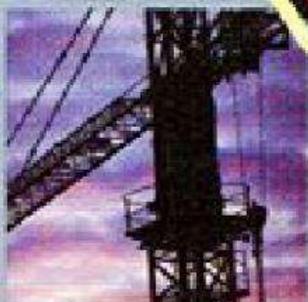
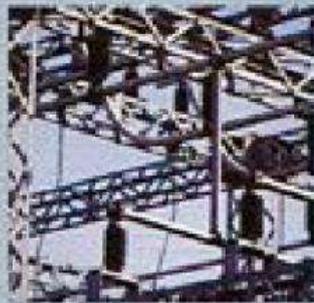


Б.А. СОКОЛОВ

# КОНТРОЛЬНО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И АВТОМАТИКА ГАЗОФИЦИРОВАННЫХ КОТЕЛЬНЫХ



Государственный учебный центр  
«ПРОФЕССИОНАЛ»

КОНТРОЛЬНО-  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ  
ПРИБОРЫ И  
АВТОМАТИКА  
ГАЗИФИЦИРОВАННЫХ  
КОТЕЛЬНЫХ

*Учебное пособие*

**Москва-2001**

# Контрольно-измерительные приборы и автоматика газифицированных котельных

Пособие для подготовки  
операторов газифицированных котельных

Пособие подготовлено преподавателем  
Государственного учебного центра «ПРОФЕССИОНАЛ»;  
канд.техн. наук Соколовым Б.А.

При подготовке пособия учтены замечания и предложения  
преподавателей Центра: Калининой Т.Б. Славина СИ.  
Фельдмана М.А.

ЛР№ 066000 от 14.07.98.

Подписано в печать 20.04.2001. Формат 60x88 1/16. Печать  
офсетная.

Бумага газетная. Печ. л. 6,5. Тираж 1000 экз. Заказ 5523.

ООО «Издательский Дом Синергия».

123423, Москва, ул. Демьяна Бедного, д. 23, корп. 1.

Отпечатано в Производственно-издательском комбинате ВИНТИ,  
140010, г. Люберцы Московской обл., Октябрьский пр-т, 403.  
Тел.554-21-26

© Государственный учебный центр «ПРОФЕССИОНАЛ», Москва, 2001 г.

## содержание

Введение .....	5
<b>Часть I. Контрольно-измерительные приборы.....</b>	<b>7</b>
1. Общие сведения. Виды измерений. Погрешность измерения. Класс точности прибора .....	7
2. Приборы для измерения температуры.....	9
2.1. Термометры расширения .....	9
2.2. Манометрические термометры .....	12
2.3. Контактные манометрические термометры .....	14
2.4. Термометры сопротивления. Логометры .....	15
2.5. Термоэлектрические пирометры. Милливольтметры, потенциометры.....	19
2.6. Оптические и радиационные пирометры .....	25
3. Приборы для измерения давления.....	29
3.1. Давление и его виды, единицы измерения.....	29
3.2. Жидкостные стеклянные манометры .....	30
3.3. Тягомеры и напоромеры .....	32
3.3.1. Жидкостные стеклянные тягонапоромеры .....	33
3.3.2. Мембранные тягонапоромеры .....	35
3.4. Пружинные манометры .....	37
3.5. Сильфонные манометры и вакуумметры .....	39
3.6. Электроконтактные манометры .....	40
3.7. Манометры электрические дистанционные.....	41
3.8. Дифференциальные манометры .....	42
3.8.1. Поплавковые дифманометры .....	43
3.8.2. Колокольные дифманометры .....	43
3.8.3. Мембранные дифманометры.....	44
4. Приборы для измерения количества и расхода вещества .....	46
4.1. Расход вещества и методы его измерения .....	46
4.2. Дроссельные расходомеры .....	47
4.3. Объемные счетчики для газа .....	50
4.4. Турбинные (скоростные) счетчики .....	52
5. Приборы для измерения уровня воды в барабане котла .....	52
6. Приборы для измерения состава газов.....	54
6.1. Переносные химические газоанализаторы.....	54
6.2. Автоматические газоанализаторы.....	56

