

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела

**РЕГУЛИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ СИСТЕМ
ТРАНСПОРТА НЕФТИ И ГАЗА**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплинам «Нефтегазотранспортные системы как объект
регулирования», «Основы автоматизации
объектов нефтегазового комплекса» для студентов направления
подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
(профиль «Проектирование, строительство и эксплуатация
газонефтепроводов и газонефтехранилищ») всех форм обучения*

Воронеж 2023

УДК 621.6:681.5(07)
ББК 397:32.965я7

Составители: М. А. Долбилова, З. С. Гасанов

Регулирование и контроль систем транспорта нефти и газа: методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплинам «Нефтегазотранспортные системы как объект регулирования», «Основы автоматизации объектов нефтегазового комплекса» для студентов направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» (профиль «Проектирование, строительство и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: М. А. Долбилова, З. С. Гасанов. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2023. – 30 с.

В методических указаниях дается краткое описание средств автоматизации и регулирования, наиболее широко используемых в нефтяной, газовой промышленности. Приведены практические задачи и вопросы для самостоятельного изучения.

Предназначены для студентов направления 21.03.01 «Нефтегазовое дело» (профиль «Проектирование, строительство и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ») всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_ПР_НСкОР.pdf.

Ил. 9. Табл. 4. Библиогр.: 6 назв.

УДК 621.6:681.5(07)
ББК 397:32.965я7

Рецензент – А. В. Копытин, канд. техн. наук, доцент кафедры систем управления и информационных технологий в строительстве ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Технологические процессы в нефтегазовой отрасли не могут быть реализованы без автоматизации. Необходимо измерять, контролировать основные технологические параметры процессов, следить за их отклонениями. Также нужно иметь возможность дистанционно (из диспетчерского пункта) включать и отключать отдельные агрегаты, открывать и закрывать задвижки; обеспечивать режимы работы установок путём поддержания наиболее важных параметров на заранее рассчитанных значениях.

В методических указаниях дается краткое описание средств автоматизации и регулирования, наиболее широко используемых в нефтяной, газовой промышленности. Приведены практические задачи, решение которых поможет закрепить знания о принципах действия средств автоматизации технологических процессов. Рассмотрены правила оформления функциональных схем автоматизации.

Практические и самостоятельные занятия позволят обучающимся сформировать практические навыки чтения схем автоматизации, выбора контрольно-измерительных приборов и регуляторов давления.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В настоящее время под термином «автоматизация» понимается применение и внедрение автоматических устройств, приводящих к освобождению человека от непосредственного участия в технологических процессах.

В зависимости от выполняемых функций автоматизация классифицируется на следующие основные виды: управление, контроль, сигнализация, блокировка, защита и регулирование.

Управление – совокупность действий, направленных на поддержание функционирования объекта в соответствии с заданной программой, выполняемых на основе определенной информации о значениях параметров управляемого процесса.

Автоматический контроль – автоматическое получение и обработка информации о значениях контролируемых параметров объекта с целью выявления необходимости управляющего воздействия.

Непрерывный контроль – это контроль, при котором контролируемые параметры постоянно сопоставляются с заданными величинами.

Дискретный контроль – это контроль, при котором сопоставление параметров осуществляется периодически. Контроль также классифицируется на местный и дистанционный.

Сигнализация – это преобразование информации о функционировании контролируемого объекта в условный сигнал, понятный дежурному и обслуживающему персоналу. Сигнализация обычно разделяется на технологическую и

аварийную.

Блокировка – это фиксация механизмов, устройств в определённом состоянии в процессе их работы. Она позволяет сохранить механизм устройства в фиксированном положении после получения внешнего воздействия, что повышает безопасность обслуживания, надёжность работы оборудования, обеспечивает требуемую последовательность включения механизмов, устройств, а также ограничивает перемещение механизмов в пределах рабочей зоны.

Автоматическая защита – это совокупность методов и средств, прекращающих процесс при возникновении отклонений от допустимых значений контролируемых параметров.

Автоматическое регулирование – поддержание постоянного значения некоторой физической величины или изменение ее по некоторому возможно заранее неизвестному закону с помощью автоматических устройств.

Объект регулирования (управления), (ОУ) – машина, аппарат, агрегат в котором производится регулирование. Объектом регулирования может быть насосный агрегат, компрессор, химический реактор, ректификационная колонна, электрический генератор, сварочный аппарат и т. д.

Регулируемая величина – физическая величина, которая подлежит регулированию.

Помимо перечисленных ранее регулированию могут быть подвергнуты самые разнообразные физические величины – давление в трубопроводе, число оборотов двигателя, уровень жидкости в емкости и другие.

Автоматический регулятор (Р)– совокупность устройств, обеспечивающих процесс регулирования без непосредственного участия человека.

Система автоматическая регулирования (САР) – совокупность объекта регулирования (управления) и регулятора.

$$САР = ОР + Р.$$

Задающее воздействие (задание, уставка) – требуемое значение регулируемой величины, которое должен поддерживать регулятор.

Простейшим, хорошо известным примером САР, является электрический утюг, в котором автоматически поддерживается заданная температура. Задание регулятору устанавливается поворотом диска с указателем или перемещением ползунка. Положение указателя – хлопок, вискоза, шерсть – соответствует заданию определенной температуры.

Ошибка регулирования (рассогласование) – разность между заданным и действительным значениями регулируемой величины. Возмущающее воздействие (возмущение) – любое внешнее воздействие на объект, вызывающее нежелательное отклонение регулируемой величины от заданного значения. Основным возмущением всегда является изменение нагрузки на объект.

Регулирующее воздействие – воздействие, оказываемое регулятором на объект для компенсации действия возмущения или отработки задающего воздействия (если задание изменяется во времени).

Современная система управления производством представляет собой

многоуровневую человеко-машинную структуру, создаваемую на основе автоматических информационных систем сбора данных и вычислительных комплексов, которые постоянно совершенствуются по мере эволюции технических средств и программного обеспечения.

АСУ ТП (рис. 1) можно разделить на три уровня: нижний, средний и верхний. Данные, собранные нижестоящим уровнем, поступают на вышестоящий, т. е. реализуется классическая схема управления: восходящий поток данных и нисходящий поток команд.

На нижнем уровне располагаются датчики, исполнительные механизмы, преобразователи и вторичные приборы. Они собирают информацию об объекте автоматизации и преобразуют физические свойства (температуру, давление и т. д.) в нормированные электрические или цифровые сигналы.

Основными техническими средствами среднего уровня являются программируемые логические контроллеры с модулями ввода/вывода. На этом уровне по программе, содержащейся в контроллере, реализуются локальная обработка входных сигналов, выдача управляющих команд на исполнительные механизмы, а также выполняются функции автоматического ведения режимов блокировок и защит.

