равновесии:

$$F_B = \alpha (k_c F_G),$$

где  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха

$k_c$  – коэффициент соотношения

Если есть отклонение от задания, то регулятор вырабатывает сигнал управляющего воздействия в сторону «больше» или «меньше» и через блок ручного управления 2м (в автоматическом режиме) передает его на пускатель (усилитель) 2н, где сигнал усиливается по мощности. Пускатель приводит в действие двигатель исполнительного механизма 2п. Исполнительный механизм сочленён с регулирующим органом 2р и перемещает его в сторону «больше» или «меньше» пока не восстановится равенство  $F_B = \alpha (k_c F_G)$ . Положение регулирующего органа (вала исполнительного механизма) фиксируется указателем положения 2с. Блок ручного управления предназначен для переключения САР из автоматического режима в ручной или наоборот, а также для перемещения регулирующего органа в ручном режиме с помощью кнопок управления. В блоке ручного управления может быть встроенный указатель положения.

**Управляющее воздействие** – изменение подачи воздуха.

**Возмущающие воздействия:** изменение давления газа или воздуха, давления в печи, калорийности газа и т.д.

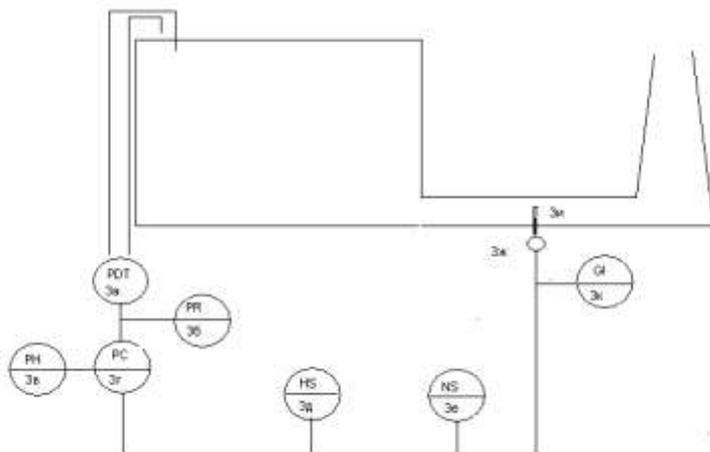
### **САР давления в печи**

**Назначение САР** – поддержание оптимальной тяги, т.е. поддержание в ней давление близкое к атмосферному на уровне пода печи. Если давление будет больше заданного возникнут выбивания продуктов сгорания из пространства печи, они токсичны. Если давление будет меньше заданного возникнет подсос холодного воздуха в пространство печи и снижение температуры в ней.

### **Система измерения давления в печи**

В печи следует поддерживать небольшое по величине избыточное давление  $P_{из}$ , отбор давления берется из пространства печи (в своде) и по импульсной трубке передается на измерительный прибор давления. Однако в трубке возникают температурные напоры  $P_t$  из-за высоких температур (трубка проходит вблизи печи и нагревается), они в сотни раз по величине превышают избыточное давление в печи. Для устранения данной погрешности измерения рядом с импульсной трубкой прокладывается компенсационная трубка в тех же условиях, только отбор давления берётся над печью. Обе линии подключаются к разным камерам дифманометра, где величина температурного напора компенсируется и на выходе дифманометра появляется сигнал пропорциональный избыточному давлению. Система измерения давления в печи состоит из дифманометра и вторичного прибора.

### Функциональная схема САР давления в печи



### Перечень КИПиА

Обозначение позиции	Наименование	Количество	Примечание
3а	Дифманометр	1	
3б	Вторичный прибор	1	
3в	Ручной задатчик	1	
3г	Регулятор	1	
3д	Блок ручного управления	1	
3е	Пускатель (усилитель)	1	
3ж	Исполнительный механизм МЭО (механизм электрический однооборотный)	1	
3и	Регулирующий орган	1	
3к	Указатель положения регулирующего органа (вала исполнительного механизма)	1	

### Порядок работы САР

Давление в печи измеряется дифманометром 3а, сигнал с него подается на вторичный прибор 3б и на регулятор 3г. На регулятор также подается сигнал задания с ручного задатчика 3в. Текущий сигнал давления в печи сравнивается с сигналом задания, если между ними есть разница (отклонение, рассогласование), то регулятор вырабатывает сигнал управляющего воздействия в сторону «больше» или «меньше» и через блок ручного управления 3д (в автоматическом режиме) передает его на пускатель (усилитель) 3е, где сигнал усиливается по мощности. Пускатель приводит в действие двигатель исполнительного механизма 3ж. Исполнительный механизм сочленён с регулирующим органом 3и и перемещает его в сторону «больше» или «меньше» пока давление в печи не станет равным заданному. Положение регулирующего органа (вала исполнительного механизма) фиксируется указателем положения 3к. Блок ручного управления предназначен для переключения САР из автоматического режима в ручной или наоборот, а также для перемещения регулирующего органа в ручном режиме с помощью кнопок управления. В блоке ручного управления может быть встроенный указатель положения.

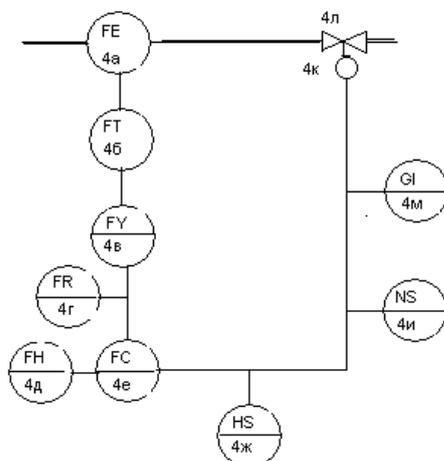
**Управляющее воздействие** – изменение тяги в печи (изменение положения шиберы в дымоходе).

**Возмущающие воздействия:** изменение давления газа или воздуха, подсосы воздуха и т.д.

### САР расхода вещества в трубопроводе

**Назначение САР** – стабилизация расхода (давления) вещества в трубопроводе. Например, для стабильной работы горелочных устройств подача газа и воздуха должна быть равномерной, без пульсаций.

#### Функциональная схема САР расхода вещества в трубопроводе



#### Перечень КИПиА

Обозначение позиции	Наименование	Количество	Примечание
4а	Сужающее устройство	1	
4б	Дифманометр	1	
4в	Блок извлечения корня	1	
4г	Вторичный прибор	1	
4д	Ручной задатчик	1	
4е	Регулятор	1	
4ж	Блок ручного управления	1	
4и	Пускатель (усилитель)	1	
4к	Исполнительный механизм МЭО (механизм электрический однооборотный)	1	
4л	Регулирующий орган	1	
4м	Указатель положения регулирующего органа (вала исполнительного механизма)	1	

Для измерения расхода вещества в трубопроводе устанавливается сужающее устройство 4а, оно создаёт перепад давления вещества в трубопроводе, этот перепад фиксируется дифманометром 4б. Сигнал с дифманометра поступает на блок извлечения корня 4в.

[Зависимость расхода F от перепада давления  $\Delta P$  квадратичная.

$$F = k \sqrt{\Delta P},$$

где k – коэффициент, который учитывает свойства среды и трубопровода.

Блок извлечения корня производит математическую операцию – извлечение корня из значения сигнала перепада давления]

С блока извлечения корня сигнал пропорциональный расходу поступает на вторичный прибор 4г и на регулятор 4е. На регулятор также подается сигнал задания с ручного задатчика 4д.

Если есть отклонение текущего сигнала от сигнала задания, то регулятор вырабатывает сигнал управляющего воздействия в сторону «больше» или «меньше» и через блок ручного управления 4ж (в автоматическом режиме) передает его на пускатель (усилитель) 4и, где сигнал усиливается по мощности. Пускатель приводит в действие двигатель исполнительного механизма 4к. Исполнительный механизм сочленён с регулирующим органом 4л и перемещает его в сторону «больше» или «меньше» пока отклонение не станет равно нулю. Положение регулирующего органа (вала исполнительного механизма) фиксируется указателем положения 4м. Блок ручного управления предназначен для переключения САР из автоматического режима в ручной или наоборот, а также для перемещения регулирующего органа в ручном режиме с помощью кнопок управления. В блоке ручного управления может быть встроенный указатель положения.

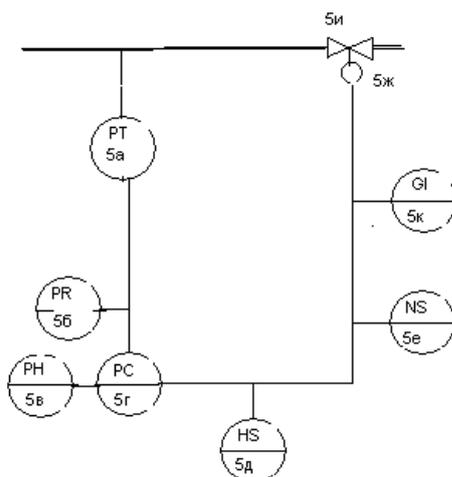
**Управляющее воздействие** – изменение подачи вещества.

**Возмущающие воздействия:** изменение давления вещества.

### САР давления вещества в трубопроводе

**Назначение САР** – стабилизация давления (расхода) вещества в трубопроводе. Например, для стабильной работы горелочных устройств подача газа и воздуха должна быть равномерной, без пульсаций.

#### Функциональная схема САР давления вещества в трубопроводе



#### Перечень КИПиА

Обозначение позиции	Наименование	Количество	Примечание
5а	Манометр	1	
5б	Вторичный прибор	1	
5в	Ручной задатчик	1	
5г	Регулятор	1	
5д	Блок ручного управления	1	
5е	Пускатель (усилитель)	1	
5ж	Исполнительный механизм МЭО (меха-	1	

	низм электрический однооборотный)		
5и	Регулирующий орган	1	
5к	Указатель положения регулирующего органа (вала исполнительного механизма)	1	

### ***Порядок работы САР***

Давление вещества в трубопроводе измеряется манометром 5а, сигнал с него подается на вторичный прибор 5б и на регулятор 5г. На регулятор также подается сигнал задания с ручного задатчика 5в. Текущий сигнал давления сравниваются с сигналом задания, если между ними есть разница (отклонение, рассогласование), то регулятор вырабатывает сигнал управляющего воздействия в сторону «больше» или «меньше» и через блок ручного управления 5д (в автоматическом режиме) передает его на пускатель (усилитель) 5е, где сигнал усиливается по мощности. Пускатель приводит в действие двигатель исполнительного механизма 5ж. Исполнительный механизм сочленён с регулирующим органом 5и и перемещает его в сторону «больше» или «меньше» пока давление в печи не станет равным заданному. Положение регулирующего органа (вала исполнительного механизма) фиксируется указателем положения 5к. Блок ручного управления предназначен для переключения САР из автоматического режима в ручной или наоборот, а также для перемещения регулирующего органа в ручном режиме с помощью кнопок управления. В блоке ручного управления может быть встроенный указатель положения.

***Управляющее воздействие*** – изменение подачи вещества.

***Возмущающие воздействия:*** изменение давления вещества.

### **Порядок выполнения работы:**

- 1 Изучить принципы построения и правила выполнения схем локальных САР
- 2 Выполнить локальную САР на миллиметровке и на компьютере с применением программы «Компас – 3Д».

### **Форма представления результата:**

Выполнение индивидуального задания.

## Тема 1.2 Системы технологического контроля

### Практическое занятие № 10

#### Регулирование давления в трубопроводе

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

#### Цель работы:

1 Изучить работу установки, научиться регулировать давление вещества в трубопроводе

#### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### Материальное обеспечение:

Методические указания по выполнению работы

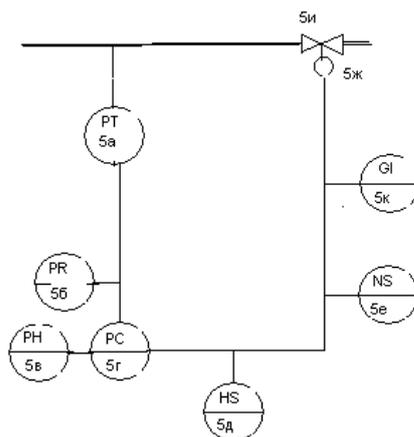
#### Задание:

1. Изучить принципы построения локальной САР давления.
2. Начертить схему по индивидуальному заданию.

#### Краткие теоретические сведения:

**Назначение САР** – стабилизация давления (расхода) вещества в трубопроводе. Например, для стабильной работы горелочных устройств подача газа и воздуха должна быть равномерной, без пульсаций.

#### Функциональная схема САР давления вещества в трубопроводе



#### Перечень КИПиА

Обозначение позиции	Наименование	Количество	Примечание

5а	Манометр	1	
5б	Вторичный прибор	1	
5в	Ручной задатчик	1	
5г	Регулятор	1	
5д	Блок ручного управления	1	
5е	Пускатель (усилитель)	1	
5ж	Исполнительный механизм МЭО (механизм электрический однооборотный)	1	
5и	Регулирующий орган	1	
5к	Указатель положения регулирующего органа (вала исполнительного механизма)	1	

### ***Порядок работы САР***

Давление вещества в трубопроводе измеряется манометром 5а, сигнал с него подается на вторичный прибор 5б и на регулятор 5г. На регулятор также подается сигнал задания с ручного задатчика 5в. Текущий сигнал давления сравниваются с сигналом задания, если между ними есть разница (отклонение, рассогласование), то регулятор вырабатывает сигнал управляющего воздействия в сторону «больше» или «меньше» и через блок ручного управления 5д (в автоматическом режиме) передает его на пускатель (усилитель) 5е, где сигнал усиливается по мощности. Пускатель приводит в действие двигатель исполнительного механизма 5ж. Исполнительный механизм сочленён с регулирующим органом 5и и перемещает его в сторону «больше» или «меньше» пока давление в печи не станет равным заданному. Положение регулирующего органа (вала исполнительного механизма) фиксируется указателем положения 5к. Блок ручного управления предназначен для переключения САР из автоматического режима в ручной или наоборот, а также для перемещения регулирующего органа в ручном режиме с помощью кнопок управления. В блоке ручного управления может быть встроенный указатель положения.

***Управляющее воздействие*** – изменение подачи вещества.

***Возмущающие воздействия:*** изменение давления вещества.

### **Порядок выполнения работы:**

1. Изучить состав оборудования установки;
2. Представить функциональную схему САР;
3. Заполнить перечень КИПиА САР давления;
4. Провести регулирование давления воздуха в трубопроводе в прямом и обратном направлении хода регулирующего органа;
5. Данные опытов занести в таблицу;
6. Построить график зависимости давления в трубопроводе от степени открытия регулирующего органа;
7. Сделать выводы

### **Форма представления результата:**

Оформление задания в тетради.

## Тема 1.2 Системы технологического контроля

### Практическое занятие № 11

#### Автоматизация котельных агрегатов

#### **Формируемая компетенция:**

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

#### **Цель работы:**

##### **1 Изучить работу котельного агрегата**

#### **Выполнив работу, Вы будете:**

*уметь:*

- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### **Материальное обеспечение:**

Методические указания по выполнению работы

#### **Задание:**

- 1 Изучить работу котельного агрегата
- 2 Изучить параметры, контролируемые и регулируемые в котлах
- 3 Начертить функциональную схему автоматизации котельной установки.

#### **Краткие теоретические сведения:**

Котельная установка – это целый комплекс отдельных устройств, предназначенный для преобразования химической энергии топлива в тепловую энергию пара (горячей воды). Устройства, из которых состоит котельная, можно разделить на основные и вспомогательные. К основным элементам относят: котлы, топки, газоходы, дымовые трубы. Вспомогательные элементы – это, например, устройства топливоотдачи и пылеприготовления, золоуловители, дутьевые вентиляторы, дымососы-вентиляторы, насосы, водяной экономайзер, воздухоподогреватель и проч. Если без основных устройств котельная совсем не может функционировать, то без дополнительных устройств она хоть и работает, но сильно повышается расход топлива и тем самым снижается коэффициент полезного действия.

По типу потребителя котельные могут быть энергетические, производственно-отопительные, отопительные. По виду производимого продукта – паровые (вырабатывают пар) и водогрейные (вырабатывают горячую воду). По масштабу теплоснабжения котельные бывают местные, групповые и районные. Рассмотрим, например, принцип работы районной отопительной водогрейной котельной, служащей для получения горячей воды для водоснабжения и отопления потребителей. Итак, необходимый для горения топлива воздух подается дутьевыми вентиляторами в топку. Вода в котел поступает благодаря насосам, которые приводятся в действие электродвигателем (как и дутьевые вентиляторы). Вода нагревается до необходимой температуры, пройдя через поверхность нагрева, поступает к потребителю, там отдает часть теплоты и со сниженной температурой снова возвращается в котел для дальнейшего нагрева. Дымовые газы выбрасываются в атмосферу через трубу.

#### **Классификация котельных установок**

Котельные установки в зависимости от типа потребителя разделяются на энергетические, производственно-отопительные и отопительные. По виду вырабатываемого теплоносителя они делятся на паровые (для выработки пара) и водогрейные (для выработки горячей воды).

**Энергетические котельные установки** вырабатывают пар для паровых турбин на тепловых электростанциях. Такие котельные оборудуют, как правило, котлоагрегатами большой и средней мощности, которые вырабатывают пар повышенных параметров.

**Производственно-отопительные котельные установки** (обычно паровые) вырабатывают пар не только для производственных нужд, но и для целей отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

**Отопительные котельные установки** (в основном водогрейные, но они могут быть и паровыми) предназначены для обслуживания систем отопления, горячего водоснабжения и вентиляции производственных и жилых помещений.

В зависимости от масштаба теплоснабжения отопительные котельные разделяются на местные (индивидуальные), групповые и районные.

**Местные отопительные котельные** обычно оборудуют водогрейными котлами с нагревом воды до температуры не более  $115^{\circ}\text{C}$  или паровыми котлами с рабочим давлением до  $70\text{кПа}$ . Такие котельные предназначены для снабжения теплотой одного или нескольких зданий.

**Групповые отопительные котельные** обеспечивают теплотой группы зданий, жилые кварталы или небольшие микрорайоны. Такие котельные оборудуют как паровыми, так и водогрейными котлами, как правило, большей теплопроизводительности, чем котлы для местных котельных. Эти котельные обычно размещают в специальных зданиях.