<b>Часть II. Автоматика газифицированных котлов .....</b>	<b>60</b>
1. Функции, выполняемые автоматикой.....	60
2. Схемы регулирования основных параметров котельного агрегата.....	61
3. Принципиальная схема автоматики безопасности котельного агрегата.....	63
4. Первичные приборы (датчики) системы автоматического регулирования котлов .....	65
5. Первичные приборы (датчики) автоматики безопасности....	68
6. Запально-защитное устройство (ЗЗУ).....	69
7. Автоматика «Контур» .....	71
7.1. Автоматика регулирования .....	72
7.2. Автоматика безопасности .....	74
7.3 Пуск и останов котла с автоматикой "Контур".....	76
8. Автоматика АМК-У .....	78
8.1. Функции автоматики АМК-У .....	78
8.2. Основные элементы системы автоматики.....	80
8.3. Автоматика регулирования .....	83
8.4. Автоматика безопасности .....	86
8.5. Полуавтоматический пуск котельного агрегата.....	87
8.6. Останов котельного агрегата.....	88
9. Комплект средств управления (КСУ).....	89
9.1. Комплект средств управления КСУ-1-Г .....	89
9.2. Автоматика регулирования .....	92
9.3. Автоматика безопасности .....	92
9.4. Пуск и останов котла.....	93
10. Комплект средств управления КСУ-2П.....	95
10.1.Автоматика регулирования КСУ-2П.....	95
10.2.Автоматика безопасности.....	96
10.3.Пуск и останов котла с автоматикой КСУ-2П-1Г.....	98
<i>Список использованной литературы .....</i>	<i>100</i>
<i>Контрольные вопросы .....</i>	<i>100</i>
<i>Приложение.....</i>	<i>102</i>

## **Введение**

Автоматизация котельных агрегатов в настоящее время приобретает особое значение в обеспечении надежной, безопасной и экономичной эксплуатации.

Современные отопительные, отопительно-производственные и производственные котельные относятся к достаточно сложным видам инженерного оборудования, на которых занято большое количество персонала. В настоящее время невозможно представить себе работу подобного оборудования вне рамок комплексной автоматизации, если не преследуется цель обеспечить качество, надежность и высокую эффективность эксплуатации котельных.

Для большинства котельных в настоящее время характерной является комплексная автоматизация, при которой ведение всех технологических процессов возлагается на автоматические регуляторы и системы защит, а наблюдение за режимом работы котельного агрегата, вспомогательного оборудования, а также исправностью регуляторов поручается постоянному обслуживающему персоналу.

В связи с этим в программе подготовки операторов газовых котельных значительное место уделяется вопросам измерения основных параметров работы котельного оборудования, а также различным системам автоматического регулирования.

Следует заметить, что в настоящее время большое количество котельных оборудованы весьма устаревшими системами автоматического регулирования, такими как АГК-2, АПВ (пневматические системы), ПМА (пневмомеханическая система), "Кристалл" (электронно-гидравлическая система), АГОК и АМКО (электрические системы), АМК-У и т.д.. Более современными системами регулирования являются КСУ и "Контур", описание которых приводится в пособии.

При изучении курса "Контрольно-измерительные приборы и автоматика газифицированных котельных" учащиеся ГУЦ "Профессионал" активно используют специализированный класс, в котором имеются

---

стенды с контрольно-измерительными приборами, датчиками системы регулирования и безопасности, электрическими исполнительными механизмами, регулирующими органами, регуляторами.

В классе установлен макет парового котла, оборудованный системами автоматического регулирования и безопасности. На щите управления, установлены 4 регулятора РС 29.1 (газа, воздуха, тяги, уровня воды в барабане), тумблеры блокировок, ряд контрольно-измерительных приборов. Инструкция по эксплуатации макета парового котла приведена в Приложении.

Данное пособие подготовлено преимущественно для операторов газовых котельных. Вместе с тем оно может быть использовано также для операторов газовых печей хлебопекарной промышленности и других отраслей, например машиностроения, ответственных за газовое хозяйство инженерно-технических работников, слесарей-ремонтников, обслуживающих газопотребляющее оборудование, слесарей КИП.

Вопросы, предназначенные для более углубленного изучения, отмечены в тексте пегитом.