Верхний уровень находится в помещении операторной и оснащен высоконадежным персональным компьютером в промышленном исполнении. Компьютер служит для визуализации всех контролируемых и управляемых параметров, оперативного управления технологическим процессом, автоматического ведения архивов, формирования отчетов. Как правило, все перечисленные функции осуществляются с помощью так называемых SCADA-систем (Supervisory Control And Data Acquisition) — систем диспетчерского управления и сбора данных. SCADA-системы позволяют создавать мнемосхемы, отображающие ход технологического процесса на мониторе оператора.

Темы рефератов:

1. Основные функции SCADA-систем.
2. Роль микропроцессорных устройств и вычислительной техники в управлении объектами в нефтегазовой отрасли.
3. Основные этапы развития автоматизации НГТС в нашей стране и за рубежом.



Рис. 1. Структурная схема трехуровневой АСУ ТП

2. СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

2.1. Измерения технологических параметров

Государственная система приборов (ГСП) предусматривает унификацию входных-выходных сигналов и сигналов питания.

В АСУТП нефтегазовой отрасли наибольшее распространение нашли электрические и пневматические сигналы. При этом по характеру изменения во времени сигналы они могут быть:

1. Непрерывные (аналоговые);
2. Дискретные (импульсные);
3. Цифровые.

Основные определения

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных.

Косвенное измерение - измерение, при котором искомое значение величины находят на основании зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми, прямым измерениям.

Принцип измерений – совокупность физических явлений, на которых основаны измерения.

Метод измерений – совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Средство измерений – техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

Мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Аналоговый измерительный прибор – измерительный прибор, показания которого являются непрерывной функцией изменений измеряемой величины.

Цифровой измерительный прибор – измерительный прибор, автоматически вырабатывающий дискретные сигналы измерительной информации, показания которого представлены в цифровой форме.

Показывающий измерительный прибор – измерительный прибор, допускающий только отсчитывание показаний.

Показания средства измерений – измерение величины, определяемое по отсчетному устройству и выраженное в принятых единицах этой величины.

Градуировочная характеристика средства измерений – зависимость между значениями величин на выходе и входе средства измерений, составленная в виде таблицы, графика или формулы.

Диапазон показаний – область значений шкалы, ограниченная конечными и

начальным значениями шкалы.

Диапазон измерений – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений.

Предел измерений – наибольшее и наименьшее значения диапазона измерений.

Чувствительность измерительного прибора – отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к вызывающему его изменению измеряемой величины.

Любые измерения сопровождаются **погрешностями**:

1) случайные погрешности - имеют случайную природу и причина их неизвестна;

2) промахи - вызваны неправильными отсчетами по прибору;

3) систематические - обусловлены несовершенством методов определения, конструкции прибора.

Виды погрешностей:

1) абсолютные: $\Delta X = X - X_0$,

где X - измеренное значение параметра, X_0 - истинное значение;

Абсолютная погрешность измерения – погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины.

2) относительные: $\gamma = \frac{\Delta X}{X_0} 100\%$ (выраженные в процентах);

Относительная погрешность измерения – отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины. Относительная погрешность может быть выражена в процентах.

3) приведенные: $\gamma = \frac{\Delta X}{X_{\max} - X_{\min}} 100\%$,

где X_{\min} и X_{\max} - минимальное и максимальное значения измеряемой величины.

Максимальная приведенная погрешность называется **классом точности**:

$$\gamma = \frac{\Delta X_{\max}}{X_{\max} - X_{\min}} 100\% .$$

В зависимости от класса точности приборы делятся на эталонные (образцовые) и рабочие.

На нефтегазоперерабатывающих производствах наиболее часто изме-

ряемыми величинами являются температура, давление, расход (рис. 2) [3].

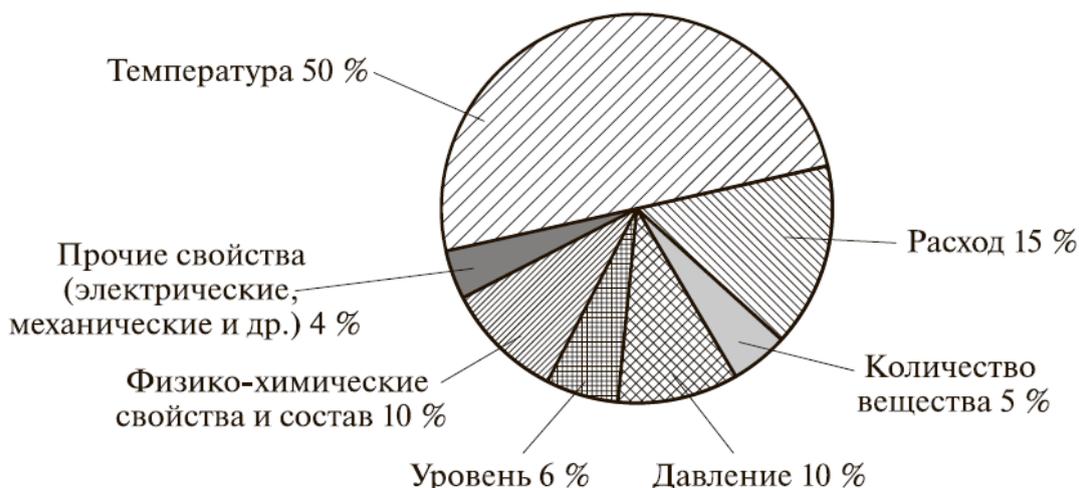


Рис. 2. Примерное распределение доли измерений основных технологических параметров в общем объеме измерений для непрерывных производств

При измерениях используются различные измерительные приборы, которые классифицируются по ряду признаков. Классификация по роду измеряемой величины указывает, какую физическую величину измеряет прибор (давление P , температуру T , расход F , уровень L , количество вещества Q и т.д.). По способу отсчета измеряемой величины: показывающие, регистрирующие, суммирующие.

Методы и приборы для измерения температуры

Температура вещества - величина, характеризующая степень нагретости, которая определяется внутренней кинетической энергией теплового движения молекул. Измерение температуры практически возможно только методом сравнения степени нагретости двух тел.

Для сравнения нагретости этих тел используют изменения каких-либо физических свойств, зависящих от температуры и легко поддающихся измерению.

По свойству термодинамического тела, используемого для измерения температуры, можно выделить следующие типы термометров:

- термометры расширения, основанные на свойстве температурного расширения жидких тел;
- термометры расширения, основанные на свойстве температурного расширения твердых тел;
- термометры газовые манометрические;
- термометры жидкостные манометрические;
- конденсационные;
- электрические;

- термометры сопротивления;
- оптические монохроматические пирометры;
- оптические цветковые пирометры;
- радиационные пирометры.

Задача 2.1

Лабораторный стеклянный термометр, заполненный пентаном, показывает по шкале $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Термометр погружен в измеряемую среду до отметки $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура выступающего столбика составляет $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Коэффициент видимого объемного теплового расширения пентана в стекле $\alpha=0,0012\text{ K}^{-1}$. Определите действительное значение температуры.