**Районные отопительные котельные** предназначены для теплоснабжения крупных жилых массивов; их оборудуют сравнительно мощными водогрейными и паровыми котлами.

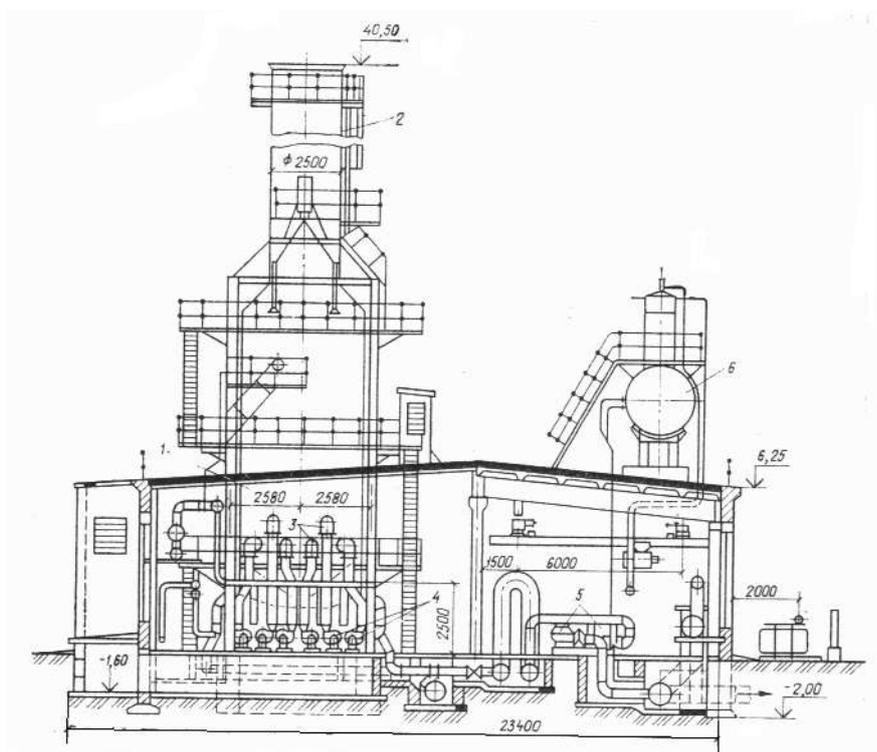


Рис.1.1 Схема районной отопительной котельной установки.

На рис. 1.1. приведена схема районной отопительной котельной с водогрейными котлами I типа ПТВМ-50 теплопроизводительностью 58 МВт. Котлы могут работать на жидком и газообразном топливе, поэтому они оборудованы горелками и форсунками 3. Воздух, необходимый для горения, подается в топку дутьевыми вентиляторами 4, приводимыми в действие электродвигателями. На каждом котле установлено 12 горелок и столько же вентиляторов.

Вода в котел подается насосами 5, приводимыми в действие электродвигателями. Пройдя через поверхность нагрева, вода нагревается и поступает к потребителям, где отдает часть теплоты, и с пониженной температурой снова возвращается в котел. Дымовые газы из котла удаляются в атмосферу через трубу 2.

Эта котельная имеет компоновку полуоткрытого типа: нижняя часть котлов (примерно до высоты 6 м) расположена в здании, а верхняя их часть – на открытом воздухе. Внутри котельной размещают дутьевые вентиляторы, насосы, а также щит управления. На перекрытии котельной устанавливают деаэратор 6 для удаления кислорода и  $CO_2$  из воды.

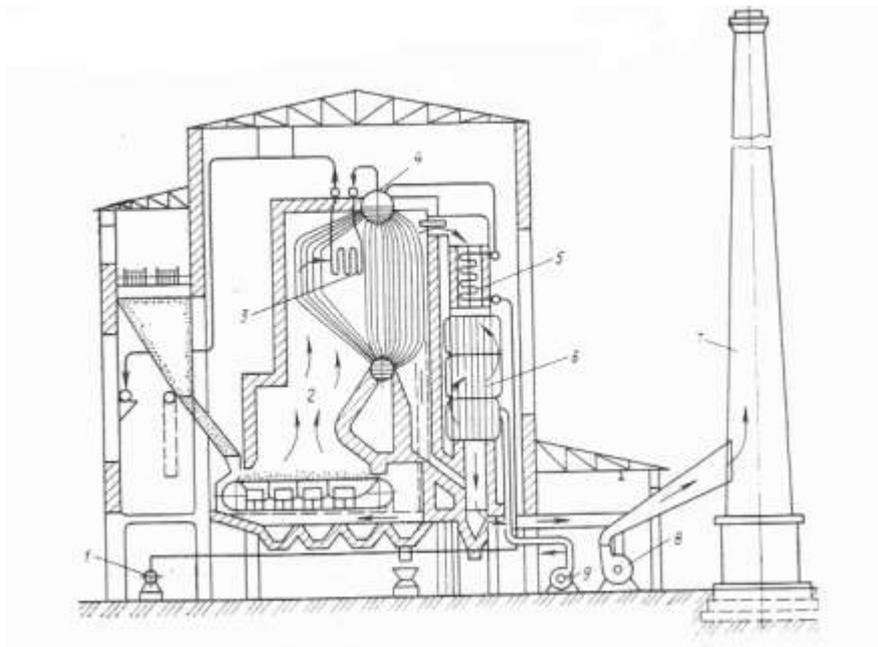
**В котельных установках с паровыми котлами** (рис.1.2) паровой котел 4 имеет два барабана - верхний и нижний. Барабаны соединены между собой тремя пучками труб, образующих поверхность нагрева котла. При работе котла нижний барабан заполнен водой, верхний - в нижней части водой, а в верхней части насыщенным водяным паром. В нижней части котла расположена топка 2 с механической колосниковой решеткой для сжигания твердого топлива. При сжигании жидкого и газообразного топлива вместо решетки устанавливают форсунки или горелки, через которые топливо вместе с воздухом подается в топку. Котел ограничен кирпичными стенами - обмуровкой.

Рабочий процесс в котельной протекает следующим образом. Топливо с топливного склада подается транспортером в бункер, откуда оно поступает на колосниковую решетку топки, где и сгорает. В результате сгорания топлива образуются дымовые газы - горят продукты сгорания.

Дымовые газы из топки поступают в газоходы котла, образуемые обмуровкой и специальными перегородками, установленными в пучках труб. При движении газы омывают пучки труб котла пароперегревателя 3, проходят через экономайзер 5 и воздухонагреватель, где они охлаждаются вследствие подачи теплоты воде, поступающей в котел, и воздуху, подаваемому в топку. Охлажденные дымовые газы с помощью дымососа 8 удаляются через дымовую трубу 7 в атмосферу. Дымовые газы котла могут отводиться и без дымососа под действием естественной тяги со встраиваемой дымовой трубой.

Вода из источника водоснабжения к питательному трубопроводу насосом 1 в водяной экономайзер, откуда после нагрева поступает в верхний барабан котла. Заполнение барабана котла водой контролируется по водоуказательному стеклу, установленному на барабане.

Из верхнего барабана котла вода по трубам опускается в нижний барабан, откуда по левому пучку труб она снова поднимается в верхний барабан. При этом вода испаряется, а образующийся пар собирается в верхней части верхнего барабана. Затем пар поступает в пароперегреватель 3, где теплотой дымовых газов он полностью подсушивается, в результате чего температура его повышается.



*Рис.1.2 Схема паровой котельной установки.*

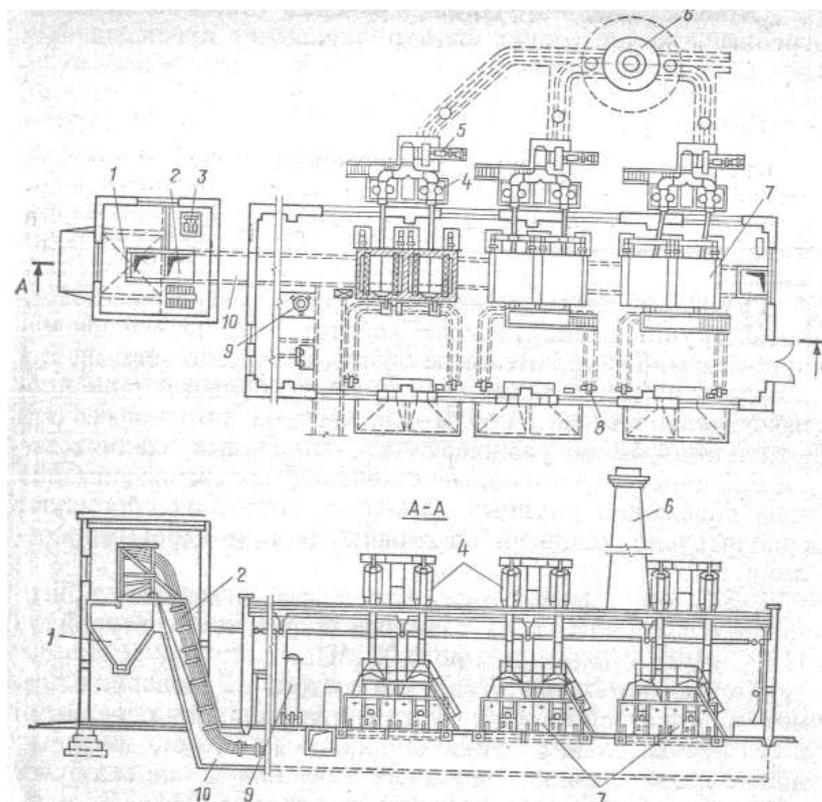
Из пароперегревателя пар поступает в главный паропровод и оттуда к потребителю, а после использования конденсируется и в виде горячей воды (конденсата) возвращается обратно в котельную. Потери конденсата у потребителя восполняются водой из водопровода или других источников водоснабжения. Перед подачей в котел воду подвергают соответствующей обработке.

Воздух, необходимый для горения топлива, забирается, как правило, вверху помещения котельной и подается вентилятором 9 в воздухоподогреватель, где он подогревается и затем направляется в топку. В котельных небольшой мощности воздухоподогреватели обычно отсутствуют, и холодный воздух в топку подается или вентилятором, или за счет разрежения в топке, создаваемого дымовой трубой.

Котельная установка с паровыми котлами имеет компоновку закрытого типа, когда все основное оборудование котельной размещено в здании.

Котельные установки оборудуют водоподготовительными устройствами (на схеме не показаны), контрольно-измерительными приборами и соответствующими средствами автоматизации, что обеспечивает их бесперебойную и надежную эксплуатацию.

**Водогрейные котельные** установки предназначены для получения горячей воды, используемой для отопления, горячего водоснабжения и других целей.



*Рис. 1.1. Котельная с чугунными водогрейными котлами*

*1-бункер для сбора золы и шлака; 2-скрепер; 3-лебедка привода скрепера; 4-золоуловители циклонного типа; 5-дымосос; 6-кирпичная дымовая труба; 7-котел; 8-дутьевой вентилятор; 9-установка химической очистки воды (фильтр); 10-скреперный канал для удаления шлака и золы*

Водогрейная котельная имеет один теплоноситель – воду в отличие от паровой котельной, у которой два теплоносителя – вода и пар. В связи с этим в паровой котельной необходимо иметь отдельные трубопроводы для пара и воды, а также бака для сбора конденсата.

Водогрейные и паровые котельные различаются в зависимости от вида используемого топлива, конструкции котлов, топок и т.п. В состав как паровой, так и водогрейной котельной установки обычно входят несколько котлоагрегатов, но не менее двух и не более четырех-пяти. Все они связываются между собой общими коммуникациями – трубопроводами, газопроводами и др.

Все большее распространение получают установки, работающие на ядерном топливе, исходным сырьем которого является урановая руда.

### **Принципиальные схемы котельных**

Отдельные элементы принципиальной схемы котельной установки принято условно показывать в виде прямоугольников, кружков и т.п. и соединять их между собой линиями (сплошными, пунктирными), обозначающими трубопровод, паропроводы и т.п. В принципиальных схемах паровых и водогрейных котельных установок имеются существенные различия. Паровая котельная установка (рис. 1.2 а) из двух паровых котлов 1, оборудованных индивидуальными водяными 4 и воздушными 5 экономайзерами, включает групповой золоуловитель 11, к которому дымовые газы подходят по сборному борову 12. Для отсоса дымовых газов на участке между золоуловителем 11 и дымовой трубой 9 установлены дымососы 7 с электродвигателями 8. Для работы котельной без дымососов установлены шиберы (заслонки) 10.

Пар котлов по отдельным паропроводам 19 поступает в общий паропровод 18 и по нему к потребителю 17. Отдав теплоту, пар конденсируется и по конденсатопроводу 16 возвращается в котельную в сборный конденсационный бак 14. Через трубопровод 15 в конденсационный бак подается добавочная вода из водопровода или химводоочистки.

В случае, когда часть конденсата теряется у потребителя, из конденсационного бака смесь конденсата и добавочной воды подается насосами 13 по питательному трубопроводу 2 сначала в экономайзер 4, затем в котел 1. Воздух необходимый для горения, засасывается центробежными дутьевыми вентиляторами 6 частично из помещения котельной, частично снаружи и по воздуховодам 3 подается сначала к воздухоподогревателям 5, а затем к топкам котлов.

Водогрейная котельная установка (рис. 1.2 б) состоит из двух водогрейных котлов 1, одного группового водяного экономайзера 5, обслуживающего оба котла. Дымовые газы по выходе из экономайзера по общему сборному борову 3 поступают непосредственно в дымовую трубу 4. Вода, нагретая в котлах, поступает в общий трубопровод 8, откуда подается к потребителю 7. Отдав теплоту, охлажденная вода по обратному трубопроводу 2 направляется сначала в экономайзер 5, а затем опять в котлы. Вода по замкнутому контуру (котел, потребитель, экономайзер, котел) перемещается посредством циркуляционных насосов 6.

Водогрейная котельная установка, как и паровая, может быть оборудована дымососами и экономайзерами. Принципиальное отличие схемы паровой от водогрейной заключается в том, что в первом мы имеем два вида теплоносителя – пар, перемещаемый за счет своей упругости, и конденсат, перемещаемый за счет уклона трубопровода, а во втором имеем один теплоноситель – воду, перемещаемую за счет работы насосов или естественной циркуляции.

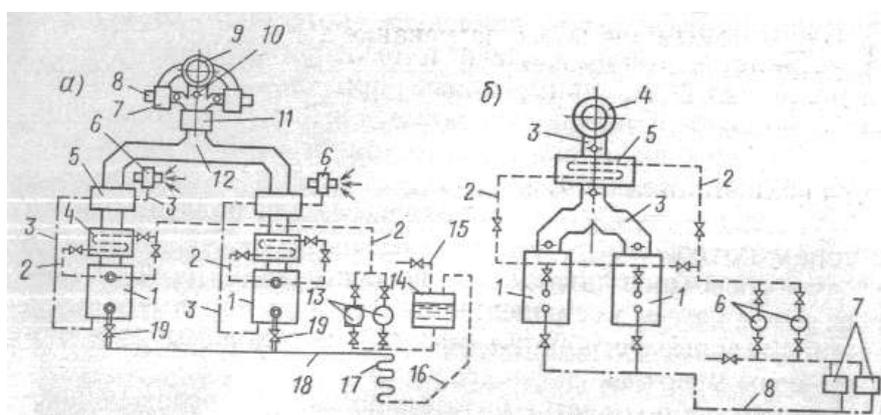


Рис. 1.2. Принципиальные схемы паровой (а) и водогрейной котельных

### Устройство и принцип работы котлов

Паровой или водогрейный котел представляет собой устройство в виде металлического сосуда, который обогревается продуктами сгорания топлива и служит для получения горячей воды или пара. Основным элементом котла является поверхность нагрева – поверхность металлических стенок, омываемых с одной стороны горячими газами, а с другой – водой. В современных котлах поверхность нагрева выполняется в виде труб, присоединенных к барабанам и коллекторам.

В зависимости от места расположения поверхность нагрева котла делится на радиационную и конвективную.

*Радиационная поверхность нагрева* воспринимает теплоту от газов главным образом вследствие их лучеиспускания. Большая часть этой поверхности, расположенная в топке, называется экраном. В зависимости от места расположения экраны разделяются на боковые (трубы размещены на боковых стенках топки), фронтные (трубы находятся на передней стенке) и т.д.

*Конвективная поверхность нагрева* воспринимает теплоту от газов при соприкосновении (конвекции) с ними. Она расположена в газоходах котла, где передача теплоты лучеиспусканием хотя и наблюдается, но не является главной и по величине значительно меньше передачи теплоты конвекцией. Таким образом, полная площадь поверхности нагрева котла  $H_K$  м<sup>2</sup>, равна:

$$H_K = H_P + H_{\text{конв}},$$

где  $H_P$  и  $H_{\text{конв}}$  - площади радиационной и конвективной поверхностей нагрева котла.

Площадь поверхности нагрева котла определяется со стороны, омываемой газами. При работе парового котла нижняя часть его объема всегда заполнена водой, а верхняя часть – паром. Объем котла, занятый водой, называется водяным пространством или водяным объемом. Та часть объема котла, которая при работе заполнена паром, называется паровым пространством. От водяного объема котла зависит устойчивость его работы, т. к. вода в котле выполняет роль аккумулятора теплоты: запасает теплоту в период уменьшения нагрузки и отдает ее во время увеличения расхода пара. Поэтому в котлах с большим водяным объемом почти не изменяется давление даже при значительных колебаниях расхода пара.

Паровое пространство необходимо для сбора и осушки пара, образующегося в котле. Чем больше паровое пространство котла, тем благоприятнее условие для удаления влаги из пара – осушки. Наличие влаги в паре отрицательно влияет на работу большинства аппаратов, использующих пар. Для удаления влаги из пара в котле предусматривают сепарирующее устройство.

В процессе работы котла паровое и водяное пространства изменяются в зависимости от уровня воды в котле. Самый низкий уровень воды принимается из условия безопасной работы котла. Верхний уровень воды в котле не должен превышать уровня, при котором возможно резкое увеличение влажности образующегося пара или выброс котловой воды в паропровод. Расстояние между низшими и высшими уровнями воды (в зависимости от размеров котлов) в среднем составляет 50-100 мм.