Задача 2.2

Определите показания манометрического ртутного термометра, если при градуировке термобаллон и показывающий прибор находились на одном уровне, а в реальных условиях показывающий прибор расположен на $7,34\text{ м}$ выше, чем термобаллон. Шкала термометра $0\text{-}500\text{ }^{\circ}\text{C}$. При изменении температуры от 0 до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ давление в системе изменяется от $4,47$ до $14,28\text{ МПа}$. Плотность ртути $13,595\text{ т/м}^3$.

Задача 2.3

Определите изменение показаний манометрического газового термометра, вызванное увеличением температуры капилляра на 40 и температуры пружины на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ относительно градуировочного значения $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ при следующих условиях: объем капилляра $1,9\text{ см}^3$, объем манометрической пружины $1,5\text{ см}^3$, объем термобаллона 140 см^3 .

Задача 2.4

Определить температуру измеряемой среды при измерении датчиком сопротивления градуировки 100П с температурным коэффициентом термометра сопротивления $\alpha = 0,00391$ при показаниях мультиметра 108 Ом .

Пояснения к задаче 2.4.

Определение температуры среды датчиками термосопротивления.

Любая линейная функция, как известно, описывается двумя точками. В случае датчика термосопротивления первой точкой является точка R_0 (сопротивление датчика при 0°C), второй точкой – R_{100} (сопротивление датчика при 100°C).

Основными градуировками датчиков термосопротивления являются 50М , 50П , 100М , 100П , $\text{Pt}100$, 500М и 500П . Цифра в обозначении градуировки указывает на сопротивление датчика в омах при 0°C , то есть определяет упомянутую ранее точку R_0 . Буква в обозначении указывает на материал проволоки чувствительного элемента (М – медь, П и Pt – платина). Датчики градуировки 100П и $\text{Pt}100$ несмотря на одинаковое R_0 и материал проволоки все же имеют

разные характеристики. Это различие определяется температурным коэффициентом термометра сопротивления. Платиновые датчики градуировки 100П отечественного производства чаще всего имеют коэффициент $\alpha = 0,00391$, медные датчики отечественного производства имеют $\alpha = 0,00428$. Импортные платиновые датчики термосопротивления имеют $\alpha = 0,00385$. До 2008 характеристикой датчиков был коэффициент W_{100} (например, для 100П $W_{100}=1,3910$), который показывал во сколько раз изменится сопротивление R_0 датчика термосопротивления при его нагревании с 0 до 100°C.

Методы и приборы для измерения давления

Давление характеризуется отношением силы, равномерно распределенной по площади и нормальной к величине этой площади. Под абсолютным давлением в аппарате понимают полное давление жидкости или газа на его стенки; разность между ним ($P_{абс}$) и атмосферным давлением ($P_{атм}$) при $P_{абс} > P_{атм}$ называется избыточным давлением $P_{изб}$:

$$P_{изб} = P_{абс} - P_{атм},$$

а при $P_{абс} < P_{атм}$ — разрежением P_h

Классификация приборов для измерения давления:

I. По принципу действия:

- 1) жидкостные (основанные на уравнивании давления столбом жидкости);
- 2) поршневые (измеряемое давление уравнивается внешней силой, действующей на поршень);
- 3) пружинные (давление измеряется по величине деформации упругого элемента);
- 4) электрические (основанные на преобразовании давления в какую-либо электрическую величину).

II. По роду измеряемой величины:

- 1) манометры (измерение избыточного давления);
- 2) вакуумметры (измерение давления разрежения);
- 3) мановакуумметры (измерение как избыточного давления, так и давления разрежения);
- 4) напорометры (для измерения малых избыточных давлений);
- 5) тягомеры, тягонапорометры (измеряют не большие величины избыточного или вакуумметрического давления воздуха или неагрессивных газов);
- 6) дифманометры (для измерения разности давлений);
- 7) барометры (для измерения барометрического давления).

Задача 2.5

Определись погрешность манометра с токовым выходным сигналом (0 – 5 мА) с пределами измерения 0-4 МПа, если измерении давления 3,2 МПа выходной сигнал составил $I = 3,93$ мА.

Задача 2.6

Определите погрешность манометра с пневматическим выходным сигналом (0,02 – 0,1 МПа) с пределами измерения 0-0,6 МПа, если измерении давления 0,45 МПа выходной сигнал составило 0,084 МПа.

Задача 2.7

Выберите шкалу манометра (определите верхний предел измерения) для измерения постоянного давления: а) 0,3 МПа; б) 26 МПа.

Пояснения к задаче 2.8

Шкала манометра (верхний предел измерения) выбирается таким образом, чтобы рабочий предел измерения (наибольшее рабочее давление) был не менее $3/4$ верхнего предела измерения при постоянном давлении и не менее $2/3$ верхнего предела измерения при переменном давлении.

Верхние пределы измерений выбираются из ряда: 1; 1,6; 2,5; 4; $6 \cdot 10^n$, где n – любое целое число.

Задача 2.8

Три манометра различным образом установлены на трубопроводе с водой (рис. 3), имеющей давление 0,8 МПа. Одинаковыми ли будут показания?

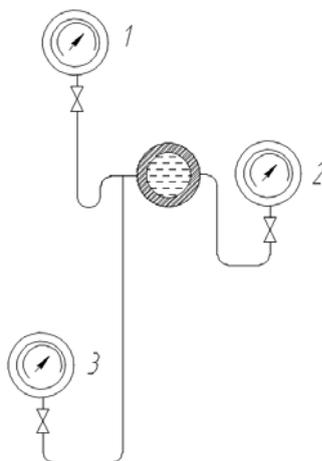


Рис. 3. Схема установки манометров

Методы и приборы для измерения расхода

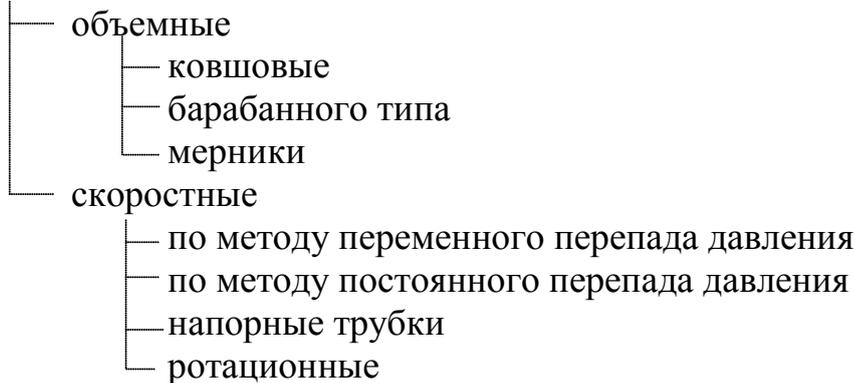
Количество вещества выражается в единицах объема или массы (т.е. в m^3 или килограммах). Количество жидкости с равной степенью точности может быть измерено и объемным, и массовым методами, количество газа - только объемным. Для твердых и сыпучих материалов используется понятие насыпной или объемной массы, которая зависит от гранулометрического состава сыпучего материала. Для более точных измерений количество сыпучего материала определяется взвешиванием.

Расходом вещества называется количество вещества, проходящее через данное сечение трубопровода в единицу времени. Массовый расход измеряется в кг/с, объемный - в м³/с.

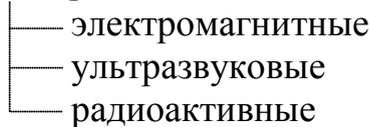
Приборы, измеряющие расход, называются расходомерами. Эти приборы могут быть снабжены счетчиками (интеграторами), тогда они называются расходомерами-счетчиками. Такие приборы позволяют измерять расход и количество вещества

Классификация:

Механические



Электрические



Задача 2.9

По трубе диаметром 100 мм движется поток жидкости со средней скоростью 1,5 м/с. Определите массовый расход жидкости, если ее плотность 990 кг/м³.

Задача 2.10

В трубе с движущимся потоком установлены две напорные трубки (рис. 4). Какое давление (статическое, динамическое или полное) установится в каждой из этих трубок и чему будет равна разность этих давлений?

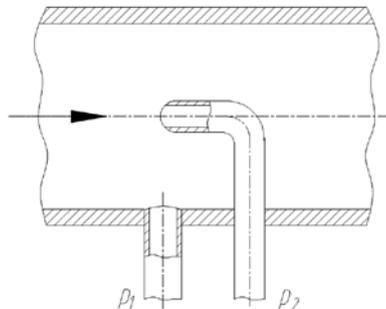


Рис. 4. Схема установки напорных трубок

Задача 2.11

Для условия задачи 2.10 определите, как будет изменяться давление в напорных трубках при неизменном статическом давлении?

Задача 2.12

Определите перепад давления, создаваемый напорными трубками, если поток воды движется со скоростью 0,1 м/с, плотность воды 985 кг/м³, коэффициент трубки 0,97.

2.2. Исполнительные устройства

Исполнительным устройством (ИУ) называется устройство в системе управления, непосредственно реализующее управляющее воздействие со стороны регулятора на объект управления путем механического перемещения регулирующего органа (РО) объекта.

Большинство управляющих воздействий в нефтегазовой отрасли реализуется путем изменения расходов веществ (например, сырья, топлива и т.д.). Уравнение статики ИУ для расхода F жидкости или газа может быть описано как

$$F = F(\Delta P, \nu, \rho, C_1, C_2, \dots), \quad (2.1)$$

где ΔP – перепад давления на РО, ν – вязкость, ρ – плотность, C_i – некоторые параметры, зависящие от конструкции РО, режима истечения потока и т.д. Отсюда видно, что расход F может быть изменен путем:

- изменения ΔP (насосные ИУ),
- ν или ρ (реологические ИУ),
- коэффициентами C_i (дрессельные ИУ).

Эти ИУ нашли преимущественное распространение в силу универсальности и простоты. В зависимости от ИМ изменяет какой-либо параметр дресселя РО, что приводит к изменению расхода F .

Пропускной характеристикой дресселя называется зависимость расхода F от перепада давления $\Delta P = P_{\text{вх}} - P_{\text{вых}}$, положения РО и т.д.

Зависимость $F(\Delta P)$ для турбулентного потока:

$$F = \gamma \sqrt{\Delta P}, \quad (2.2)$$

где $\gamma = S \sqrt{\frac{2}{\xi \rho}}$, S – площадь сечения потока, ξ – коэффициент местного сопротивления, ρ – плотность.

Виды ИУ дроссельного типа:

- 1) **плунжерные** – расход регулируется путем изменения площади проходного сечения, образованного парой «седло-затвор».
- 2) **шланговые** – расход регулируется сжиманием гибкого шланга.
- 3) **диафрагмовые** – используют гибкие мембраны.
- 4) **заслоночные** – используют заслонки в виде дисков, вращающихся в сечении трубопровода.
- 5) **краны** – используют затворы, выполненные в виде цилиндра, усеченного конуса или сферы с проходным отверстием; расход регулируется поворотом затвора на определенный угол.
- б) **задвижки** – расход регулируется плоской задвижкой, перемещающейся перпендикулярно оси трубопровода.

2.3. Исполнительные механизмы

Стандартные исполнительные механизмы (ИМ) работают в комплекте с РО, образуя вместе ИУ, и классифицируются по:

- виду энергии, создающей перестановочное усилие (электрические, пневматические, гидравлические и др.);
- виду движения (прямоходовые, однооборотные и многооборотные);
- принципу создания перестановочного усилия (мембранные, поршневые, сильфонные, лопастные, электромагнитные, электродвигательные и др.).

Пневматические ИМ нашли широкое распространение благодаря простоте конструкции, низкой стоимости, надежности, способности работать в пожаро- и взрывоопасных условиях. Недостатки: ограниченность расстояния от регулятора до места установки ИУ (обычно до 200 м), низкое быстродействие, низкий класс точности.

Входным сигналом этих ИМ является давление сжатого воздуха P_u (см. рис. 5), которое, воздействуя на мембрану, создает усилие

$$F = S_{\text{эф}} (P_u - P_o), \quad (2.3)$$

где P_u – управляющее давление,

P_o – начальное давление, при котором создается движение плунжера,

$S_{\text{эф}}$ – эффективная площадь мембраны.

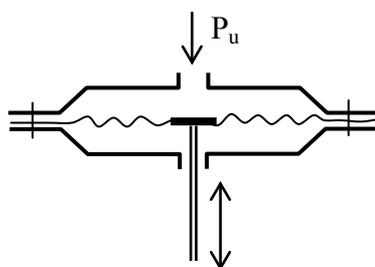


Рис. 5. Устройство пневматического исполнительного механизма

Электрические ИМ имеют преимущества: высокое быстродействие, компактность, доступность источника энергии, большие перестановочные усилия. Недостатки: дороговизна, необходимость мер защиты во взрыво- и пожароопасных условиях.

Подразделяются на электродвигательные (привод от двигателя) и электромагнитные.

Промышленность выпускает практически только электродвигательные ИМ с напряжением 220 В или 380 В:

- многооборотные (МЭМ),
- однооборотные (МЭО) с углом поворота до 360°,
- прямоходовые (МЭП).

2.4. Регуляторы давления газа

Управление гидравлическим режимом работы системы газораспределения осуществляют с помощью регуляторов давления, которые автоматически поддерживают постоянное давление в точке отбора импульса независимо от интенсивности потребления газа. При регулировании давления происходит снижение начального — более высокого — давления на конечное — более низкое. Это достигается автоматическим изменением степени открытия дросселирующего органа регулятора, вследствие чего автоматически изменяется гидравлическое сопротивление проходящему потоку газа.

В связи с тем, что регулятор давления газа предназначен для поддержания постоянного давления в заданной точке газовой сети, то всегда необходимо рассматривать систему автоматического регулирования в целом — «регулятор и объект регулирования (газовая сеть)». Принцип работы регуляторов давления газа основан на регулировании по отклонению регулируемого давления.