Объем воды между указанными уровнями называется питательными, который в процессе работы котла заполняется попеременно водой и паром. На этих уровнях устанавливают водоуказательные стекла и пароводопробные краны, с помощью которых можно определить, находится ли уровень воды в котле в допустимых пределах.

Давление пара в котле контролируется манометрами, которые присоединяют с помощью сифонной изогнутой трубки к паровому пространству котла. Кроме того, на котле устанавливают предохранительный и обратный клапаны, вентили на питательном и паровом трубопроводах, а также на спускной линии, размещаемой в самой нижней части котла. Эта линия служит для продувки котла с целью удаления осевшей грязи (шлама) и выпуска воды при ремонте.

Паровой котел малой мощности имеет два барабана: верхний и нижний, которые соединены между собой пучком труб, образующих конвективную поверхность котла. В передней части котла размещается топка для сжигания топлива. Боковые стенки ее покрыты трубами – водяными экранами, образующими радиационную поверхность котла. Верхними концами экранной трубы завальцованны в верхнем барабане, а нижними – приварены к коллекторам.

В результате сжигания топлива в топке образуются дымовые газы высокой температуры. Эти газы проходят по газоходам котла, образуемым перегородками, омывают пучки труб, по которым движется (циркулирует) вода. В результате газы отдают воде часть своей теплоты и охлаждаются, а вода нагревается и превращается в пар, собираемый в верхнем барабане котла. Воздух для горения подается в топку снизу через поддувало (зольник), где частично собираются зола и мелкие кусочки топлива, провалившиеся через решетку.

*Каркас котла* – это несущая металлическая конструкция, воспринимающая вес котла с учетом временных и особых нагрузок и обеспечивающая требуемое взаимное расположение элементов котла. Конструкция каркаса зависит от мощности и компоновки котла.

Каркас котла (рис) представляет собой жесткую пространственную рамную конструкцию, состоящую из колонн, опорных и вспомогательных балок. Несущие колонны 2 – наиболее ответственная часть каркаса; они воспринимают основные нагрузки и передают их на фундамент 1. колонны изготовляют из швеллеров или двутавров, сваренных между собой с помощью специальных планок. Опорный башмак нижней части колонны состоит из опорной плиты, траверс и ребер.

Чтобы предохранить каркас от неравномерного нагрева, его выносят из зоны повышенных температур за обмуровку. Однако некоторые элементы каркаса, например опорные балки водяного экономайзера, не удастся вынести из зоны повышенных температур. В этом случае их изолируют или охлаждают воздухом, проходящем внутри элементов каркаса коробчатого сечения.

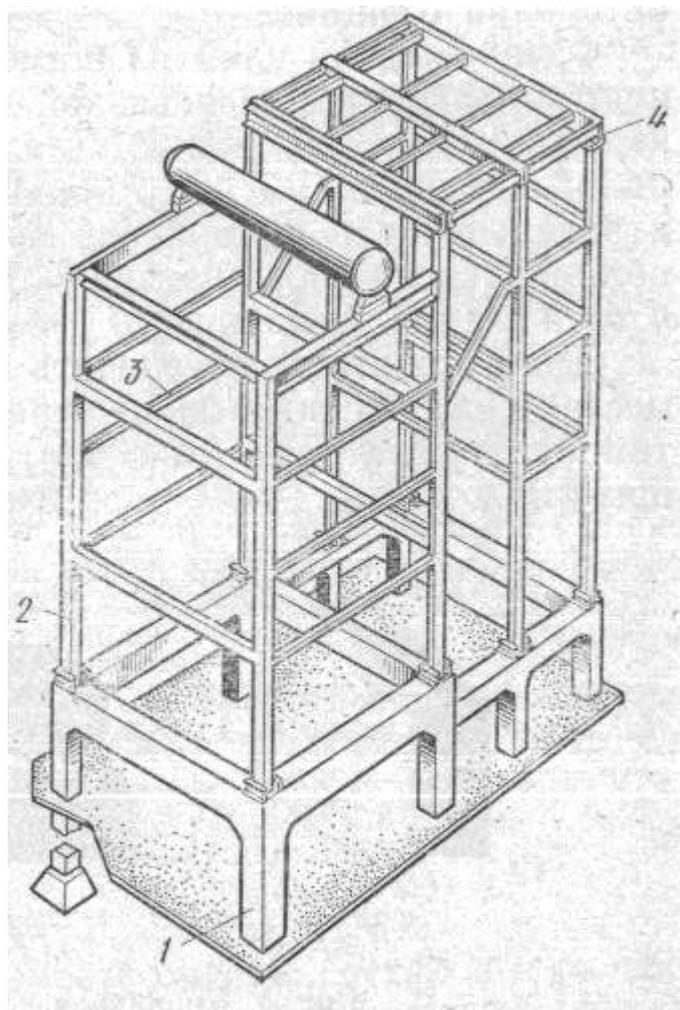


Рис Каркас котла типа БГ:

1-фундамент; 2-несущая колонна; 3- связи; 4-балка

*Обмуровка котла* – это система огнеупорных и теплоизоляционных ограждений или конструкций котла, предназначенных для уменьшения тепловых потерь и обеспечения газовой плотности.

Конструкция обмуровки зависит от условий, в которых она работает. Если стены топочной камеры закрыты трубами поверхностей нагрева – экранированы, то температура внутренней огневой стенки обмуровки будет значительно ниже, чем у незкранированных котлов, и разность температур между наружной и внутренней стенками обмуровки уменьшится, т.е. обмуровка будет работать в более благоприятных условиях. В этом случае ее можно выполнить более легкой и дешевой.

Для котлов малой и средней мощности применяют тяжелые и облегченные обмуровки. Масса  $1 \text{ м}^3$  тяжелой обмуровки составляет 1600-1900 кг, а облегченной 350-1300 кг.

Для создания жаростойкого слоя в котлах малой и средней мощности применяют сравнительно дешевые материалы: шамотный кирпич и шамотобетон. Для теплоизоляционного слоя используют диатомовый кирпич, диатомобетон, соевитовые и вермикулитовые плиты, изделия из шлако- и стекловаты, асбозурит и др. для облегченных обмуровок применяют плиты, панели и щиты из жаростойких и теплоизоляционных бетонов, набивных масс и обмазок.

К *гарнитуре котла* относятся устройства для обслуживания газоходов и топки котла: лазы, гляделки, затворы шлаковых и золовых бункеров, газовые и воздушные клапаны и заслонки, взрывные клапаны, а также обдувочные аппараты.

Лазы – предназначены для осмотра и ремонта поверхностей нагрева, могут быть прямоугольными размерами не менее 400×400 мм или круглыми диаметром не менее 450 мм. Дверцы лазов устанавливают на чугунной раме, которую закрепляют в обмуровку или на каркасе котла.

Гляделки – служат для визуального осмотра топки и газоходов с наружной стороны котла. По устройству они не отличаются от лазов, но имеют значительно меньшие размеры.

Затворы шлаковых и золовых бункеров – используют для периодического удаления золы и шлака из бункеров.

Газовые и воздушные клапаны и заслонки – применяют для отключения газоходов, а также регулирования тяги и дутья.

Взрывные клапаны выпускают дымовые газы при повышении давления в топке или газоходе котла, предохраняя их от разрушения.

Во время работы котла на его поверхностях нагрева могут откладываться шлак и зола, что ухудшает теплопередачу. Очищают поверхности нагрева от золы и шлака струей пара, воздуха или с помощью дробеочистительных установок.

Не смотря, на большие различия в устройстве во всех котлах по существу протекают два одинаковых основных процесса: горение топлива с образованием газов высокой температуры (продуктов сгорания) и передача теплоты от этих газов воде. В результате этого в паровых котлах вода нагревается и испаряется, превращаясь в пар. В водогрейных котлах, в отличие от паровых, вода лишь нагревается до требуемой температуры и испарения не происходит.

Работу паровых котлов характеризуют следующие показатели:

1. Паропроизводительность (мощность котла)  $D$  – количество вырабатываемого пара в кг или т в 1 с или в 1 ч;
2. Паронапряжение поверхности нагрева  $D/H_K$  – количество пара, кг, получаемого с одного  $m^2$  поверхности нагрева за 1 час. Эта величина является важной характеристикой, отражающей интенсивность паросъема в котле;
3. Параметры получаемого пара – давление и температура;
4. КПД котла – отношение количества теплоты, расходуемой на образование пара (полезная теплота), ко всей затраченной теплоте, вносимой в топку с топливом; следовательно, коэффициент характеризует степень использования теплоты сгорания топлива в котле.

Работа водогрейных котлов характеризуется теплопроизводительностью (мощностью)  $Q$  – количеством вырабатываемой теплоты в единицу времени Вт, а также тепловым напряжением поверхности нагрева котла  $Q/H_K$ , температурой нагрева воды и КПД. Тепловое напряжение поверхности нагрева (или удельная тепловая нагрузка), Вт/ $m^2$ , вырабатывает количество теплоты, передаваемое за 1 времени через 1  $m^2$  поверхности нагрева. КПД как парового, так и водогрейного котла выражаются в долях единиц или в процентах.

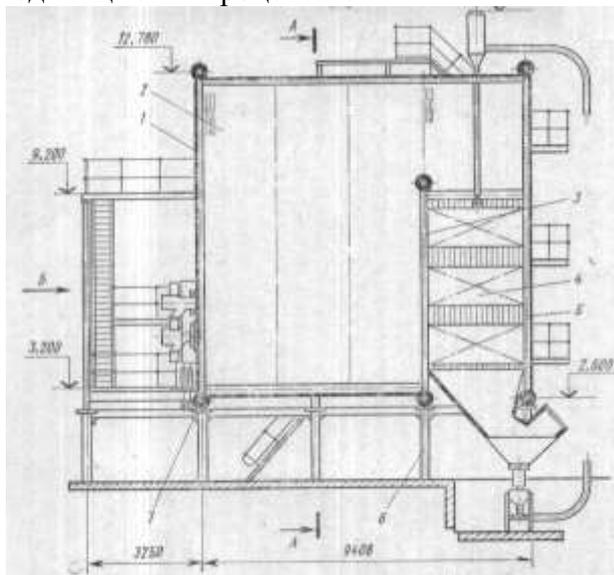


Рис. Котел KV-ГМ-100:

*1-передний экран; 2-боковой экран; 3- промежуточный экран;  
4-конвективные пакеты; 5-задний экран; 6-портал; 7-камера*

**Порядок выполнения работы:**

1. Изучить состав оборудования агрегата;
2. Представить функциональную схему котла;

**Форма представления результата:**

Предоставление функциональной схемы агрегата с описанием.

**Тема 1.2 Системы технологического контроля**

**Практическое занятие № 12**

Схема управления насосной станцией

**Формируемая компетенция:**

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

**Цель работы:**

**1 Изучить работу насосной станции**

**Выполнив работу, Вы будете:**

*уметь:*

- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

## **Материальное обеспечение:**

Методические указания по выполнению работы

### **Задание:**

- 1 Изучить работу насосной станции
- 2 Изучить параметры, контролируемые и регулируемые на насосной станции
- 3 Начертить функциональную схему управления насосной станции.

### **Краткие теоретические сведения:**

Под термином **насосная станция для обеспечения водоснабжения** понимается полный спектр всех рабочих элементов, которые обеспечивают подключение и подачу воды в любом необходимом месте. Это может быть как бытовая насосная станция, так и станция, которая будет обеспечивать водой большое предприятие или даже поселение.

К необходимым рабочим частям насосной станции относится такое оборудование, как множество насосов различного вида, которые имеют разный принцип действия, трубопроводное оснащение, и такое необходимое дополнительное оборудование, как трубопроводная арматура.

Принцип действия **насосной станции водоснабжения** не является очень сложным процессом. Вся работа основана на так называемом гидрофорном эффекте. Основным узлом станции является гидроаккумулятор, представляет собой сосуд герметичного типа, который разделен пополам специальной перегородкой, или мембраной. В одном отсеке гидроаккумулятора находится воздух, в другой поступает накачанная вода. При накачивании воды, мембрана вытягивается и таким образом сжимает воздух, после чего насос автоматически отключается и собранная вода выдается в водопроводную систему. После отвода воды, мембрана возвращается на исходное положение, и весь цикл работы повторяется раз за разом.

Как правило, все современные модели **насосных станций водоснабжения** являются автоматическим оборудованием и не требуют специального обслуживания. Автоматика таких агрегатов позволяет контролировать множество рабочих процессов станции, так она регулирует частоту оборотов двигателя, автоматически подключает и отключает работу насосов в зависимости от того, когда это необходимо, контролирует количество воды и начинает работу, когда оно становится минимальным. Автоматическая станция является наиболее удобной в работе, к тому ее срок эксплуатации является значительно более долгим и работа выполняется более качественно. Такие насосные станции издают меньше шума при работе и являются намного более удобными, чем станции старых образцов.

Итак, основными составными частями таких автоматических насосных станций являются:

1. Центробежный насос
2. Мембранный бак аквааккумулятор
3. Автоматическое реле давления
4. Манометр
5. Обратный клапан большого диаметра
6. Некоторое количество труб и гибких подводок
7. Реле сухого хода (по желанию)
8. Автоматика измерения уровня воды (поплавок или что-нибудь электронное или самодельное, тоже по желанию)

### **Центробежный насос**

Может быть большим и мощным или маленьким и маломощным. Оба типа насосов могут развивать давление от трех до пяти атмосфер.

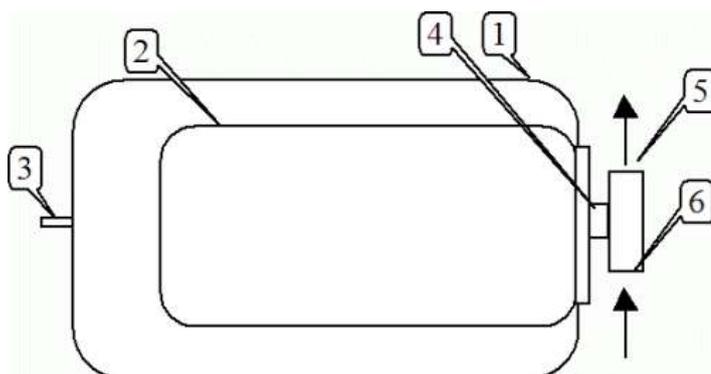
### **Мембранный (расширительный) бак.**

Мембранный бак состоит из металлического корпуса и колбы из пищевой резины. Колба, обычно, вставляется в бак с торца и крепится фланцем с впускным патрубком. На противоположной стороне металлического корпуса расположен автомобильный ниппель, через который накачивается воздух. Как видно из схемы, воздух накачивается, как раз, в пространство между

корпусом и колбой. Воздух находится под давлением. Когда в колбе нет воды, она сжата и сплющена давлением воздуха.

Первый этап: это этап создания давления в водопроводе. Включается насос и в колбу начинает поступать вода. При этом колба расправляется и начинает сжимать воздух. По мере накачки воды, сопротивление воздуха становится все больше и больше. В определенный момент давление воздуха на колбу с водой достигает нужной величины, и прекращается подача в колбу воды. Давление в водопроводе создано.

Второй этап: открывается водопроводный кран и воздух начинает выталкивать воду из колбы. Колба "сдувается". В процессе этого "сдутия", нужно опять включать насос для подачи в водопровод очередной порции воды. Нужно включить насос не тогда, когда колба станет пустой, ведь тогда давление воды станет ноль, а когда давление в водопроводе опустится до определенной величины.

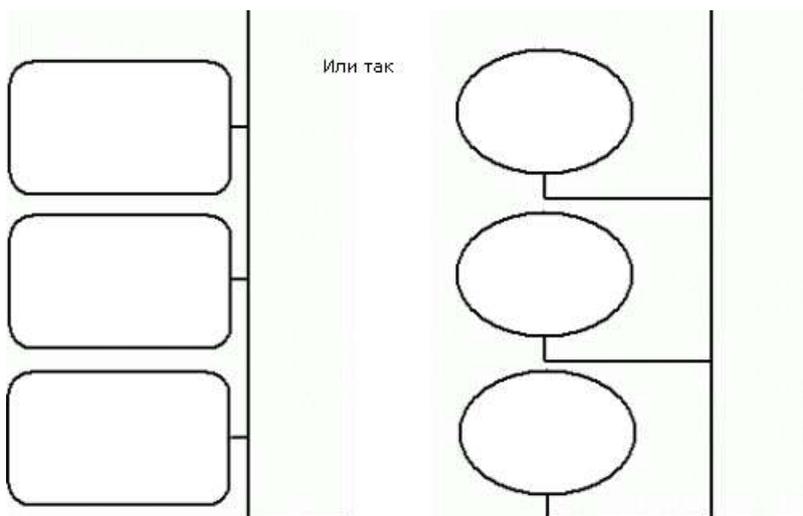


1. Корпус
2. Колба
3. Воздушный ниппель
4. Впускной патрубок
5. Выход воды, возможно к следующему баку
6. Вход воды из насоса или предыдущего бака

Эти баки бывают емкостью от 25 до 500 литров. Самый маленький, 25-ти литровый, служит, практически, только для предотвращения акваударов при включении насоса.

Мембранные баки можно соединять параллельно.

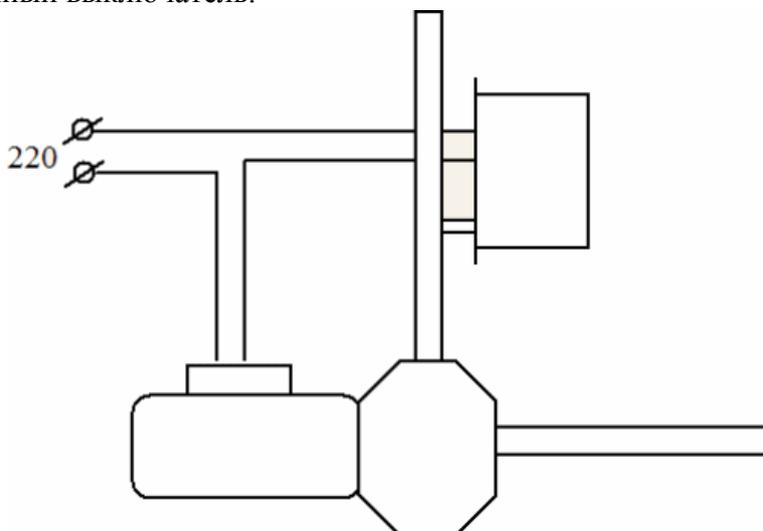
Такое подключение может выглядеть так:



Мембранные баки следует устанавливать в доступности. Их регулярно, примерно раз в год, следует подкачивать автомобильным насосом.