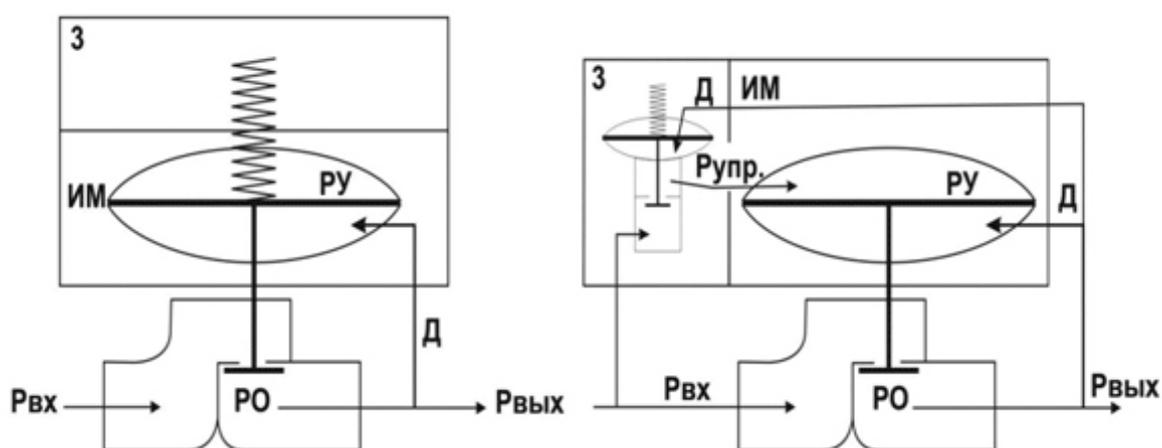


Рис. 6. Элементы регуляторов с пружинным и пневматическим задатчиком

РД представляет собой совокупность следующих компонентов:

Д — датчик, который осуществляет непрерывный мониторинг текущего значения регулируемой величины и подает сигнал к регулирующему устройству;

З — задатчик, который вырабатывает сигнал заданного значения регулируемой величины (требуемого выходного давления) и также передает его на регулирующее устройство;

РУ — регулирующее устройство, которое осуществляет алгебраическое суммирование текущего и заданного значений регулируемой величины, и подает командный сигнал к исполнительному механизму.

ИМ — исполнительный механизм, который преобразует командный сигнал в регулирующее воздействие, и в соответствующее перемещение регулирующего органа за счет энергии рабочей среды.

На практике в РД в качестве датчика выступает контролируемое давление или т.н. «импульс», задатчиком является пружина или пневмозадатчик (пилот), а регулирующим устройством выступает мембрана или эластичный затвор. Исполнительный механизм представляет собой части корпуса регулятора с мембраной (эластичным затвором) в качестве разделителя сред и регулирующей орган.

Исходя из положенного в основу работы закона регулирования, регуляторы давления бывают **астатические** (отрабатывающие интегральный закон регулирования), **статические** (отрабатывающие пропорциональный закон регулирования) и **изодромные** (отрабатывающие пропорционально-интегральный закон регулирования).

РД с интегральным законом регулирования в случае изменения расхода газа создает колебательный режим около некоего среднего значения, при котором постоянный режим (как в случае статического регулятора) никогда не будет достигнут.

Представителями астатических регуляторов являются РД с пневматическим задатчиком выходного давления, а характерным примером такого процесса можно считать незатухающие автоколебания (т. н. «качку») некоторых типов пилотных РД в определенных переходных режимах работы.

В статических РД величина изменения регулирующего отверстия прямо пропорциональна изменению расхода газа в сети и обратно пропорциональна изменению выходного давления. Примером статических РД являются регуляторы с пружинным задатчиком выходного давления.

Изодромный регулятор (с упругой обратной связью) при отклонении регулируемого давления сначала переместит регулирующей орган на величину, пропорциональную величине отклонения, но если при этом давление не придет к заданному значению, то регулирующей орган будет перемещаться до тех пор, пока давление не достигнет заданного значения. Такие регуляторы в динамическом режиме работают как статические (жесткая обратная связь по регулируемому воздействию), а в установившемся режиме работает как астатический, поддерживает постоянство регулируемой величины.

Выбор регуляторов газа

Правильный подбор регулятора давления должен обеспечить устойчивость системы «регулятор-газовая сеть», т. е. способность ее возвращаться к первоначальному состоянию после прекращения возмущения.

Выбор регуляторов давления газа необходимо производить с учетом следующих факторов:

- тип объекта регулирования;
- максимальный и минимальный требуемый расход газа;
- максимальное и минимальное входное давление;
- максимальное и минимальное выходное давление;
- точность регулирования (максимально допустимое отклонение регулируемого давления и время переходного процесса регулирования);
- необходимость полной герметичности при закрытии регулятора;
- акустические требования к работе регуляторов с высокими входными давлениями и большими расходами газа.

Основным требованием при подборе регулятора давления является обеспечение устойчивости его работы на всех возможных режимах.

Для тупикового газопровода (с отбором газа в конце газопровода) следует применять статические регуляторы прямого действия. В случае больших расходов газа — непрямого действия. Для кольцевых и разветвленных газовых сетей, учитывая их способность к самовыравниванию, в принципе можно использовать любые типы регуляторов, но так как эти сети имеют обычно большие расчетные расходы, то лучше применять астатические регуляторы непрямого действия (с пилотом). Эти регуляторы позволяют более точно поддерживать давление после себя.

Неравномерность регулирования у статических регуляторов давления прямого действия $\pm(0-20)$ %, статических непрямого действия (с пилотом) и астатических $\pm(5-10)$ %.

Пропускную способность регуляторов давления обычно определяют по аналогии с истечением газа через суживающееся сопло или сопло постоянного сечения, считая процесс адиабатическим. При постоянном входном давлении P_1 скорость истечения и объемный расход растут с уменьшением противодействия (выходного давления) P_2 только до достижения отношения P_2/P_1 определенного для данного газа значения, которое называют критическим (P_2 и P_1 — абсолютные давления).

Для природного газа с показателем адиабаты $K=1,31$ критическое отношение можно принимать равным 0,5. То есть в регуляторе давления, который поддерживает низкое давление 2000 Па (200 мм вод. ст.), при входном избыточном давлении в 0,1 МПа и более наступает критический режим истечения газа. При этом скорость газа, проходящего через седло, постоянна и равна скорости звука в данном газе, достигнутой при критическом отношении давлений.

Объемный расход газа при рабочих условиях остается неизменным и при дальнейшем понижении давления P_2 и повышении P_1 . Однако при этом изменя-

ется массовый расход газа, а также объемный расход, приведенный к нормальным физическим условиям.

При докритическом режиме истечения пропускная способность определяется квадратичной зависимостью разности входного и выходного давлений (перепада давления) $\Delta P = P_1 - P_2$. При критическом и сверхкритическом режимах пропускная способность зависит только от входного давления и прямо пропорциональна ему.