### Блок автоматики

Этот блок представляет собой маленькую коробочку со штуцером диаметром одна четверть дюйма, для подключения его к водопроводу. Все, что нужно сделать, это перевернуть этот блок автоматики к трубе, чтобы в него поступала вода. Затем открыть верхнюю пластмассовую крышку и присоединить провода. С электрической точки зрения этот блок ставится точно так же, как обычный выключатель.



**Порядок выполнения работы:**

1. Изучить состав оборудования агрегата;
2. Представить схему управления насосной станцией;

**Форма представления результата:**

Предоставление схемы управления агрегата с описанием.

**Тема 1.3 Использование элементов автоматики для конкретной системы управления**

**Лабораторная работа № 6**

Изучение логических элементов

**Формируемая компетенция:**

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

**Цель работы: изучение принципа действия логических элементов.**

**Выполнив работу, Вы будете:**

*уметь:*

- пользоваться измерительной техникой, различными приборами и типовыми элементами средств автоматизации;
- осуществлять рациональный выбор средств измерений;
- рассчитывать параметры типовых схем и устройств.

### Материальное обеспечение:

Учебный стенд «Основы автоматизации производства» ОАП1-С-Р

### Задание:

- 1 Изучить таблицы истинности логических элементов
- 2 Ответить на контрольные вопросы.

### Краткие теоретические сведения:

Логический элемент — это устройство, реализующее одну из логических операций. Логические элементы, используемые в системах автоматики, основаны на использовании самых различных физических явлений и свойств. Наиболее часто применяются электронные устройства, выполняемые как интегральные микросхемы. Любую логическую функцию можно выполнить с помощью логических операций И, ИЛИ, НЕ. Эти операции называют элементарными, а устройства для их реализации называются элементарными логическими элементами. На рис. показаны условные обозначения логических элементов НЕ (а), И (б), ИЛИ (в).



Все логические элементы обозначаются в виде прямоугольников с линиями, по которым подводятся входные и выходные сигналы. Обычно слева располагаются линии входных сигналов, а справа - выходных. В прямоугольнике изображается знак логической операции: & — И, 1 — ИЛИ. Если выход обозначен окружностью, то элемент производит логическое отрицание результата операции, указанной внутри прямоугольника. Логическое отрицание называют инверсией, а выход, обозначенный окружностью, называют инверсным выходом. Входные сигналы обозначены буквой X, а выходные — Y. Работу каждого элемента поясняет таблица, на которой показано соответствие выходных сигналов при любой возможной комбинации входных сигналов. Такая таблица называется таблицей истинности или таблицей переключений. Элементы И и ИЛИ имеют по два входа, но они выпускаются и с большим числом входов.

Таблица 27.1

НЕ	
X	Y
0	1
1	0

ИЛИ		
X1	X2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

И		
X1	X2	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Входные и выходные сигналы могут принимать одно из двух значений: «логическая 1» и «логический 0». При конкретной практической реализации эти сигналы представляются различными физическими величинами (например, электрическое напряжение или потенциал). Значение абсолютной величины сигнала при этом не требуется, достаточно различать более положительную и менее положительную величину. При этом сигнал может иметь и отрицательную полярность. На характеристике эти два значения обозначены латинскими буквами H (от английского high — высокий) и L (от английского low — низкий). Эти два значения называют логическими уровнями.

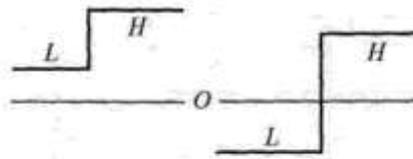


Рис. 27.5. Логические уровни сигналов

Один из этих уровней принимается за «1», другой — за «0» (в зависимости от договоренности, соглашения). Различают соглашение положительной логики (при котором логический уровень H принимают за «1», а логический уровень L — за «0») и соглашение отрицательной логики (при котором логический уровень H принимают за «0», а логический уровень L — за «1»). Обычно принимают единое соглашение для всей схемы или используют указатели полярности сигналов. Следует отметить, что логические элементы И и ИЛИ обладают свойством двойственности — один и тот же элемент в зависимости от принятого соглашения может выполнять функции либо элемента И, либо ИЛИ. Любая сложная логическая функция может быть выполнена с помощью элементарных логических операций И, ИЛИ, НЕ. Но есть возможность выполнить любую сложную логическую функцию и с помощью некоторого количества совершенно однотипных элементов, выполняющих только одну операцию. Например, есть серии микросхем, построенных на основе составной логической схемы И-НЕ, а есть серии, построенные на основе составной логической схемы ИЛИ-НЕ.

Использование единого базового элемента для всей серии позволяет использовать единую технологию для всей серии микросхем, увеличить объем выпуска и соответственно снизить стоимость каждого элемента.

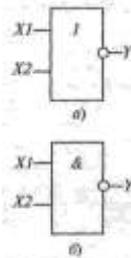


Рис. 27.6. Базовые логические элементы

Таблица 27.2

ИЛИ-НЕ		
X1	X2	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

И-НЕ		
X1	X2	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

По виду входных и выходных сигналов логические элементы делятся на потенциальные и импульсные. В потенциальных элементах сигналы «1» и «0» представляются двумя уровнями, а в импульсных — наличием или отсутствием импульсов (или импульсами разной полярности). Наибольшее распространение получили потенциальные элементы.

Полученную в результате логических операций информацию в виде двоичных кодовых слов необходимо запоминать и хранить. Для этой цели служат устройства памяти (триггеры и регистры).

### Порядок выполнения работы:

1. К резистору  $R_p$ , размещенному на лабораторном стенде, подключить постоянное напряжение 20В.
2. Снять характеристику одноконтурного потенциометрического датчика:
  - а) к выходу датчика подключить комбинированный прибор на пределе измерения 20В;
  - б) поворачивая рукоятку потенциометра  $R_p$ , через каждые 30 делений фиксировать по прибору выходное напряжение  $U_{\text{ВЫХ}}$ ;
  - в) результаты наблюдений занести в таблицу 5:
3. Снять характеристику двухконтурного потенциометрического датчика:
  - а) комбинированный прибор подключить между ползуном и средней точкой потенциометра;
  - б) изменяя положение ползуна потенциометра  $R_p$ , наблюдать за изменением величины и полярности выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$ ;
  - в) результаты наблюдений занести в таблицу 6:
4. Построить статическую характеристику одноконтурного и двухконтурного потенциометров  $U_{\text{ВЫХ}} = f(x)$ .
5. Определить чувствительность датчиков по формуле:

$$S_x = \frac{\Delta U_{\text{АУО}}}{\Delta \tilde{\sigma}},$$

где  $\Delta x = 30$ дел;  
 $x = 120$ дел.

6. Ответить на контрольные вопросы:
  - а) в чем особенность двухконтурной схемы включения потенциометрического датчика?
  - б) какие величины позволяют контролировать потенциометрические датчики?

#### **Форма представления результата:**

Оформление лабораторной работы в тетради.

### **Тема 1.3 Использование элементов автоматики для конкретной системы управления**

#### **Лабораторная работа № 7**

Изучение триггеров, мультиплексоров

#### **Формируемая компетенция:**

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

**Цель работы: изучение принципа действия триггеров и мультиплексоров.**

#### **Выполнив работу, Вы будете:**

*уметь:*

- пользоваться измерительной техникой, различными приборами и типовыми элементами средств автоматизации;
- осуществлять рациональный выбор средств измерений;
- рассчитывать параметры типовых схем и устройств.

### Материальное обеспечение:

Учебный стенд «Основы автоматизации производства» ОАП1-С-Р

### Задание:

- 1 Изучить принцип работы RS-триггера
- 2 Изучить принцип работы мультиплексора на 4 информационных входа.

### Краткие теоретические сведения:

Основным устройством, которое способно запомнить цифровую информацию, является триггер. Триггер — это устройство, которое имеет два устойчивых состояния, одно из которых принимается за «1», а другое — за «0».

В цифровых схемах для автоматики наибольшее распространение получили полупроводниковые триггеры, выпускаемые в виде интегральных микросхем. Такие триггеры, как правило, являются двухкаскадными усилителями постоянного тока с положительной обратной связью (выход усилителя соединен с его входом).

Схема простейшего статического триггера имеет следующий вид:

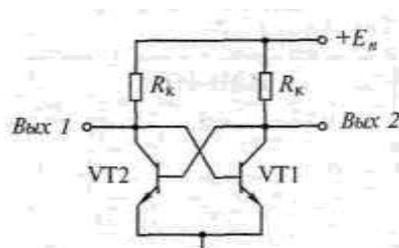


Рис. 27.7. Статический триггер

Из двух транзисторов один обязательно открыт, а другой закрыт.

Если закрыт VT1, то положительный потенциал с его коллектора подается на базу VT2, и наоборот. Соединение коллектора одного транзистора с базой другого и обеспечивает положительную обратную связь. Несмотря на полную симметрию схемы, такое ее состояние, когда оба транзистора открыты, является неустойчивым и практически невозможным. Даже незначительное случайное увеличение коллекторного тока одного транзистора приведет к уменьшению положительного потенциала на его коллекторе и соответственно на базе другого транзистора. Это приводит к уменьшению коллекторного тока другого транзистора, увеличению потенциала на его коллекторе и соответственно на базе первого транзистора. В итоге первый транзистор еще больше открывается, а второй — еще больше закрывается. Этот процесс протекает очень быстро, лавинообразно и заканчивается тогда, когда первый транзистор полностью откроется (режим насыщения), а второй транзистор полностью закроется, поскольку на его базу будет подан практически нулевой потенциал. Перевод триггера из одного устойчивого состояния в другое осуществляется подачей положительных или отрицательных импульсов на коллекторы одного или другого транзистора. При этом один из входов принимают устанавливающим триггер в состояние «1» и называют вход S (от английского set — установить), а другой, устанавливающий (сбрасывающий) триггер в состояние «0», называют входом R (от английского reset — сбросить). Такой триггер называют RS-триггером.

Условное обозначение RS-триггера следующее:

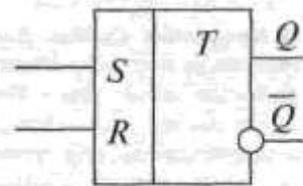


Рис. 27.8. Условное обозначение триггера

В сериях микросхем RS-триггеры обычно построены на двух базовых логических элементах, тех, на которых основана вся серия (ИЛИ-НЕ либо И-НЕ). Такие триггеры имеют следующий вид:

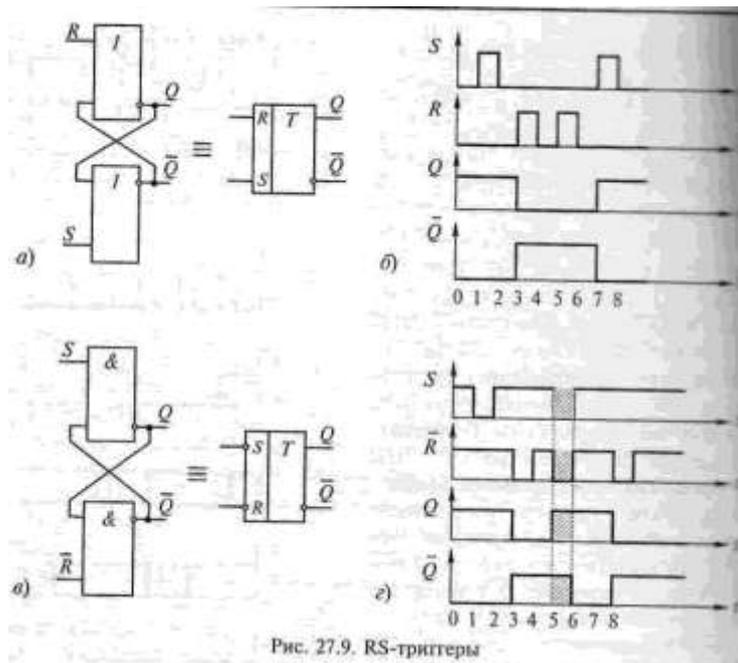


Рис. 27.9. RS-триггеры

При поступлении сигнала «1» на вход S триггер переключится в состояние «1», если он был в состоянии «0», или сохраняет «1» на выходе Q, если он уже находился в этом состоянии. Соответственно при поступлении «1» на вход R триггер переключится в «0» или сохранит это состояние. Исходное состояние триггера (сразу после включения и при отсутствии сигналов «1» на входах S и R) не определено, оно является случайной величиной. В отличие от схемы а в схеме в используется отрицательная логика, т. е. «1» имеет менее положительный потенциал, чем «0».

По способу записи информации различают асинхронные и синхронные триггеры. Состояние (выходной сигнал) асинхронного триггера может измениться в любой момент — тогда, когда придет входной сигнал. В синхронном триггере состояние может меняться только в определенные моменты времени — тогда, когда поступает дополнительный синхронизирующий сигнал. RS-триггер является асинхронным. На его базе может быть построен синхронный D-триггер:

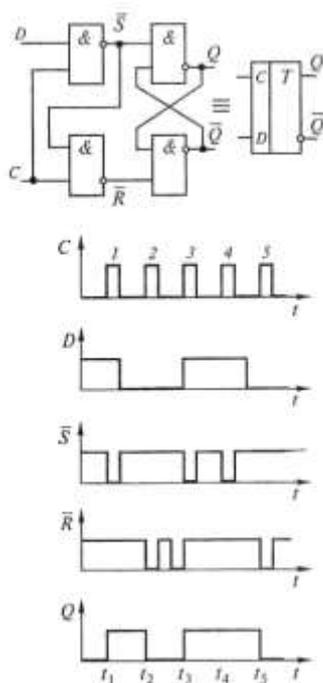


Рис. 27.10. Синхронный D-триггер

Сигналы, предназначенные для записи в триггер, поступают на информационный вход D. Сигналы, определяющие момент записи, поступают на вход C. Изменение состояния статического D-триггера возможно только в течение того времени, когда  $C = 1$ . Если же на вход C поступает сигнал «0», то изменение сигнала на выходе триггера не происходит, он сохраняет предыдущее состояние. На диаграмме видно, что по окончании первого синхроимпульса на информационный вход D поступал уже сигнал «0», а не «1». Однако состояние триггера, соответствующее этому сигналу, возникло только тогда, когда пришел второй синхроимпульс. Аналогичным образом состояние «1» на выходе Q сохранялось от третьего до пятого синхроимпульса, хотя сигнал «1» на входе D сменился сигналом «0» еще раньше, чем пришел синхроимпульс 5. Поскольку такой триггер задерживает выходной сигнал до прихода очередного синхроимпульса, он и получил свое название D-триггер (от английского delay — задержка).

В динамическом синхронном D-триггере информация записывается только в момент перепада напряжения на входе C, т. е. передним фронтом синхроимпульса.

### Мультиплексор

В системах автоматического управления мультиплексор используется для коммутации (подсоединения) выходных сигналов от нескольких источников (например, однотипных датчиков) к одному приемному устройству (например, показывающему прибору). Это подсоединение производится последовательно (в так называемых системах обегавшего контроля) или адресно — по выбору оператора.

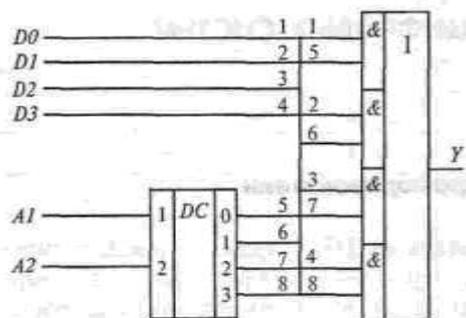


Рис. 27.14. Мультиплексор на 4 информационных входа

Данный мультиплексор позволяет подключать к выходу  $Y$  один из четырех информационных входов  $D_0, D_1, D_2, D_3$ . Выбор информационного входа осуществляется подачей на два адресных входа  $A_1$  и  $A_2$  соответствующего кода: 00, 01, 10, 11. Например, при подаче на информационные входы сигнала «10» (т. е. 2 в десятичной системе счисления) появится «1» на выходе 2 дешифратора  $DC$ . Эта «1» по входу 7 поступает на двухвходовый логический элемент «И», на другой вход которого поступает информационный сигнал по  $D_2$ . Значит, именно этот второй информационный вход будет подключен к выходу  $Y$  мультиплексора. С помощью мультиплексора может быть организована передача сигналов по одному и тому же каналу (выходу  $Y$ ) от нескольких источников информации. Но, естественно, это происходит не одновременно: при подаче на адресные входы  $A_1$  и  $A_2$  кода 00 передается информация от входа  $D_0$ , при подаче кода 01 — от входа  $D_1$  и т. д. Следовательно, можно сказать, что выход  $Y$  — это канал с временным (ударение на последнем слове) разделением каналов. Это особенно важно тогда, когда один и тот же физический канал связи используется для передачи большого количества разных сигналов.

#### Порядок выполнения работы:

1. Изучить RS - триггер.
2. Снять характеристику RS - триггер
3. Изучить мультиплексор

#### Форма представления результата:

Оформление лабораторной работы в тетради.

## Тема 1.3 Использование элементов автоматики для конкретной системы управления

### Лабораторная работа № 8

#### Изучение ЦАП

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

#### Цель работы: изучение принципа действия ЦАП.

#### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

- пользоваться измерительной техникой, различными приборами и типовыми элементами средств автоматизации;
- осуществлять рациональный выбор средств измерений;
- рассчитывать параметры типовых схем и устройств.

#### Материальное обеспечение:

Учебный стенд «Основы автоматизации производства» ОАП1-С-Р

#### Задание:

1 Изучить принцип работы ЦАП

#### Краткие теоретические сведения:

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) предназначен для автоматического преобразования (декодирования) входных величин, представленных числовыми кодами, в соответствующие им значения непрерывно изменяющихся во времени (т. е. аналоговых) величин. Иными словами ЦАП выполняет обратное по сравнению с АЦП преобразование. Выходные физические величины АЦП чаще всего представляют собой электрические напряжения и токи, но это могут быть и временные интервалы, и угловые перемещения, и т. п. В системе автоматики с ЭВМ или микропроцессором удобнее обрабатывать (преобразовывать или передавать) цифровой сигнал, но человеку (оператору) привычнее и удобнее воспринимать именно аналоговые сигналы, соответствующие значениям числовых кодов. Можно сказать, что с помощью АЦП информация вводится в ЭВМ, а с помощью ЦАП информация выводится из ЭВМ для воздействия на управляемый объект и восприятия человеком.