Пропускную способность регулятора давления с односедельным затвором можно определить по формуле:

$$Q_0 = 1595 \cdot \varphi \cdot \alpha \cdot P_1 \cdot f_c \cdot \sqrt{\frac{1}{\rho_0}}, \quad (2.4)$$

где Q_0 — расход газа через регулятор, м³/ч (при $P=0,1013$ МПа, $t=0$ С); φ — коэффициент, зависящий для данного газа от P_2/P_1 (рис. 7); α — коэффициент расхода (приводится в технической характеристике регулятора); f_c — площадь седла, см² (если шток клапана проходит через седло, то площадь седла надо рассчитывать за вычетом площади сечения штока); P_1, P_2 — абсолютное давление, МПа; ρ_0 — плотность газа, кг/м³ (при $P=0,1013$ МПа, $t=0^\circ$ С).

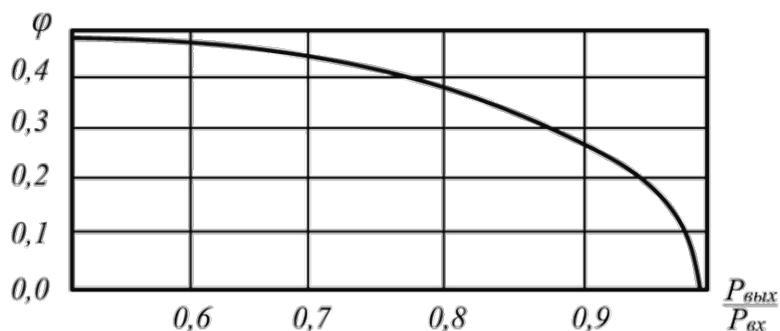


Рис. 7. Зависимость φ от отношения давлений

Выбор регулятора производят из условия, что его пропускная способность должна быть на 15–20 % больше максимального часового расхода газа потребителем. Это означает, что регулятор будет загружен при максимальном газопотреблении не более, чем на 80 %, а при минимальном — не менее, чем на 10 %. Если это условие не будет выполняться, то при максимальном отборе газа регулирующий орган будет полностью открыт и не сможет выполнять функции регулирования. Регулирование обеспечивается только тогда, когда регулирующий орган и исполнительный механизм находятся в подвижном состоянии. При снижении отбора газа ниже предельного могут возникнуть автоколебания (пульсации, вибрации) клапана.

ПРИМЕР:

Подобрать регулятор РДУК по следующим исходным данным: расход

газа $Q_{рп} = 5500 \text{ м}^3/\text{ч}$ / Избыточное давление до и после регулятора соответственно равно $P_1 = 0,55 \text{ МПа}$ ($5,5 \text{ кгс/см}$), $P_2 = 0,23 \text{ МПа}$, плотность газа равна $0,78 \text{ кг/м}^3$.

Проверим возможность использования регуляторов РДУК 2 – 100 с диаметром седла – 70мм, для которого согласно табл. 1 площадь седла клапана $f = 38,4 \text{ см}$ и коэффициент расхода $a = 0,40$. Отношение $P_2/P_1 = 0,418$, т.е. $P_2/P_1 < 0,5$ является критическим и для него принимаем значение коэффициента $\varphi = 0,48$.

Таблица 1

Технические данные регуляторов типа РДУК

Параметры	РДУК 2Н-50	РДУК 2Н-100			РДУК 2Н-200
	Диаметр седла, мм				
	35	50	70	105	140
Площадь седла клапана (с учётом площади штока) f , см^2	9,6	19,6	38,4	86,6	154,0
Коэффициент расхода a	0,6	0,42	0,4	0,49	0,4

Поставим исходные данные в формулу (2.4):

$$Q_o = 1595 \cdot 38,4 \cdot 0,4 \cdot 0,55 \cdot 0,48 \cdot \sqrt{1/0,78} = 7323 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Полученная пропускная способность регулятора является максимальной.

Номинальная составит 80% от нее:

$$Q_{ном} = 0,8 \cdot 7323 = 5858,7 \text{ м}^3/\text{ч}, \text{ т.е. } Q_{ном} > Q_{рп}$$

Следовательно, регулятор давления РДУК 2-100/70 подходит.

Задача 2.13

Поободрать регулятор по исходным данным, приведенным в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные для подбора регуляторов типа РДУК

Номер варианта	Плотность газа, кг/м^3	Расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$	Давление на входе, кгс/см^2	Давление на выходе, кПа
1	0,72	2000	0,62	30
2	0,72	3500	1,0	47
3	0,72	3000	1,0	35
4	0,75	11000	3,0	140
5	0,75	6000	5,5	210
6	0,75	8000	1,0	40
7	0,75	12000	5,90	220
8	0,78	17000	4,00	150
9	0,78	19000	5,90	280
10	0,78	19000	6,0	250

Темы рефератов:

1. Методы и приборы для измерения температуры
2. Методы и приборы для измерения давления. – делают на практиках в виде докладов
3. Методы и приборы для измерения расход.
4. Методы и приборы для измерения уровня.
5. Поточные влагомеры
6. Дебитомеры.
7. Скважинные манометры и термометры.
8. Скважинные уровнемеры.
9. Приборы для пуска остановки технологического оборудования НГТС.
10. Датчики – газоанализаторы, датчики солесодержания и рН растворов.
11. Контроль химического состава газа и жидкостей.
12. Аппаратура систем телемеханики.
13. Автоматическая защита газоснабжающих систем и их устройств.
14. Приборы и системы автоматической защиты и блокировки.
15. Устройства сигнализации нормальной работы систем и аварийных ситуаций.

3. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Схемы автоматизации представляют собой технологические схемы с нанесенными на них техническими средствами автоматизации (датчиками, исполнительными устройствами, преобразователями, контроллерами, регистраторами и т.д.).

Обозначения технических средств автоматизации – в соответствии с межгосударственными стандартами:

ГОСТ 21.208-2013 «Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах»;

ГОСТ 21.408-2013 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов».

В соответствии с ГОСТ 21.208 технические средства автоматизации или контуры управления, регулирования и управления обозначаются окружностями (или овалами), квадратами (прямоугольниками) или ромбами (см. рис. 8). Например, прибор, установленный по месту (т.е. не на щите), изображается окружностью (см. рис. 8,а), но допускается изображать его в виде квадрата. Прибор, относящийся к системе противоаварийной защиты (ПАЗ), изображается ромбом с вписанным в него квадратом (см. рис. 8,б) или квадратом с вписанным в него ромбом (см. рис. 8,в). Если прибор установлен на щите, то внутри его обозначения проводится горизонтальная черта (см. рис. 8, г).

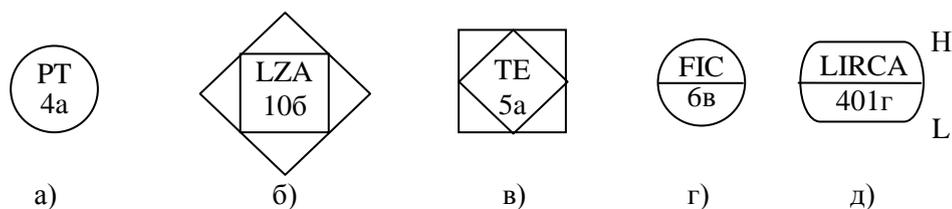


Рис. 8. обозначения технических средства автоматизации

Функциональное обозначение прибора строится из заглавных латинских букв.

Первая буква обозначает контролируемый, сигнализируемый или регулируемый параметр:

A – качество (состав, концентрация и т.д.);

B – наличие пламени, горения;

E – напряжение;

F – расход (flow);

H – ручное воздействие (приборы, предназначенные для ручных операций, независимо от того, в состав какого комплекта они входят);

I – электрический ток;

J – мощность;

K – работа по программе;

L – уровень (level);

P – давление (pressure);

Q – количество (quantity);

R – радиоактивность;

S – скорость, частота (линейная или угловая, speed);

T – температура (temperature);

U – несколько разнородных величин;

V – вибрация (vibration);

W – вес, сила, масса (weight);

X – (не рекомендуется);

Y – событие, состояние;

Z – размер, положение, перемещение.

Вторая буква (необязательная) может уточнять характер измеряемой величины:

D – разность, перепад (например, измерение перепада давлений на фильтре будет обозначено как PDT),

F – соотношение, доля, дробь (например, регулирование соотношения расхода компонентов смеси будет обозначаться как FFC),

J – автоматическое переключение, обегание (например, если на регистраторе отображаются нескольких температур одновременно, он обозначается как TJJ),

Q – суммирование, интегрирование (часто используется для обозначения расходомеров-счетчиков; например, счетчик водопроводной воды будет обозначен как FQI),

S – самосрабатывающее устройство безопасности (например, датчик-сигнализатор уровня в баке будет обозначаться как LS),

Z – принадлежность к системе ПАЗ.

Последующие буквы обозначают функции и функциональные признаки прибора:

A – сигнализация (alarm), бывает световая (сигнал на лампочку) или звуковая (на телефон), причем независимо от того, используется отдельная лампочка или светодиод, встроенный в прибор;

C – регулирование, управление (control);

E – чувствительный элемент (так обозначаются диафрагмы, термометры сопротивления, термопары и другие датчики с неунифицированными выходными сигналами);

G – первичный показывающий прибор (прибор, измеряющий и показывающий измеренное значение непосредственно по месту, например, градусник, смотровое стекло для наблюдения за уровнем жидкости и т.д.);

I – показания (для этого прибор может использовать стрелку со шкалой, цифровой индикатор, дисплей и др.);

K – станция управления (переключение управления с ручного на автоматическое и обратно, управление по программе, коррекция и т.д.),

R – регистрация (т.е. запись полученных значений на бумажную ленту, диск, флэш-память и т.д.);

S – переключение (например, релейное управление); применяется в качестве дополнительного обозначения измеряемой величины F, P, T и указывает на самосрабатывающие устройства безопасности, – предохранительный или отсечной клапан, термореле; символ S не должен использоваться для обозначения устройств, входящих в систему ПАЗ;

T – преобразование (используется для обозначения датчиков с унифицированным выходным сигналом или преобразователей, работающих совместно с чувствительными элементами – см. букву «E»);

X – вспомогательные компьютерные устройства;

Y – вспомогательное устройство (используется для обозначения электропневмопреобразователей для передачи воздействий на регулирующие клапаны, позиционеров).

Кроме перечисленных букв используются также буквы для конкретизации пределов измеряемой величины:

L – сигнализация нижнего предела измеряемой величины;

H – сигнализация верхнего предела измеряемой величины.

Эти буквы могут входить в состав функционального обозначения (например, T1АН – индикация и сигнализация превышения температуры), либо указываться справа от обозначения прибора (см. рис. 8., д).

Теперь можно расшифровать обозначения приборов на рис. 8.:

8, а – PT (P – давление, T – датчик с унифицированным выходным сигналом), например, электрический манометр;

8, б – LZA – датчик-сигнализатор уровня (система ПАЗ);

8, в – ТЕ – термометр с неунифицированным выходным сигналом, например, термопара;

8, г – FIC – индикация и регулирование расхода, например, измеритель-регулятор расхода, установлен на щите;

8, д – LIRCA – индикация, регистрация, регулирование и сигнализация уровня, например, регистратор с соответствующими функциями, установлен на щите.

Размеры обозначений:

- окружности имеют диаметр 10 мм;
- квадраты – 10x10 мм;
- квадрат, в который вписан ромб (см. рис. 8, в) – 15x15 мм;
- овалы (см. рис. 8, д) – высотой 10 мм, длиной до 18 мм;
- прямоугольники – высотой 10 мм, длиной до 25 мм.

Для конкретизации измеряемой величины около изображения прибора (справа от него) можно указывать наименование или символ измеряемой величины, например, «Напряжение», «Ток», рН, O₂ и т. д.

Также справа от обозначения прибора могут быть указаны дополнительные условные обозначения преобразователей сигналов и вычислительных устройств (см. табл. 3).

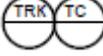
Примеры построения условных обозначения приборов по ГОСТ 21.208 приведены в табл. 4.

Таблица 3

Дополнительные условные обозначения преобразователей сигналов и вычислительных устройств

Наименование	Обозначения
Род энергии сигнала:	
электрический	E
пневматический	P
гидравлический	G
Форма сигнала:	
аналоговый	A
дискретный	D
Операции, выполняемые вычислительным устройством:	
суммирование	Σ
умножение величины сигнала на постоянный коэффициент K	K
перемножение величин двух и более сигналов	\times
деление величин друг на друга	:
возведение величины сигнала f в степень n	f^n
извлечение из величины сигнала корня степени n	$\sqrt[n]{\quad}$
логарифмирование	lg
дифференцирование	dx/dt
интегрирование	\int
изменение знака сигнала	\int
ограничение верхнего значения сигнала	X(-1)
ограничение нижнего значения сигнала	Max
Связь с вычислительным комплексом:	Min
передача сигнала на ЭВМ	
вывод информации с ЭВМ	Bi
	Bo