В схемах ЦАП обычно используется представление двоичного числа, состоящего из нескольких разрядов, в виде суммы степеней числа 2. Каждый разряд (если в нем записана единица) преобразуется в аналоговый сигнал, пропорциональный двойке в той степени, каков номер разряда, уменьшенный на единицу. Простая схема ЦАП, основу которой составляет матрица (набор) резисторов, которые подключаются ко входу операционного усилителя ключами, управляемыми соответствующими разрядами двоичного числа, имеет следующий вид:

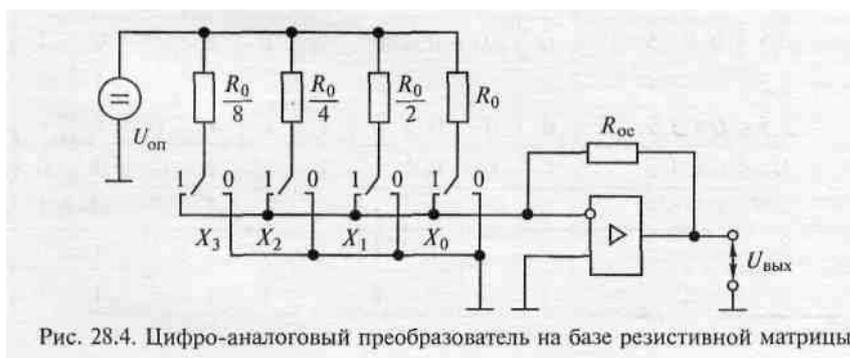


Рис. 28.4. Цифро-аналоговый преобразователь на базе резистивной матрицы

В качестве ключей могут быть использованы .

Если в данном разряде записана «1», то ключ замкнут, если «0» — разомкнут. Коэффициент передачи операционного усилителя равен отношению сопротивления резистора в цепи обратной связи  $R_{ос}$  к сопротивлению резистора на входе усилителя (а величина этого сопротивления, как видно из схемы, для каждого разряда различна). Коэффициенты передачи  $K = -(U_{вых}/U_{оп})$  по каждому разряду преобразуемого двоичного числа (если в этом разряде записана «1») соответственно равны  $K_0 = R_1/R_0$ ,  $K_1 = 2R_1/R_0$ ,  $K_2 = 4R_1/R_0$ ,  $K_3 = 8R_1/R_0$ . Выходное напряжение ЦАП определяется суммой:

$$U_{вых} = -U_{оп}(K_3 + K_2 + K_1 + K_0) = -U_{оп}(R_1/R_0)(8X_3 + 4X_2 + 2X_1 + X_0),$$

где  $X$  принимает значение 1 или 0 в зависимости от того, что записано в данном разряде двоичного числа.

Таким образом, четырехразрядное двоичное число преобразуется в напряжение  $U_{вых}$ , которое может принимать 16 возможных значений от 0 до  $15U_{кв}$ , где  $U_{кв}$  — шаг квантования. Для уменьшения погрешности квантования необходимо увеличивать число двоичных разрядов ЦАП. При изготовлении интегральных микросхем ЦАП по данной схеме очень трудно сделать высокоточные резисторы с сопротивлениями, отличающимися друг от друга в десятки и сотни раз. Кроме того, нагрузка источника  $U_{оп}$  изменяется в зависимости от состояния ключей, поэтому необходимо применять источник с малым внутренним сопротивлением.

Схема ЦАП без указанных недостатков следующая:



Рис. 28.5. Цифро-аналоговый преобразователь на базе резистивной матрицы  $R-2R$ .

В этой схеме весовые коэффициенты каждого разряда задаются последовательным делением опорного напряжения с помощью матрицы резисторов. Эта матрица представляет собой многозвенный делитель напряжения и называется резистивной матрицей типа  $R-2R$ . В данной схеме ЦАП используются двухпозиционные ключи, которые подсоединяют резисторы  $2R$  либо ко входу операционного усилителя (при «1» в данном разряде), либо к общему нулевому проводу. Входное сопротивление резистивной матрицы при этом не зависит от положения ключей. Коэффициент пе-

редачи между соседними узловыми точками матрицы составляет 0,5. Для схемы ЦАП выходное напряжение равно:

$$U_{\text{ВЫХ}} = -U_{\text{ОП}} (R/16R)(8X_4 + 4X_3 + 2X_2 + X_1).$$

Условное обозначение ЦАП:



Наибольшее влияние на погрешность ЦАП оказывают отклонения сопротивлений резисторов от их номинальных значений, а также то, что у реального ключа сопротивление в закрытом состоянии не равно бесконечности, а в открытом — не равно нулю.

**Порядок выполнения работы:**

1. Изучить ЦАП.
2. Снять характеристику ЦАП

**Форма представления результата:**

Оформление лабораторной работы в тетради.

## Тема 1.3 Использование элементов автоматики для конкретной системы управления

### Лабораторная работа № 9

Изучение дешифраторов, демультиплексоров

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

**Цель работы:** изучение принципа действия дешифратора и демультиплексоров.

#### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

- пользоваться измерительной техникой, различными приборами и типовыми элементами средств автоматизации;
- осуществлять рациональный выбор средств измерений;
- рассчитывать параметры типовых схем и устройств.

#### Материальное обеспечение:

Учебный стенд «Основы автоматизации производства» ОАП1-С-Р

#### Задание:

- 1 Изучить принцип работы дешифратора
- 2 Изучить принцип работы демультиплексора

#### Краткие теоретические сведения:

**Дешифратор** — комбинационная схема, преобразующее  $n$ -разрядный двоичный, троичный или  $k$ -ичный код в  $k^n$ -ичный одноединичный код, где  $k$  — основание системы счисления. Логический сигнал активен на том выходе, порядковый номер которого соответствует двоичному, троичному или  $k$ -ичному коду.

Дешифраторы являются устройствами, выполняющими двоичные, троичные или  $k$ -ичные логические функции (операции).

Двоичный **дешифратор** работает по следующему принципу. Пусть дешифратор имеет  $N$  входов, на которые подаётся двоичное слово  $x_{N-1}x_{N-2}\dots x_0$ , тогда на выходах формируется код, разрядности меньшей или равной  $2^N$ , где разряд, номер которого равен численному представлению входного слова, становится активным (принимает значение логической единицы, логического нуля или переводится в высокоимпедансное состояние - отключается, что зависит от конкретной реализации дешифратора), все остальные разряды неактивны. Очевидно, что максимально возможная разрядность выходного слова равна  $2^N$ . Такой дешифратор называется *полным*. Если часть входных наборов не используется, то число выходов меньше  $2^N$ , и дешифратор является *неполным*.

Функционирование одноединичного дешифратора где активные выходные сигналы принимают значение логической 1 описывается системой конъюнкций:

$$\begin{aligned}F_0 &= \bar{x}_{N-1}\bar{x}_{N-2}\dots\bar{x}_1\bar{x}_0 \\F_1 &= \bar{x}_{N-1}\bar{x}_{N-2}\dots\bar{x}_1x_0 \\F_2 &= \bar{x}_{N-1}\bar{x}_{N-2}\dots x_1\bar{x}_0 \\&\dots \\F_{2^N-2} &= x_{N-1}x_{N-2}\dots x_1\bar{x}_0 \\F_{2^N-1} &= x_{N-1}x_{N-2}\dots x_1x_0\end{aligned}$$

Часто дешифраторы дополняются входом разрешения работы  $E(Enable)$ . Если на этот вход поступает активный логический сигнал (единица или ноль), то один из выходов дешифратора переходит в активное состояние, иначе все выходы неактивны вне зависимости от состояния входов.

Функционирование одноединичного дешифратора с дополнительным входом  $E(Enable)$  описывается системой конъюнкций:

$$\begin{aligned} F_0 &= \bar{x}_{N-1}\bar{x}_{N-2}\dots\bar{x}_1\bar{x}_0E \\ F_1 &= \bar{x}_{N-1}\bar{x}_{N-2}\dots\bar{x}_1x_0E \\ F_2 &= \bar{x}_{N-1}\bar{x}_{N-2}\dots x_1\bar{x}_0E \\ &\dots \\ F_{2^{N-2}} &= x_{N-1}x_{N-2}\dots x_1\bar{x}_0E \\ F_{2^{N-1}} &= x_{N-1}x_{N-2}\dots x_1x_0E \end{aligned}$$

Обычно микросхемы дешифраторов выполняют с инверсными выходами, у такого дешифратора активный выбранный разряд принимает значение логического нуля.

Двоичное слово на входе дешифратора часто называют **адресом**.

### Демультимплексор

После получения информации по такому единственному каналу связи информацию необходимо разделить между соответствующими приемниками. Эту задачу решает демультимплексор. Выбор соответствующего информационного выхода осуществляется с помощью адресного входа. Схема демультимплексора имеет вид:

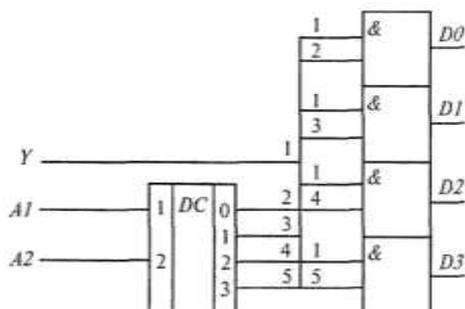


Рис. 27.15. Демультимплексор на четыре информационных выхода

Здесь так же, как и в схеме мультиплексора, используется дешифратор DC. При подаче на адресные входы A1 и A2 сигнала 10 на выходе 2 появится «1» и входной сигнал Y будет проходить на информационный выход D2.

### Порядок выполнения работы:

1. Изучить дешифратор.
2. Изучить принцип работы демультимплексора

### Форма представления результата:

Оформление лабораторной работы в тетради.

## Тема 1.3 Использование элементов автоматики для конкретной системы управления

### Лабораторная работа № 10 Изучение и измерения мультиметром

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

**Цель работы:** изучение принципа действия триггеров и мультиплексоров.

#### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

- пользоваться измерительной техникой, различными приборами и типовыми элементами средств автоматизации;
- осуществлять рациональный выбор средств измерений;
- рассчитывать параметры типовых схем и устройств.

#### Материальное обеспечение:

Учебный стенд «Основы автоматизации производства» ОАП1-С-Р

#### Задание:

1 Изучить принцип измерения мультиметром

#### Краткие теоретические сведения:

**Мультиметр** – незаменимая и просто необходимая вещь радиолюбителя, без него, как без рук, он позволяет измерить напряжение, ток, сопротивление и номиналы радиодеталей, узнать параметры транзисторов с диодами, помогает в прозвонке цепей и так далее. Существует много видов мультиметров, от самых дешевых и простых, до дорогих и универсальных. Отличаются они качеством, точностью измерений и, конечно же, функциями. Мультиметры бывают и поддельными, отличить подделку от оригинала не очень то просто, китайцы часто подделывают мультиметры известных фирм. Говорить о качестве, а тем более о точности и сроке службы таких приборов не стоит.

Для работы понадобится самый обычный мультиметр, цифровой или стрелочный, модели DT838В. Данные мультиметры широко распространены, модификаций у них много и продаются почти на каждом углу.



## Измерение напряжения

Очень часто, точнее сказать практически всегда приходится сталкиваться с измерением напряжений и тока в цепи. Как измерять напряжение, для этого переключаем переключатель в положение AC – если нужно измерить переменное напряжение:



или DC – если постоянное:



Постоянное напряжение идет после диодных мостов, переменное бывает на выводах трансформатора и в сети 220 вольт.

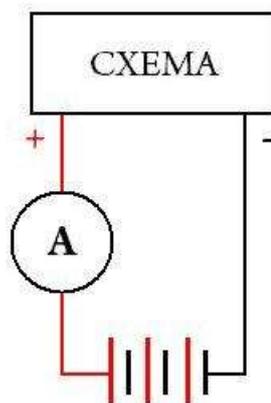
С пределами измерения тоже все просто, например, если нужно измерить постоянное напряжение, которое не выходит за пределы 20 вольт, стрелку переключателя ставите на "20", затем просто прикасаетесь щупами прибора к плюсу и минусу схемы, и на дисплее отобразится информация. Если заранее не знаете, какое напряжение может быть на участке цепи, стрелку переключателя ставьте на 200, и измеряйте. При измерении больших напряжений не касайтесь металлических частей и самого щупа прибора.

## Измерение тока

Измерение тока, а именно измерение больших токов, достаточно опасный процесс, с осторожностью стоит к этому относиться.

Для того, что бы измерить ток, нужно хорошо представлять, что это за параметр и какими свойствами обладает. Рассмотрим на примере вентилятора от видеокарты компьютера. Сначала нужно определить, в каких пределах будете измерять ток. Если не знаете, то нужно начинать с максимального предела.

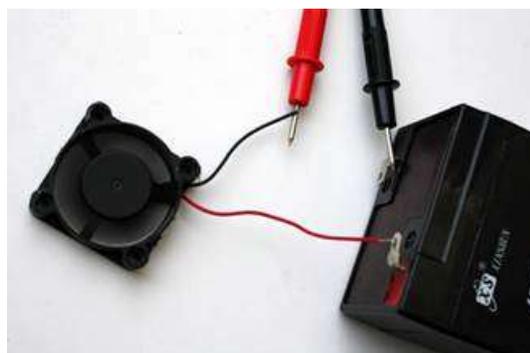
Для того, чтобы понять как измерить потребляемый ток этого вентилятора (да и в прочем любой другой схемы), взгляните на схему ниже:



Из этого рисунка должно быть понятно, что амперметр (мультиметр) подключается последовательно одной из цепи питания. Для того чтобы измерить ток, переключаете стрелку мультиметра в положение А (измерение тока), в некоторых мультиметрах просто пишут 10А. Потом, не забудьте перемоткнуть плюсовой разъем щупа на мультиметре в верхнее гнездо, так, как это показано ниже на фото. Щуп в данное гнездо вставляется только при измерении тока, во всех остальных случаях щупы нужно вставлять в два нижних гнезда. При измерении тока полярность подключения щупов значения не имеет.



Подключите один из щупов мультиметра к одному из проводов вентилятора, второй щуп мультиметра идет на питание, так же как и второй провод вентилятора, только при подключении соблюдайте полярность включения вентилятора, плюсовой вывод к плюсу, минус к минусу, должно получиться нечто похожее:



Потребляемый ток отобразится на дисплее мультиметра:



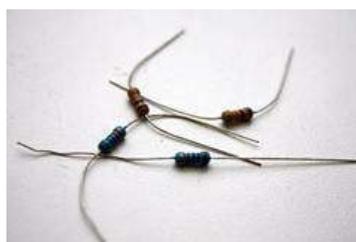
Большие токи не измеряйте дольше 5-10 секунд, после измерений не забудьте плюсовой щуп переключить обратно в среднее гнездо.

### Измерение сопротивлений

Данная функция бывает очень полезна для измерения сопротивлений резисторов с цветовой маркировкой. Ставим стрелку переключателя в нужное положение, в зависимости от того, что хотите измерить, Омы или килоомы. Килоомы обозначаются буквой К, а Омы – либо буквой R, либо никаких букв после цифр не пишут.



Рассмотрим примеры на резисторах с цветовой маркировкой.



**Резистор 10 кОм.**



## Резистор 200 кОм.



## Прозвонка радиодеталей

Некоторые мультиметры имеют функцию прозвонки цепей, на мультиметре это положение обычно обозначается значком диода с сигналом, или значок сигнала отдельно. Граница срабатывания сигнала составляет 50-70 Ом. Т.е. если сопротивление цепи меньше 50-70 Ом, прибор запищит. Удобно прозванивать не только цепи, но и радиодетали, например катушки на обрыв или КЗ, переключатели, термостаты и пр... Если есть контакт, то запищит динамик в мультиметре. Что касается дросселей и первичных/вторичных обмоток трансформаторов, сигнализатором они как правило прозваниваются редко, лучше всего, обмотки проверять омметром (ставите стрелку переключателя на измерение сопротивлений, в положение 200, а лучше 2000 Ом), если сопротивление подозрительно маленькое, возможно имеет место межвитковое замыкание, трансформатор в лучшем случае будет греться и выдавать меньшее напряжение. Ниже пример, измерил сопротивление первичной и вторичной обмотки 20 ваттного трансформатора, вторичка на 2х6 вольт.

Вторичная обмотка: 1,5 Ом.

Первичная: 101,5 Ом.



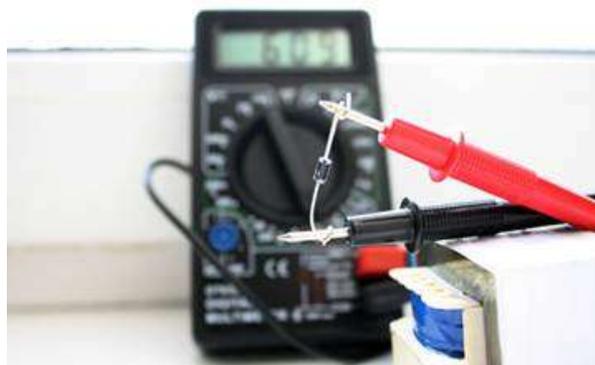
Удобно прозванивать разные выключатели, кнопки, проверять на замыкание они или на размыкание, какие выводы с какими связаны и так далее.

Прозвонка термостата, после прозвонки выяснилось, что он на размыкание:



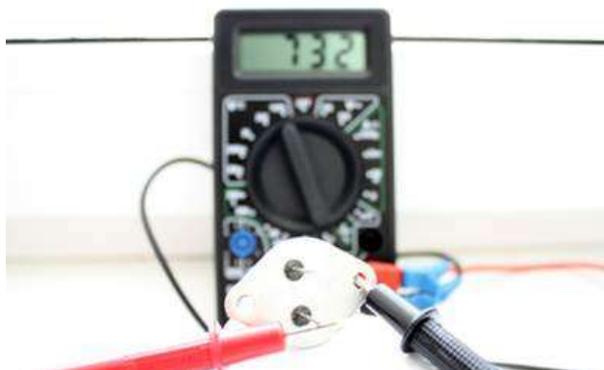
Переключатель прибора можно поставить как на измерение сопротивлений, так и на "пищалку".

Так-же, очень удобно прозванивать диоды, узнать где у него анод, а где катод:



Если диод подключен не правильно, то на дисплее будут нули.

Можно прозвонить транзисторы и убедиться что он возможно рабочий:



Прозванивать нужно базу с коллектором, и базу с эмиттером.

У транзисторов можно проверить коэффициент усиления, для этого их вставляем в специальный штыревой разъем, при этом не спутайте структуру и цоколевку транзистора. Стрелку переключателя ставим в положение hFE. В этом режиме проверяем способность транзистора усиливать входной сигнал. Два отдельно взятых и при этом полностью одинаковых транзистора могут иметь разное значение этого коэффициента.



Как уже говорилось, разные мультиметры имеют разные функции, дорогие имеют больше функций. Некоторые подобные мультиметры имеют функцию измерения температуры, к ним прилагается дополнительный шнур с термопарой, данная функция полезна чтобы узнать температуру нагрева радиаторов, радиодеталей и т.п.

Мультиметры как правило очень надежны, и спалить их достаточно трудно, но можно. Например если прикоснуться щупами к источнику напряжения в несколько киловольт, микропроцессор мультиметра после этого выйдет из строя, будет сильно греться, и на дисплее будут отображаться непонятные символы.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Изучить принцип измерения мультиметром.
2. Измерить параметры цепи с помощью мультиметра

#### **Форма представления результата:**

Оформление лабораторной работы в тетради.

## Тема 1.3 Использование элементов автоматики для конкретной системы управления

### Практическое занятие № 13

#### Расчет принципиальной схемы каскада усилителя

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

#### Цель работы:

**1 Научиться находить параметры однокаскадных усилительных элементов по исходным данным**

#### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

- рассчитывать параметры типовых схем и устройств
- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### Материальное обеспечение:

Методические указания по выполнению работы

#### Задание:

- 1 Изучить схему повторителя напряжения
- 2 Рассчитать повторитель напряжения.

#### Краткие теоретические сведения:

Усилитель – это устройство, в котором происходит количественное преобразование входного сигнала.

В автоматике выходной сигнал датчика используется для приведения в действие исполнительного механизма автоматической системы. Однако, очень часто мощность выходного сигнала датчика недостаточна, и ее поэтому необходимо усиливать. Эффект усиления по мощности осуществляется в усилителях за счет энергии вспомогательного источника.

Электронным усилителем называют устройство, в котором входной сигнал напряжения или тока используется для управления током (а, следовательно, мощностью), поступающим от источника питания в нагрузку. Обобщенная схема включения усилителя приведена на рис:



Источниками сигналов могут быть различные преобразователи неэлектрических величин в электрические: микрофоны, пьезоэлементы, считывающие магнитные головки, термоэлектрические датчики и др. Частота и форма напряжения или тока этих источников может быть любой, например, импульсной, гармонической и др.

Нагрузкой усилителей могут быть различные устройства, преобразующие электрическую энергию в неэлектрическую, например, громкоговорители, индикаторные устройства, освети-

тельные и нагревательные приборы и др. Характер нагрузки может существенным образом влиять на работу усилителя.

### Классификация усилителей

В зависимости от вида вспомогательного источника энергии усилители можно разбить на следующие группы: электрические, гидравлические, пневматические и комбинированные.

Усилители можно разделить также по многим признакам: виду используемых усилительных элементов, количеству усилительных каскадов, частотному диапазону усиливаемых сигналов, выходному сигналу, способам соединения усилителя с нагрузкой и др. По типу используемых элементов усилители делятся на ламповые, транзисторные и диодные. По количеству каскадов усилители могут быть однокаскадными, двухкаскадными и многокаскадными. По диапазону частот усилители принято делить на низкочастотные, высокочастотные, полосовые, постоянного тока (или напряжения). Связь усилителя с нагрузкой может быть выполнена непосредственно (гальваническая связь), через разделительный конденсатор (емкостная связь) и через трансформатор (трансформаторная связь).

### Основные характеристики усилителей

Все характеристики можно разделить на три группы: входные, выходные и передаточные. К входным характеристикам относятся: допустимые значения входного напряжения или тока, входное сопротивление и входная емкость. Обычно эти характеристики определяются параметрами источника входного сигнала.

Основной передаточной характеристикой усилителя является его коэффициент усиления, который показывает (для электрических), во сколько раз мощность, ток или напряжение на выходе усилителя больше мощности, тока или напряжения на его входе. Различают коэффициенты усиления по напряжению, току и мощности, которые соответственно равны:

$$k_P = \frac{P_{ВЫХ}}{P_{ВХ}};$$

$$k_I = \frac{I_{ВЫХ}}{I_{ВХ}};$$

$$k_U = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}}.$$

Коэффициент усиления в общем случае является комплексной величиной, т.е. зависит от частоты входного сигнала и характеризуется не только изменением амплитуды выходного сигнала с изменением частоты, но и его задержкой во времени, т.е. изменением его фазы. Частотные характеристики усилителя описывают его динамические свойства в частотной области. Для описания динамических свойств усилителям во временной области пользуются его переходной характеристикой. Переходная характеристика усилителя является его реакцией на скачкообразное изменение входного сигнала.

Для количественной оценки динамических свойств усилителя в частотной области используются такие параметры, как полоса пропускания частот  $\Delta f$ , граничные значения частот — верхней  $f_B$  и нижней  $f_H$ . Аналогично во временной области используют параметры переходной характеристики: время ее нарастания  $\tau_{НАР}$  и спада  $\tau_{СП}$ . Если переходная характеристика имеет выбросы, то их значение также нормируется.

Помимо коэффициентов усиления усилитель имеет следующие параметры:

- 1) мощность, потребляемая от вспомогательного источника энергии;
- 2) выходная мощность;
- 3) КПД;

- 4) быстродействие (значение постоянной времени или времени инерционности);
- 5) входное и выходное сопротивления усилителя (только для электрических);
- 6) собственные шумы усилителя (появление выходной величины при входной величине, равной 0).

При прохождении сигнала через усилитель его форма подвергается изменению. Эти изменения формы обычно называют искажением сигнала. Искажения сигнала называют линейными, если при передаче его через усилитель спектральный состав не изменяется. Это означает, что если гармонический сигнал подать на вход усилителя, то на выходе усилителя сигнал также будет гармоническим и с той же частотой. Основной причиной линейных искажений является зависимость комплексного коэффициента усиления от частоты входного сигнала.

Обобщенная схема усилителя имеет следующий вид:



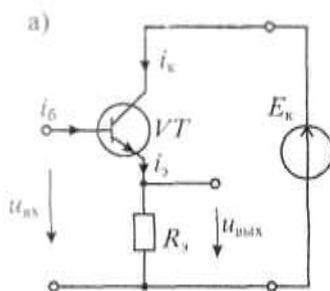
Она содержит входную цепь, которая обеспечивает режим работы усилительного элемента и ввод входного сигнала; управляемый источник напряжения или тока на одном из видов усилительных элементов; выходную цепь, которая обеспечивает передачу сигнала к нагрузке, и цепь обратной связи, которая определяет усилительные свойства усилителя. В реальных схемах некоторые из этих узлов могут отсутствовать. В качестве примера на приведем усилитель на биполярном транзисторе в качестве управляемого источника тока.



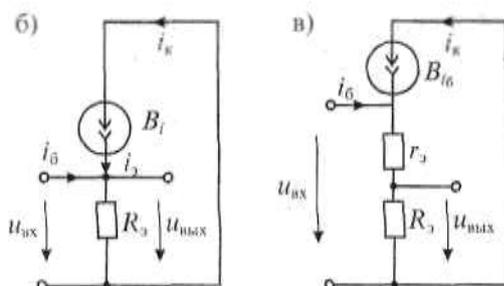
### Однокаскадные усилители

Из однокаскадных усилителей наибольшее распространение получили повторители напряжения, повторители тока и усилители напряжения. Поскольку в различных источниках эти усилители называют по-разному, в дальнейшем будут приведены их дублирующие названия.

Повторителем напряжения называют усилитель с коэффициентом усиления по напряжению  $K=1$ . Очевидно, что такие усилители не обеспечивают усиления по напряжению, однако они имеют достаточно высокий коэффициент усиления по току и, следовательно, по мощности. Повторители напряжения могут быть выполнены на транзисторах различных типов, электронных лампах и на операционных усилителях. Простейший повторитель напряжения называется эмиттерным повторителем и имеет следующий вид:



Выходной сигнал в этой схеме снимается с эмиттера транзистора VT, что и определило приведенное название. Схема замещения эмиттерного повторителя для малого сигнала имеет следующий вид:



На этой схеме транзистор VT заменен идеальной моделью источника тока, управляемого током базы  $i_B$ . Из схемы замещения видно, что  $U_{ВХ} = U_{ВЫХ}$ , т. е.  $K=1$ .

Коэффициент передачи эмиттерного повторителя по току можно найти, если учесть, что коллекторный ток  $i_K = \beta i_B$ , тогда для схемы получим

$$i_э = i_K + i_B = \beta i_B + i_B = i_B (\beta + 1),$$

откуда следует, что

$$K_i = i_э / i_B = \beta + 1,$$

где  $\beta$  — коэффициент передачи транзистора по току в схеме с общим эмиттером.

Входное сопротивление эмиттерного повторителя можно найти, полагая, что  $r_{BK} = U_{ВХ} / i_B$ . Учитывая, что  $i_B = i_э / (\beta + 1)$ , найдем

$$r_{ВХ} = U_{ВХ} (\beta + 1) / i_э = R_э (\beta + 1).$$

Реальная схема эмиттерного повторителя имеет коэффициент передачи по напряжению меньше единицы, так как часть входного напряжения падает на собственном сопротивлении эмиттера  $r_э$ . Упрощенная схема замещения эмиттерного повторителя с учетом внутреннего сопротивления эмиттера приведена на рис. Выходное напряжение для схемы можно записать как  $U_{ВЫХ} = U_{ВХ} R_э / (R_э + r_э)$ , откуда следует, что

$$K_{II} = \frac{R_э}{R_э + r_э} < 1.$$

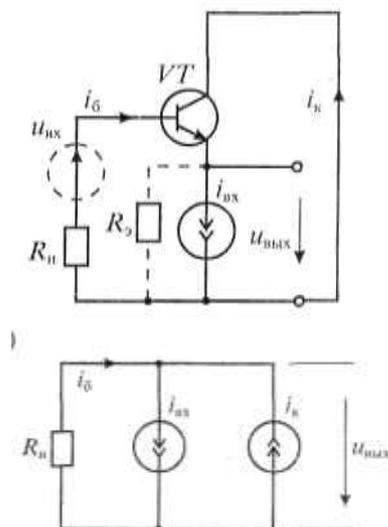
Внутреннее сопротивление эмиттера можно определить по формуле:

$$r_э = \varphi_T / i_э,$$

где  $\varphi_T$  — тепловой потенциал, который при температуре  $25^\circ\text{C}$  равен  $25 \text{ мВ}$ ;

$i_E$  — ток эмиттера.

Для расчета выходного сопротивления эмиттерного повторителя нужно в схеме поменять вход и выход местами. Для этого нужно исключить источник входного напряжения, оставив его внутреннее сопротивление  $R_{И}$ , а в эмиттерную цепь включить источник тока  $i_{ВХ}$ .



Расчет схемы замещения приводит к уравнениям

$$i_{ВХ} = i_К + i_Б = (B+1)i_Б,$$

где  $i_К = Bi_Б$ , откуда находим

$$i_{ВХ} = (B+1)i_Б.$$

Выходное сопротивление эмиттерного повторителя найдем по формуле:

$$R_{ВЫХ} = U_{ВЫХ} / i_{ВХ},$$

где  $U_{ВЫХ} = i_Б R_{И} = \frac{i_{ВХ} R_{И}}{(B+1)},$

откуда находим

$$R_{ВЫХ} = \frac{R_{И}}{(B+1)}.$$

#### Порядок выполнения работы:

1. Перечертить схему эмиттерного повторителя (рисунок 3):

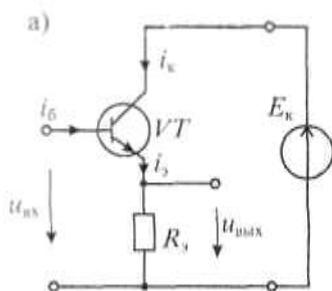


Рисунок 3 – Эмиттерный повторитель

2. Начертить схему замещения эмиттерного повторителя (рисунок 4):

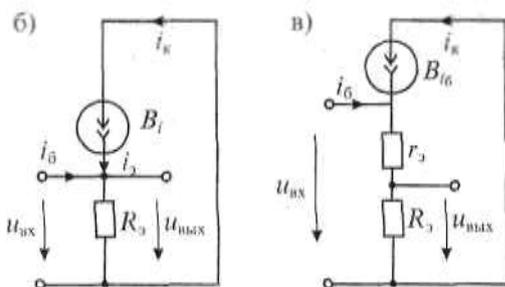


Рисунок 4 – Схема замещения эмиттерного повторителя

3. По исходным данным определить неизвестные параметры повторителя по вариантам из таблицы 7:

Таблица 7

№ варианта	Дано	Найти
1	$B = 100, R_{Э} = 125 \text{ Ом}, i_{Э} = 1 \text{ А}, U_{ВХ} = 200 \text{ В}, t = 50^{\circ}\text{C}$	$i_{К}, i_{Б}, K_i, U_{ВЫХ}, r_{ВХ}$
2	$K_i = 155, R_{Э} = 100 \text{ Ом}, i_{Б} = 0,5 \text{ А}, U_{ВЫХ} = 220 \text{ В}, t = 25^{\circ}\text{C}$	$i_{К}, i_{Э}, B, U_{ВХ}, r_{ВХ}$
3	$i_{Э} = 5 \text{ А}, R_{Э} = 200 \text{ Ом}, i_{Б} = 0,05 \text{ А}, t = 30^{\circ}\text{C}$	$i_{К}, K_i, B, U_{ВЫХ}, U_{ВХ}, r_{ВХ}$
4	$i_{К} = 1 \text{ А}, R_{Э} = 150 \text{ Ом}, i_{Б} = 0,9 \text{ А}, t = 35^{\circ}\text{C}$	$i_{Э}, K_i, B, U_{ВЫХ}, U_{ВХ}, r_{ВХ}$
5	$B = 200, R_{Э} = 175 \text{ Ом}, i_{Б} = 1 \text{ мА}, U_{ВЫХ} = 250 \text{ В}, t = 45^{\circ}\text{C}$	$i_{К}, i_{Э}, K_i, U_{ВХ}, r_{ВХ}$
6	$K_i = 99, R_{Э} = 100 \text{ Ом}, i_{К} = 0,1 \text{ А}, U_{ВХ} = 120 \text{ В}, t = 15^{\circ}\text{C}$	$i_{Б}, i_{Э}, B, U_{ВЫХ}, r_{ВХ}$

4. Перечертить схему эмиттерного повторителя для расчета выходного сопротивления.

5. Начертить схему замещения данного повторителя (рисунок 5):

6. По данной схеме определить выходное сопротивление  $r_{ВЫХ}$ , внутреннее сопротивление  $R_{И}$  брать для каждого варианта из таблицы 8.

Таблица 8

№ варианта	Значение внутреннего сопротивления $R_{И}$
1	800 Ом
2	1800 Ом
3	1000 Ом

4	500М
5	1500М
6	250М

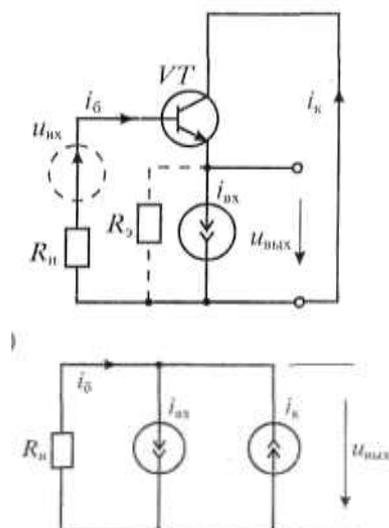


Рисунок 5 – Схема замещения эмиттерного повторителя для расчета выходного сопротивления

**Форма представления результата:**

Выполнение индивидуального расчетного задания в раздаточном материале.

## Тема 1.4 Применение программируемых микропроцессорных контроллеров

### Практическое занятие № 14

Создание конфигурации аппаратного обеспечения контроллера S7 400

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

#### Цель работы:

**1 Изучить порядок действий при создании нового проекта системы управления с использованием утилит пакета**

#### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

- пользоваться измерительной техникой, различными приборами и типовыми элементами средств автоматизации;
- ориентироваться в программно-техническом обеспечении микропроцессорных систем; применять средства разработки и отладки специализированного программного обеспечения для управления объектами автоматизации
- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### Материальное обеспечение:

Методические указания по выполнению работы, Simatic Manager

#### Задание:

- 1 Создать проект с использованием Simatic Manager
- 2 Оформить отчет

#### Краткие теоретические сведения:

##### Создание проекта с использованием Simatic Manager

#### 1. Последовательность операций создания нового проекта

Создание нового проекта с использованием пакета утилит Simatic Manager предполагает следующую последовательность шагов:

1. Запустить **Simatic Manager**.
2. Используя утилиту создания нового проекта создать проект: выбрать тип используемого CPU, тип организационного блока и язык программирования, и задать имя проекта.
3. Открыть созданный проект, выбрать в структуре проекта аппаратную часть, открыть утилиту конфигурирования и сконфигурировать аппаратную часть станции.
4. Открыть таблицу символов и задать символические имена.
5. Выбрать или создать программный блок, открыть утилиту редактора языка **STEP 7**, произвести требуемое программирование.
6. Загрузить проект в контроллер и при необходимости протестировать его работу в режиме мониторинга. Данная последовательность шагов по созданию рабочего проекта не является жестко фиксированной. Может быть изменена последовательность проведения некоторых шагов, а при необходимости добавлены и другие дополнительные шаги.

При выполнении лабораторной работы будем придерживаться данной последовательности с обязательным выполнением каждого шага.