Примеры построения условных обозначения приборов

Обозначение	Наименование
	Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения температуры, установленный по месту. Датчик без унифицированного выходного сигнала. Например: преобразователь термоэлектрический (термопара) типа «ТХА Метран-201», термопреобразователь сопротивления типа «ТСМ Метран-243», термобаллон манометрического термометра, датчик пирометра и т.п.
	Прибор для измерения температуры показывающий, установленный по месту. Например: термометр ртутный.
	Прибор для измерения температуры показывающий, установленный на щите. К такому прибору необходим датчик. Например: милливольтметр, миллиамперметр, мост автоматический, прибор показывающий типа «КП1Т» и др.
	Прибор для измерения температуры бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Датчик с унифицированным выходным сигналом. Например: термометр термоэлектрический бесшкальный с выходным сигналом 4...20 мА типа «ТХАУ Метран-271».
	Прибор для измерения температуры одноточечный, регистрирующий, установленный на щите. Например: самопишущий милливольтметр, потенциометр, мост автоматический, регистратор типа «Диск-250» и т.п.
	Прибор для измерения температуры с автоматическим обегаяющим устройством, регистрирующий, установленный на щите. Например: многоточечный регистратор типа «Альфалог-100».
	Прибор для измерения температуры регистрирующий, регулирующий, установленный на щите. Например: любой самопишущий регулятор температуры, регистратор с функцией регулирования «Диск-250».
	Комплект для измерения температуры регистрирующий, регулирующий, снабженный станцией управления, установленный на щите. Например: пневматические приборы «ПВ 10.1Э» и «ПР 3.31».
	Первичный прибор контроля температуры в системе ПАЗ
	Измерение температуры. Аналого-цифровой преобразователь, установленный на щите, включенный в контур ПАЗ
	Байпасная панель дистанционного управления, установленная на щите
	Переключатель электрических цепей измерения (управления), переключатель, кнопка, установленная на щите
	Прибор для измерения давления (разрежения) показывающий, установленный по месту. Например: любой показывающий пружинный манометр.
	Прибор для измерения перепада давления показывающий, установленный по месту. Например: дифманометр показывающий.
	Прибор для измерения давления (разрежения) бесшкальный с дистанционной передачей показаний (например, с помощью токового сигнала 4...20 мА), установленный по месту. Например: манометр типа «Метран-22 АС».
	Прибор для измерения давления с контактным устройством, установленный по месту. Например: реле давления типа «РД-80».

Условные обозначения других приборов, используемых на схемах, показаны на рис. 9:

- исполнительный механизм (общее обозначение). Положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала не регламентируется, – рис. 9, а;
- исполнительный механизм, открывающий регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала, – рис. 9, б;
- исполнительный механизм, закрывающий регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала, – рис. 9, в;
- исполнительный механизм, оставляющий регулирующий орган в неизменном положении при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала, - рис. 9, г;
- исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом (обозначение может применяться в сочетании с любым из дополнительных знаков, характеризующих положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала), – рис. 9, д;
- автоматическая защита из системы противоаварийной защиты (ПАЗ, см. рис. 9, е);
- технологическое отключение (включение) из системы управления (см. рис. 9, ж);
- регулирующий орган (задвижка, клапан и т.д.), – рис. 9, и;
- регулирующий клапан, открывающийся при прекращении подачи воздуха (нормально открытый), – рис. 9, к;
- регулирующий клапан, закрывающийся при прекращении подачи воздуха (нормально закрытый), – рис. 9, л;
- управляющий электропневматический клапан, – рис. 9, м;
- отсекающий с приводом (запорный клапан), – рис. 9, н;
- электрозадвижка, – рис. 9, п;
- пневмоотсекатель, – рис. 9, р;
- отборное устройство без постоянно подключенного прибора (служит для эпизодического подключения приборов во время наладки, снятия характеристик и т. п.), – рис. 9, с.

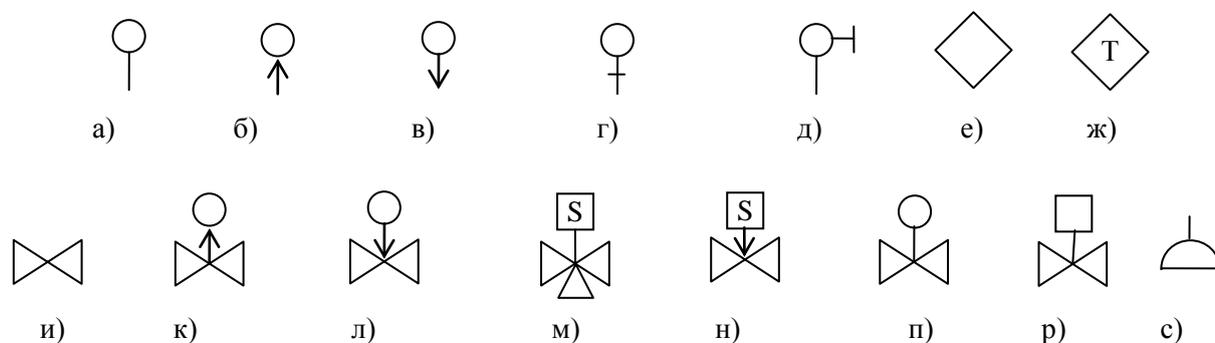


Рис. 9. Условные обозначения приборов

Темы рефератов:

1. Автоматическая защита газоснабжающих систем и их устройств.
2. Системы обнаружения утечек на магистральных нефтепроводах
3. Автоматизация технологических объектов добычи и транспорта газа.
4. Автоматизация технологических объектов добычи и транспорта нефти.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мартыненко Г.Н. Основы автоматизации тепловых процессов: учебное пособие/ Г.Н. Мартыненко, А.В. Исанова, В.И. Лукьяненко - Воронеж, 2015 - 69 с.
2. Основы автоматизации производственных процессов нефтегазового производства: учебное пособие: допущено Учебно-методическим объединением / под ред. М. Ю. Праховой. - 2-е изд., испр. - Москва: Академия, 2014. - 255, [1] с.
3. Кирюшин О.В. Управление техническими: учебное пособие / О. В. Кирюшин. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. – 116 с.
4. Автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа: учеб. пособие для вузов под ред. В.Е. Попадько [Текст] Андреев Е.Б., Ключников А.И., Кротов А.В., Попадько В.Е., Шарова И.Я.. М.: Недра, 2008. - 400 с., 25 п. л. Приоритетные национальные проекты. Образование 978-5-8365-0316-1.
5. Клюев А.С., Таланов В.Д., Демин А.М. Проектирование систем автоматизации/ под ред. А.С. Клюева - М.: «Испо-Сервис», 2002.-148 с.
6. Плетнёв Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов.- М.: МЭИ,2007.- 352 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Основные понятия и определения теории автоматического регулирования.....	3
2. Средства автоматизации и управления.....	7
2.1. Измерения технологических параметров.....	7
2.2. Исполнительные устройства.....	14
2.3. Исполнительные механизмы.....	15
2.4. Регуляторы давления газа.....	16
3. Функциональные схемы автоматизации.....	21
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	28

РЕГУЛИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ СИСТЕМ ТРАНСПОРТА НЕФТИ И ГАЗА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплинам «Нефтегазотранспортные системы как объект
регулирования», «Основы автоматизации
объектов нефтегазового комплекса» для студентов направления
подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
(профиль «Проектирование, строительство и эксплуатация
газонефтепроводов и газонефтехранилищ») всех форм обучения*

Составители:

Долбилова Марина Александровна
Гасанов Зугум Сагидович

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 16.06.2023.

Уч.-изд. л. 1,7.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84