#### 2. Порядок создания проекта

##### 2.1. Запуск Simatic Manager и создание нового проекта

Запуск **Simatic Manager** осуществляется из главного меню или с помощью ярлыка расположенного на рабочем столе. Для создания нового проекта в пункте меню **<File>** выберите команду **<'New Project' Wizard...>**, которая запускает мастер создания нового проекта. Создание проекта с помощью мастера состоит из четырех шагов.

На первом шаге предполагается рассмотреть структуру будущего проекта (команда **“Preview>>”**). На втором шаге выбирается тип процессора, установленного в слот контроллера. На третьем шаге выбирается вид представления логической программы: выбирается **LAD**. На четвертом шаге вводится имя проекта. В качестве имени вводится номер группы и номер варианта (например **“AM02-15”**).

После нажатия на кнопку **«Finish»** создается проект и происходит его запись на диск.

## 2.2 Конфигурирование аппаратной части

Для открытия утилиты конфигурирования аппаратной части необходимо в структуре проекта выбрать элемент **“Hardware”** и открыть его. После этого происходит запуск утилиты конфигурирования **HW Config**. Вид окна утилиты показан на рис. 4.

Окно разделено на три части. В верхней части показаны стойки станции. Так как стойка одна и она центральная, то в верхней части изображено только одно окно стойки, которое содержит выбранный процессор.

В нижней части окна показан состав выбранной стойки, тип и позиция модулей. Кроме того, указан номер модуля (**“Order number”**), версия (**“Firmware”**), адреса модуля в стойке.

Сбоку (слева или справа) расположено окно каталога, в котором в иерархическом виде по типам расположены модули семейства **Simatic**.

Для конфигурирования стойки необходимо выбрать нужный модуль из каталога, сверить его номер из каталога с номером указанным на самом модуле (в нижней части каталога) и используя процедуру «перетаскивания» с помощью указателя мыши расположить его в требуемом слоте.

При конфигурировании аппаратуры появляются подсказки: зеленым цветом обозначаются слоты, в которые выбранный модуль может быть установлен. Если в выбранный слот установить модуль нельзя, то появляется сообщение об ошибке.

После полного конфигурирования аппаратной части требуется провести проверку на непротиворечивость, путем вызова команды **Station → Consistency Check**. Если ошибок нет, требуется сохранить проект и подготовить данные по конфигурированию аппаратной части контроллера к загрузке (**Station → Save and Compile**).

Проверить, что данные конфигурации проекта готовы к загрузке можно путем просмотра ветви проекта **“Blocks”**. В этом разделе после компиляции командой **«Save and Compile»** появляется элемент **“System Data”**.

После создание конфигурации необходимо произвести загрузку конфигурационной таблицы в контроллер командой **«Download»**. Контроллер перед этим должен быть обнулен. Процесс обнуления контроллера производится посредством выполнения следующей последовательности действий с переключателем режимов процессора:

- из режима **STOP** перевести процессор в режим **MRES** и удерживать переключатель режима в этом положении в течении такого времени пока светодиод **STOP** на лицевой панели процессора не мигнет два раза;
- перевести переключатель режима в режим **STOP** и сразу (без задержки) перевести переключатель в режим **MRES**;
- если действия были выполнены правильно, то светодиод **STOP** начнет мигать с частотой 2 Гц, а светодиод **EXTD** замигает (в некоторых типах процессоров мигнет один раз);
- если этого не произошло, то действия по сбросу повторяются заново.

## 2.3 Заполнение таблицы символов

Для установки символьных обозначений реальным адресам процессора используется таблица символов. Установка символических имен может производиться непосредственно из утили-

ты конфигурирования или путем запуска утилиты редактирования символических имен, элемент которой находится в ветви **S7 Program**.

Для заполнения символьной таблицы в сконфигурированном проекте для каждого модуля вызывается команда редактирования символических имен **“Edit-Symbols...”**

Окно представляет собой таблицу, в которой для каждого адреса указывается символьное имя и тип. Для логических типов указывается **“BOOL”**.

После сохранения проекта, можно провести проверку путем вызова редактора символических имен из ветви проекта **S7 PROGRAM**. Также для более полного предоставления информации в поле **“Comment”** можно указать комментарий к символьному имени или адресу.

#### **2.4 Редактирование программой части проекта**

Основная циклическая программа располагается в организационном блоке **OB1**, расположенном в ветви **Blocks**. Открытие этого блока приведет к запуску утилиты редактора программы.

Общее окно программы разбито на четыре части. Центральная часть содержит графические элементы самой программы управления (**Network**).

Верхняя часть – заголовок блока. В нем указываются временные и локальные переменные блока. Нижняя часть окна предназначена для вывода ошибок и предупреждений. Слева (в некоторых случаях справа) располагается каталог графических элементов языка, разделенных по категориям. Установка элемента языка в **Network** происходит «перетаскиванием» из каталога с помощью указателя мыши. В качестве дополнительной информации в программе можно указать комментарии к каждому блоку и по всей программе в целом. После установки всех элементов программы необходимо сохранить блок **OB1**.

#### **2.5 Загрузка и отладка проекта**

Загрузка проекта в контроллер осуществляется командой **«Download»**, расположенной в пункте меню **PLC**. Загрузка должна производиться только тогда, когда процессор находится в режиме **STOP**.

После окончания загрузки, для запуска программы необходимо перевести процессор в состояние **RUN**.

Для визуального просмотра хода выполнения операций в редакторе программ можно включить режим **“Monitor”** из пункта меню **“Debug”**. В этом случае производится оперативный обмен данными между **Simatic Manager** и областью рабочей памяти контроллера. Наличие логической **“1”** на релейном элементе и протекание тока обозначается в редакторе сплошной линией, логический **“0”** или отсутствие тока обозначается штриховой линией.

Состояние входных сигналов **Vx1=“1”**, **Vx2=“0”**, **Vx3=“1”**. Выходной сигнал схемы **Вых1=“0”**.

Вторым средством контроля переменных программы является таблица переменных - **VAT**. Вызов таблицы из редактора программ осуществляется командой **Monitor/Modify Variables** из меню утилиты – **PLC**. В Таблице переменных, в столбец **Address** или **Symbol** заносят адрес или символическое имя переменной, состояние которой необходимо контролировать, после чего включают режим мониторинга (команда **Variable → monitor**). В полях столбца **Status value** указывается текущие состояние переменной **False – лог “0”**, **True – лог “1”**.

Другим вариантом отладки программы, в случае если контроллер отсутствует, является использование специальной программы эмуляции процессора – **PLCSIM**. Запуск **PLCSIM** осуществляется командой **Options / Simulate Modules** из основного меню **Simatic Manager**.

Окна, через которые осуществляется ввод данных и контроль выходных сигналов являются настраиваемыми. Для этого необходимо указать тип памяти, переменные которой необходимо контролировать и адрес ячейки. Для изменения адреса элемента памяти необходимо заменить число, соответствующее старому адресу на новый.

Тип контролируемой памяти и открытие дополнительных окон контроля осуществляется через меню программы **PLCSIM (Insert)** или с помощью панели инструментов эмулятора. Режимы работы **CPU** переключаются в отдельном окне эмулятора. Для удобства можно настроить окно эмулятора **PLCSIM** таким образом, чтобы в не зависимости от его активности окно располага-

лось всегда поверх всех остальных окон. Это действие осуществляется командой меню программы эмуляции **View/Always On Top**.

После загрузки эмулятора все действия по загрузке и мониторингу программы производятся так же, как и при работе с реальным контроллером.

### **3. Задание на практическую работу**

Для заданной станции создать проект для реализации логической функции. После загрузки проекта в контроллер проверить правильность выполнения контроллером вычислений путем сравнения результата выполнения с таблицей истинности заданной функции.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Для заданной релейной схемы составить таблицу истинности.
2. Создать проект для заданной станции с именем «Номер группы – номер варианта»
3. Для станции, на которой осуществляется выполнение проекта, произвести конфигурирование модулей. Для пустых модулей, расположенных в стойке контроллера, слоты должны оставаться пропущенными.
4. Составить логический блок вычисления заданной функции и заполнить **Network** в организационном блоке **OB1**.
5. Произвести сброс памяти контроллера. Загрузить проект в контроллер в режиме STOP и перевести контроллер в режим RUN и проверить правильность конфигурирования модулей по ламповым индикаторам лицевой панели CPU.
6. Перевести проект в режим мониторинга, и задавая кнопками пульта входные сигналы в соответствии с таблицей истинности контролировать выходные сигналы. При обнаружении несоответствия произвести поиск ошибок и их устранение.
7. Загрузить эмулятор контроллера - **PLCSIM**. Проверить работу релейной схемы на эмуляторе.
8. Загрузить программу имитации пульта, подключенного к контроллеру. Проверить правильность работы релейной схемы на пульте-имитаторе. Описание работы пульта-имитатора приведено в приложении.

#### **Форма представления результата:**

Отчет должен содержать:

1. Заданную вариантом релейную схему и ее таблицу истинности.
2. Таблицу конфигурирования аппаратуры станции с указанием адресации каждого модуля.
3. Таблицу символических имен и соответствующую им адреса ячеек памяти.
4. Результаты проверки работы релейной схемы в соответствии с таблицей истинности.

## Тема 1.4 Применение программируемых микропроцессорных контроллеров

### Практическое занятие № 15

Создание конфигурации аппаратного обеспечения в Step 7

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

**Цель работы: освоить принцип составления схемы релейной логики на языке технологического программирования STEP 7 по заданной таблице истинности**

#### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

- пользоваться измерительной техникой, различными приборами и типовыми элементами средств автоматизации;
- ориентироваться в программно-техническом обеспечении микропроцессорных систем; применять средства разработки и отладки специализированного программного обеспечения для управления объектами автоматизации
- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### Материальное обеспечение:

Методические указания по выполнению работы, Simatic Manager

#### Задание:

- 1 Составить схему релейной логики по таблице истинности
- 2 Оформить отчет

#### Краткие теоретические сведения:

Комбинаторная переключательная схема предназначена для преобразования входной комбинации дискретных (двоичных) сигналов в однозначно определенную выходную комбинацию.

Для синтеза комбинаторных переключательных схем используют различные методы. Цель синтеза состоит в том, чтобы составить из соответствующих двоичных элементов оптимальную (с определенной точки зрения) переключательную схему, которая реализовывала бы заранее заданное соотношение между входами и выходами.

Так как выходные сигналы комбинаторной схемы непосредственно зависят от входных сигналов, они могут быть представлены переключательными формулами, которые непосредственно дают всю информацию о поведении системы. Чаще всего переключательные формулы комбинаторных схем включают в себя три основные логические операции:

- логическое сложение « $\vee$ » - дизъюнкция – логическое ИЛИ;
- логическое умножение « $\wedge$ » - конъюнкция – логическое И;
- отрицание « $\bar{\phantom{x}}$ » - инверсия – логическое НЕ.

Другой формой описания комбинаторных схем является таблица истинности. Наиболее часто ее применяют для описания не очень сложных схем, в которых количество входных комбинаций ограничивается несколькими десятками. В таблице истинности в первых столбцах обычно содержатся кодовые слова, соответствующие комбинациям входных переменных, расположенные в порядке роста десятичных эквивалентов. Наиболее просто это делается простановкой отдельных битов в соответствующих столбцах.

Для каждого двоичного выходного сигнала предусмотрены свои столбцы, в которых для каждой комбинации входных сигналов содержатся значения 0 или 1 или, если не требуется определенного значения, знаки  $\bar{\phantom{x}}$  или d (don't care - безразлично).



## Тема 1.4 Применение программируемых микропроцессорных контроллеров

### Практическое занятие № 16

Создание логической программы в Step 7 с использованием языков программирования LAD, FBD, STL

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

**Цель работы: освоить принцип составления схемы релейной логики на языках программирования LAD, FBD, STL по заданной таблице истинности**

#### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

- пользоваться измерительной техникой, различными приборами и типовыми элементами средств автоматизации;
- ориентироваться в программно-техническом обеспечении микропроцессорных систем; применять средства разработки и отладки специализированного программного обеспечения для управления объектами автоматизации
- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### Материальное обеспечение:

Методические указания по выполнению работы, Simatic Manager

#### Задание:

- 1 Составить схему релейной логики по таблице истинности
- 2 Оформить отчет

#### Краткие теоретические сведения:

##### Реализация комбинаторной переключательной схемы на языке LAD

Для реализации комбинаторной переключательной схемы на языке релейной логики следует придерживаться следующих правил:

1. Каждая переключательная функция, реализующая один выходной сигнал переключательной схемы, помещается в отдельном блоке (Network).
2. Каждая дизъюнкция (логическое сложение) образует параллельную цепочку из контактов реле.
3. Каждая конъюнкция образует цепочку последовательно соединенных контактов реле.
4. Входной сигнал в переключательной функции, к которому применена операция отрицания, представляется нормально замкнутым контактом, иначе - нормально разомкнутым.

Реализованный логический блок на языке LAD в среде SIMATIC MANAGER при условии, что адреса входных сигналов  $X1=I0.0$ ;  $X2=I0.1$ ;  $X3=I0.2$ , а адрес выходного сигнала  $Y=Q0.0$

#### Порядок выполнения работы:

1. Создать проект с именем XX где XX – номер варианта.
2. По заданной таблице истинности и по переключательной формуле составить схему релейной логики.
3. Произвести конфигурирование аппаратной части проекта. Подготовить данные конфигурации к загрузке. Загрузить в контроллер.

4. Заполнить таблицу истинности обозначениями входных и выходных сигналов. Входными и выходными сигналами выбрать соответствующие адреса.
5. Запрограммировать блок OB1, загрузить проект в эмулятор контроллера PLCSIM.
6. С помощью пульта-имитатора в соответствии с таблицей истинности подать входные сигналы и проконтролировать выходные.
7. Сравнить полученный результат с заданными условиями. В случае ошибки произвести исправления и повторить проверку.
8. После отладки на эмуляторе загрузить проект в контроллер и произвести проверку работы релейной схемы с помощью пульта.
9. Сделать выводы по работе.

#### **Форма представления результата:**

Отчет должен содержать:

1. Основные понятия комбинаторной переключательной схемы.
2. Разработанную в соответствии с заданием релейную схему на языке LAD.
3. Таблицу выходных сигналов для каждой комбинации входных сигналов, полученную с помощью пульта – имитатора.
4. Выводы по работе, в которых отразить возможность упрощения полученной релейной схемы и исследование упрощенной схемы на соответствие заданию.

## Тема 1.4 Применение программируемых микропроцессорных контроллеров

### Практическое занятие № 17

Создание рабочей программы управления светофорами с применением таймеров и битовой логики

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

**Цель работы:** изучить основные приемы построения релейных цепочек с обратными связями, используя промежуточные биты маркерной памяти

#### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

- пользоваться измерительной техникой, различными приборами и типовыми элементами средств автоматизации;
- ориентироваться в программно-техническом обеспечении микропроцессорных систем; применять средства разработки и отладки специализированного программного обеспечения для управления объектами автоматизации
- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### Материальное обеспечение:

Методические указания по выполнению работы, Simatic Manager

#### Задание:

1 Составить релейную схему реализующую возможность последовательного включения выходных состояний. Каждое следующее выходное состояние реализуется только после того как будет реализовано предыдущее. Первое состояние реализуется всегда. Релейную схему разработать на языках LAD и STL.

2 Используя команды управления таймерами, разработать схему управления светофором на перекрестке

3 Оформить отчет

#### Краткие теоретические сведения:

##### Общие сведения об использовании маркерной памяти

Область маркерной памяти расположена в системной области памяти процессора и доступна как для записи, так и для чтения.

Элементы маркерной памяти предназначены для хранения промежуточных результатов вычислений и использования этих результатов в дальнейшем.

Результат вычисления, выведенный на катушку маркерной памяти, помещается в нее сразу и становится доступным для считывания уже в следующей строке. В релейной логике STEP 7 биты маркерной памяти используются одновременно для вывода результата на катушки реле и для ввода значений с контактов этих катушек.

Основное назначение битов маркерной памяти:

- сохранять промежуточный результат при разбиении длинных релейных цепочек или в некоторых командах;
- организовывать обратные связи или проверку условий в тактируемых схемах (в многотактных схемах).

Разбиение релейной схемы на ряд более коротких схем улучшает читабельность схемы и её лучшее понимание.

Вторым назначением маркерных битов в релейных схемах служит организация обратной связи для хранения результата.

Возможность реализации обратных связей позволяет реализовывать релейные схемы включения оборудования в строго определенной последовательности. Каждый следующий механизм оборудования может быть включен только после отработки действий предыдущим и формировании требуемых условий включения.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Для лабораторной работы создать новый проект, провести конфигурирование аппаратуры контроллера на лабораторном стенде и записать проект на диск.

2. Заполнить таблицу символов, составить релейную схему по номеру варианта. Для задания использовать таблицу истинности из варианта практической работы №2.

3. Запустить последовательно эмулятор контроллера PLCSIM и модель пульта-имитатора.

4. Загрузить проект в эмулятор и с помощью пульта-имитатора проверить правильность работы релейной схемы.

5. Перенести проект в реальный контроллер и проверить работоспособность программы и выполнение шагов.

6. Используя команды управления таймерами, разработать схему управления светофором на перекрестке. Обеспечить формирование сигналов светофора для двух режимов: режим «РАБОТА» - обеспечивает управление светофором в режиме регулирования движения на перекрестке; режим «ДЕЖУРНЫЙ» - обеспечивает формирование только сигнала «мигающий желтый» - неактивное состояние светофора. Переключение режимов должно обеспечиваться переключателем «Рабочий»-«Дежурный».

7. Используя разработанную в первом задании схему управления светофором разработать систему управления двумя светофорами по ходу движения на двух перекрестках. Система управления должна обеспечивать работу светофором в двух режимах: Синхронный режим – сигналы на лампы светофоров приходят в одни и те же моменты времени; режим зеленой волны – сигналы зажигания ламп сдвинуты относительно друг друга на какое-то время, определяющее темп движения по дороге. Переключение режимов обеспечивается переключателем «Синхронный»-«Зеленая волна». Кроме того, также должна обеспечиваться работа светофоров в дежурном режиме. Переход из синхронного режима работы в режим зеленой волны и обратно осуществляется только вторым светофором (ведомым по отношению к первому – ведущему). В момент переключения режимов второй светофор на некоторое время переключается в дежурный режим, дожидается включения «красного» сигнала первого светофора и, если необходимо, выполняет задержку по времени и начинает работать с «красного» сигнала. Если задержки не требуется, то второй светофор начинает работать синхронно вместе с первым.

Адреса и обозначения переключателей и ламп светофора

Адрес	Обозначение	Команда
I0.0	«Раб»-«Деж»	Кнопка режим «Рабочий»-«Дежурный»
I0.1	«ЗВ»-«Синх»	Кнопка режим «Зеленая волна»-«Синхронный»
Q0.0	«Красный» Светофор 1	сигнал «Красный»
Q0.1	«Желтый» Светофор 1	сигнал «Желтый»
Q0.2	«Зеленый» Светофор 1	сигнал «Зеленый»
Q0.3	«Красный» Светофор 2	сигнал «Красный»
Q0.4	«Желтый» Светофор 2	сигнал «Желтый»
Q0.5	«Зеленый» Светофор 2	сигнал «Зеленый»

#### **Форма представления результата:**

Отчет должен содержать:

1. Заданную таблицу истинности.

2. Релейную схему реализации последовательной реализации шагов на языках LAD и STL
3. Пояснение к каждой цепочки релейной схемы реализации шага.

## Тема 1.4 Применение программируемых микропроцессорных контроллеров

### Практическое занятие № 18

Создание функции и функционального блока. Изучение принципа работы

#### **Формируемая компетенция:**

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

**Цель работы:** с помощью робота-манипулятора отсортировать изделия на металлические и неметаллические, которые подаются из накопителя в исходную позицию

#### **Выполнив работу, Вы будете:**

*уметь:*

- пользоваться измерительной техникой, различными приборами и типовыми элементами средств автоматизации;
- ориентироваться в программно-техническом обеспечении микропроцессорных систем; применять средства разработки и отладки специализированного программного обеспечения для управления объектами автоматизации
- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### **Материальное обеспечение:**

Методические указания по выполнению работы, Simatic Manager

#### **Задание:**

1 Составить релейную схему, реализующую возможность с помощью робота-манипулятора отсортировать изделия на металлические и неметаллические, которые подаются из накопителя в исходную позицию

#### **Краткие теоретические сведения:**

Изделия автоматически подаются на исходную позицию 1, где происходит анализ материала заготовки. В зависимости от типа материала каретка 4 совместно с манипулятором 3 с помощью вакуумного захвата 6 перемещает изделие в соответствующее место складирования (приемный бункер 5 или 7).

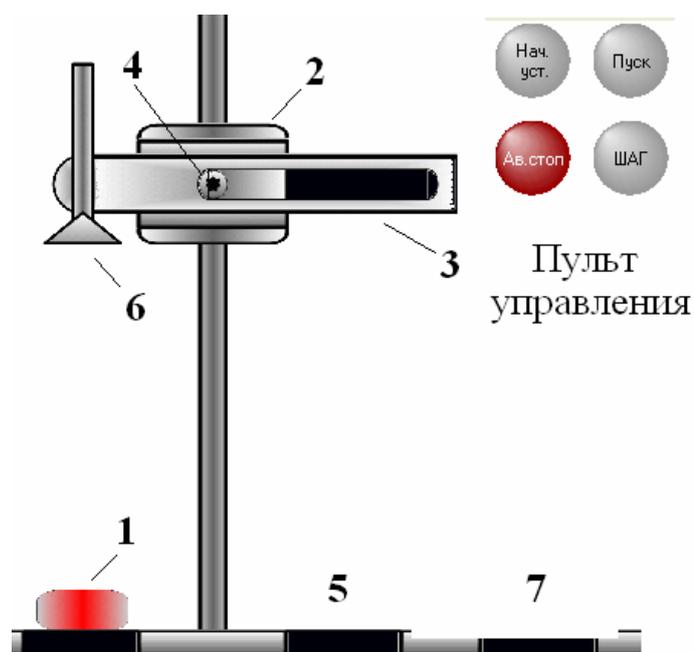


Рисунок 1- Вид имитационной модели манипулятора: 1 – исходная позиция; 2 – поворотный стол; 3 – манипулятор; 4 – каретка; 5, 7 – позиция разгрузки; 6 – вакуумный захват.

Программа управления манипулятором должна обеспечивать следующие режимы работы:

1. Приведение манипулятора в исходное состояние (показано на рис. 1). При нажатии кнопки «Нач.Уст» все устройства принимают исходное состояние:

- Шток пневмоцилиндра с захватом втянут;
- Каретка в верхнем положении, манипулятор втянут;
- Стол повернут в сторону позиции подачи заготовок;
- Захват выключен;

Работа системы не должна начинаться пока все устройства не примут исходные позиции.

2. Автоматический режим. Выбор режима - кн. «ШАГ» не нажата. Режим обеспечивает непрерывный цикл после однократного нажатия кн. «ПУСК» и повторяется при поступлении изделий. Если изделия заканчиваются, то манипулятор устанавливается в исходное состояние и при появлении изделия работа начинается только после нажатия на кн. «ПУСК».

3. Ручной режим. Пошаговое выполнение цикла. Выбор режима кн. «ШАГ». Каждое действие (движение одного механизма манипулятора) выполняется после нажатия кн. «ПУСК».

4. Аварийный останов. Выбор режима - кн. «АВ.СТОП.». При нажатии кн. «АВ.СТОП.» все устройства останавливаются и могут вернуться в исходное состояние только после нажатия кн. «Нач.Уст». В случае нахождения изделия в поднятом состоянии необходимо устранить возможность его падения. Если после нажатия на кнопку «АВ.СТОП.» нажимается кнопка «ПУСК», то работа манипулятора продолжается в нормальном режиме

Во время работы программа должна также вести учет количества отсортированных изделий по типам.

Работа всех механизмов манипулятора должна осуществляться в строгой последовательности. Начиная с исходного состояния, данная последовательность должна иметь вид, который по шагам показан на рис. 1. Например, для переноса металлического изделия из позиции 1 в позицию 7 должны быть выполнены следующие шаги:

- 1) привести манипулятор в исходную позицию;
- 2) опустить каретку;
- 3) опустить захват;
- 4) включить захват;
- 5) дождаться поднятия захвата;
- 6) поднять каретку;
- 7) повернуть стол в конечное положение (отгрузка);
- 8) выдвинуть манипулятор;
- 9) опустить каретку;
- 10) опустить захват;
- 11) выключить захват (заготовка падает в приемный бункер 7);
- 12) дождаться поднятия захвата;

13) поднять каретку; 14) втянуть манипулятор; 15) повернуть стол в сторону позиции подачи заготовок.

Для неметаллической заготовки шаги 8 и 14 пропускается и заготовка попадает в приемный бункер 5.

## Тема 1.4 Применение программируемых микропроцессорных контроллеров

### Практическое занятие № 19

#### Создание программы управления транспортёрной лентой

#### **Формируемая компетенция:**

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

**Цель работы:** используя команды релейной логики, разработать систему управления упаковочной линией конвейера

#### **Выполнив работу, Вы будете:**

*уметь:*

- пользоваться измерительной техникой, различными приборами и типовыми элементами средств автоматизации;
- ориентироваться в программно-техническом обеспечении микропроцессорных систем; применять средства разработки и отладки специализированного программного обеспечения для управления объектами автоматизации
- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### **Материальное обеспечение:**

Методические указания по выполнению работы, Simatic Manager

#### **Задание:**

1 Разработать систему управления упаковочной линией конвейера

#### **Порядок выполнения работы:**

Работа упаковочной линии конвейера.

1. Вся работа конвейера начинается только после нажатия на кнопку «Пуск». При нажатии на кнопку «Стоп» все механизмы конвейера останавливаются.
2. При достижении изделия датчика изделия «ДИ» лента конвейера останавливается. Включается сталкиватель, который производит загрузку изделия в тару и после этого возвращается назад. Ход сталкивателя ограничен концевыми выключателями: «стоп вперед – СВ» и «стоп назад – СН».
3. После возвращения сталкивателя в исходное состояние работа конвейера продолжается.

## Тема 1.5 Применение регулирующих органов (РО)

### Практическое занятие № 20

#### Выбор и расчет регулирующих органов

#### Формируемая компетенция:

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

**Цель работы:** изучение принципа построения статической характеристики регулирующего органа

#### Выполнив работу, Вы будете:

*уметь:*

- рассчитывать и выбирать регулирующие органы
- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

#### Материальное обеспечение:

Методические указания по выполнению работы, индивидуальный раздаточный материал по расчету расходной характеристики регулирующего органа

#### Задание:

- 1 Изучить методику расчета расходной характеристики регулирующего органа

#### Краткие теоретические сведения:

Регулирующим органом в системе автоматического регулирования называется устройство, сочлененное с исполнительным механизмом и непосредственно воздействующее на регулируемую среду или энергию.

Основное назначение регулирующего органа – менять количество (расход) вещества (энергии), подаваемого на объект в зависимости от регулируемой величины.

Этот расход зависит:

- 1) от степени открытия регулирующего органа;
- 2) от физических свойств вещества;
- 3) от перепада давления в регулирующем органе и в системе.

Регулирующее воздействие регулирующего органа заключается в изменении проходного сечения его (степени открытия), а значит в изменении гидравлического сопротивления в регулирующем органе (напора в регулирующем органе), а значит в изменении количества вещества, проходящего через регулирующий орган.

Основными характеристиками регулирующего органа являются диаметр условного прохода, конструктивная характеристика и расходная характеристика.

Конструктивная характеристика представляет собой зависимость проходного сечения от степени открытия регулирующего органа  $F_{PO} = f(h_{PO})$ .

Эта характеристика не связана с особенностями потока среды регулируемого объекта и в основном имеет линейную форму.

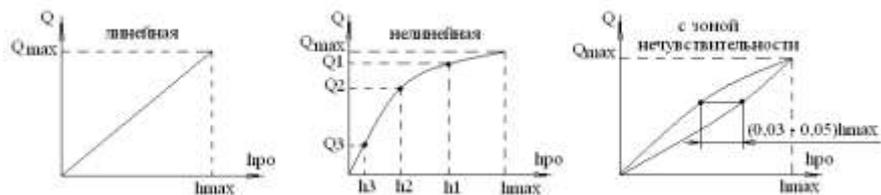
Расходная характеристика представляет собой зависимость расхода регулируемой среды от степени открытия регулирующего органа  $Q_{PO} = f(h_{PO})$ .

Эта характеристика зависит:

- 1) от конструкции регулирующего органа;
- 2) от напора среды;
- 3) от перепада давления на регулирующем органе;
- 4) от сопротивления в линии;

5) от характеристики объекта и т.д.

Расходная характеристика имеет нелинейный вид, но для упрощения регулирования необходимо, чтобы она была линейной или приближалась к линейному виду.



**Порядок выполнения работы:**

1. Изучить выданный вариант задания.
2. Задаем значениями  $Q_i$  от  $Q_{\max}$  до  $Q_{\min}$ .  $Q_{\min} = (1/3 - 1/4) Q_{\max}$ ;  
 Рассчитывается перепад давления на участке РО:

$$\Delta P_i = \Delta P_{PO} \frac{Q_i}{Q_{\max}}$$

Рассчитывается эффективное проходное сечение  $\alpha F_i$ :

$$\alpha F_i = \frac{Q_i}{5095 \cdot \varepsilon} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P_i}}$$

Находится отношение  $\frac{\alpha F_i}{F_y}$ ,

где  $F_y$  – максимальная площадь проходного сечения:

$$F_y = \frac{\pi D_{PO}^2}{4}$$

По графикам в соответствии с заданным РО находим степень открытия РО  $\phi$ . Заполняется таблица 1 и строится график – рабочая характеристика  $Q_i = f(\phi)$

Таблица 1

$Q_i$	$\Delta P_i$	$\alpha F_i$	$F_y$	$\alpha F_i / F_y$	$\phi$
-------	--------------	--------------	-------	--------------------	--------

**Форма представления результата:**

Выполнение индивидуального задания

## Тема 1.5 Применение регулирующих органов (РО)

### Практическое занятие № 21

#### Расчет сочленения регулирующих органов и исполнительных механизмов

##### **Формируемая компетенция:**

ПК 1.1 Проводить анализ работоспособности измерительных приборов и средств автоматизации

**Цель работы:** изучение методики выбора исполнительного механизма для соответствующего регулирующего органа.

##### **Выполнив работу, Вы будете:**

*уметь:*

- выбирать элементы автоматики для конкретной системы управления, исполнительные элементы и устройства мехатронных систем.

##### **Материальное обеспечение:**

Методические указания по выполнению работы, индивидуальный раздаточный материал по расчету расходной характеристики регулирующего органа

##### **Задание:**

1 В соответствии с выбранным регулирующим органом выбрать исполнительный механизм

##### **Краткие теоретические сведения:**

Исполнительный механизм – это устройство для перемещения регулирующего органа в соответствии с поступающими от управляющего устройства сигналами.

По виду потребляемой энергии исполнительные механизмы могут быть электрические, гидравлические и пневматические.

Наибольшее распространение в системах автоматизации нашли электрические исполнительные механизмы, в частности, однооборотные типа МЭО.

Основными параметрами исполнительных механизмов являются:

- 1) номинальный вращающий момент на валу или усилие на выходном штоке;
- 2) зона нечувствительности (в ее пределах изменение управляющего сигнала не вызывает движение вала исполнительного механизма);
- 3) постоянная времени (характеризует инерционное запаздывание начала движения вала или штока исполнительного механизма после подачи на его вход управляющего сигнала);
- 4) время оборота выходного вала исполнительного механизма или хода его штока;
- 5) величина инерционного выбега выходного вала исполнительного механизма (перемещение после прекращения подачи сигнала от регулятора).

#### **Сочленение регулирующих органов с исполнительными механизмами**

Качество работы системы автоматического регулирования зависит от сочленения исполнительного механизма и регулирующего органа.

Способы сочленения зависят от типа и конструкции исполнительного механизма и регулирующего органа и их взаимного расположения и других факторов.

Наиболее простой способ сочленения является непосредственное соединение выходного вала исполнительного механизма с валом регулирующего органа (жесткое соединение). При этом перемещение выходных устройств исполнительного механизма и регулирующего органа одинаковы и их скорости равны.

Наиболее распространенный способ сочленения исполнительного механизма и регулирующего органа с помощью промежуточных звеньев.

Сочленения можно разделить на две группы:

- 1) прямые – кривошип исполнительного механизма и рычаг регулирующего органа вращаются в одном направлении;
- 2) обратные - кривошип исполнительного механизма и рычаг регулирующего органа вращаются в противоположном направлении.

#### Порядок выполнения работы:

1. Рассчитать и выбрать исполнительный механизм по номинальному крутящему моменту:

$$M = K(M_p + M_t),$$

где  $K = 2 - 3$  – коэффициент, учитывающий затяжку сальников;

$M_p$  – реактивный момент, обусловленный стремлением потока закрыть заслонку;

$M_t$  – момент трения в опорах.

Реактивный момент  $M_p$  находят по следующей формуле:

$$M_p = 0,07 \Delta P_{po} \cdot D_y^3,$$

где  $\Delta P_{po}$  – перепад давления на заслонке (рекомендуется при расчете принимать  $\Delta P_{po}$  равным избыточному давлению перед заслонкой  $P_i$ ), Па;

$D_y$  – диаметр заслонки, м.

Момент трения  $M_t$  находят по следующей формуле:

$$M_t = 0,785 D_y^2 \cdot P_i \cdot r_{ш} \cdot \lambda,$$

где  $P_i$  - избыточное давление перед заслонкой, Па;

$r_{ш}$  – радиус шейки вала заслонки (0,015), м;

$\lambda = 0,15$  – коэффициент трения в опорах.

Рассчитав номинальный крутящий момент, определяют тип исполнительного механизма по таблицам 2 и 3, необходимого для стабильной работы системы.

Таблица 2. Электрические исполнительные механизмы.

Тип	Номинальный крутящий момент на выходном валу, Н · м	Номинальное время полного хода выходного вала, с	Номинальный ход выходного вала, обороты
МЭО-4/10-0,25-68	40	10	0,25
МЭО-4/25-0,63-68	40	25	0,63
МЭО-10/10-0,25	100	10	0,25
МЭО-10/25-0,63	100	25	0,63
МЭО-10/25-0,25-68	100	25	0,25

МЭО-25/25-0,25	250	25	0,25
МЭО-25/63-0,63	250	63	0,63
МЭО-25/63-0,25	250	63	0,25
МЭО-25/160-0,63	250	160	0,63
МЭО-10/63-0,63	100	63	0,63
МЭО-1,6/25-0,63	16	25	0,63
МЭО-4/63-0,63	40	63	0,63
ИМТМ-4/25	40	25	0,97
МЭМ-4Б	40	25; 63; 160; 400	10; 25; 63
МЭМ-10Б	100	25; 63; 160; 400	10; 25; 63

Таблица 3. Электрические исполнительные механизмы

Тип механизма	Номинальный крутящий момент на выходном валу, Н · м	Номинальное время полного хода выходного вала, с	Номинальный полный ход выходного вала, обороты	Тип электродвигателя	Тип электромагнита	Потребляемая мощность в номинальном режиме, В · А, не более	Масса механизма, кг, не более
МЭО-630/10-0,25К-84	630	10	0,25	4АА5 6В4	ТЭМП -81	700	155
МЭО-630/25-0,63К-84	630	25	0,63	4АА5 6В4	ТЭМП -81	700	155
МЭО-1600/25-0,25К-84	1600	25	0,25	4АА5 6В4	ТЭМП -81	700	155
МЭО-1600/63-0,63К-84	1600	63	0,63	4АА5 6В4	ТЭМП -81	700	155
МЭО-1600/63-0,25К-84	1600	63	0,25	4АА5 6В4	ТЭМП -81	420	155
МЭО-1600/160-0,63К-84	1600	160	0,63	4АА5 6В4	ТЭМП -81	420	155
МЭО-4000/63-	4000	63	0,25	4АА5 6В4	ТЭМП -81	700	270

0,25К-84							
МЭО- 4000/160- 0,63К-84	4000	160	0,63	4АА5 6В4	ТЭМП -81	700	270
МЭО- 10000/63- 0,25К-84	10000	63	0,25	4АА6 3В4	ТЭМП -81	900	580
МЭО- 10000/160- 0,63К-84	10000	160	0,63	4АА6 3В4	ТЭМП -81	900	580

**Форма представления результата:**

Выполнение индивидуального задания