В процессе подготовки пособия автор пользовался плодотворными обсуждениями материала с преподавателями Центра: Калининой Т.В., Славиным СИ., Фельдманом М.А., чьи ценные замечания и предложения были учтены, и за что автор выражает им глубокую признательность.

# Часть I. Контрольно-измерительные приборы

## 1. Общие сведения. Виды измерений.

### Погрешность измерения. Класс точности прибора

В процессе работы котельных агрегатов, печей и других топливоиспользующих установок требуется выполнение различных видов измерений, таких как:

- температура;
- давление;
- расход;
- уровень воды в барабане или какой-либо другой емкости;
- состав газов и т.д.

Для измерения перечисленных параметров применяются различные приборы, основанные на использовании тех или иных физических или химических свойств веществ.

Измерение физических величин не может быть произведено абсолютно точно из-за несовершенства измерительных приборов, методов измерений, индивидуальных свойств наблюдателя и ряда случайных причин. Численные значения ошибок, возникающих при этом, называются погрешностями измерения.

При каждом измерении должна быть известна степень точности результата, оцениваемая погрешностью измерения, которая может быть выражена в виде абсолютной или относительной величины.

Абсолютная погрешность представляет собой разность между показанием прибора и действительным значением измеряемой величины.

Относительная погрешность есть отношение абсолютной погрешности к действительному значению, выраженная в процентах.

Погрешность измерения, зависящая от свойств и состояния измерительного прибора при нормальных условиях его работы, называется основной (инструментальной) погрешностью, а все остальные - дополнительными погрешностями.

---

---

Каждый, даже новый прибор, обладает основной погрешностью измерения, величина которой зависит от его назначения, устройства и качества изготовления. С течением времени основная погрешность прибора обычно возрастает за счет появления остаточных деформаций пружин, износа трущихся частей, загрязнения или повреждения измерительного механизма и пр. Вследствие этих причин требуется периодический контроль работы прибора и его ремонт.

Дополнительные погрешности возникают из-за неправильной установки прибора, влияния вибрации, температуры, влажности и т.п.

Для всех приборов в зависимости от их назначения, качества и предела измерений нормами устанавливаются допустимые основные погрешности, которые характеризуют наибольшее возможное (предельное) отклонение показаний прибора от действительного значения в обе стороны.

Если при проверке прибора основная погрешность в любой точке его шкалы или в рабочей ее части не превышает допустимой, то прибор признается годным к применению. В противном случае он должен быть подвергнут ремонту или переградуировке.

Приведенная основная погрешность прибора  $\delta$ , определяемая в зависимости от абсолютной основной погрешности  $a$ , выражается в процентах диапазона шкалы по равенству:

$$\delta = \pm a / (A_v - A_n) \cdot 100\%,$$

где  $A_v$  и  $A_n$  - верхнее и нижнее предельные значения шкалы прибора.

По величине приведенной основной погрешности приборы разделяются на различные классы точности, условное обозначение которых соответствует размеру основной погрешности. Так, например, приборы, основные погрешности которых равны  $\pm 0,6$  и  $\pm 1,6\%$ , относят соответственно к классам точности 0,6 и 1,6.

Согласно существующим нормам теплотехнические измерительные приборы делятся на следующие классы точности: 0,06; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1; 1,6; 2,5 и 4. Класс точности обычно указывается на шкале прибора.

---

---

## **2. Приборы для измерения температуры**

Температура является мерой теплового состояния или степенью нагретости вещества. Тепловое состояние тела характеризуется скоростью движения его молекул или средней внутренней энергией тела. Чем выше температура, тем больше скорость движения молекул.

Температура тела увеличивается или уменьшается в зависимости от того, получает или отдает это тело тепло.

Измерить температуру какого-либо тела непосредственно, т.е. так, как измеряют другие физические величины, например длину, вес, объем, не представляется возможным, т.к. в природе не существует эталона или образца единицы этой величины. Определение температуры вещества производят посредством наблюдения за измерением физических свойств другого, так называемого термометрического вещества, которое при соприкосновении с нагретым телом вступает с ним через некоторое время в тепловое равновесие.

Такой метод не дает абсолютное значение температуры нагретой среды, а лишь разность температур относительно исходной температуры термометрического вещества, условно принятой за нуль.

При изменении вследствие нагрева внутренней энергии вещества меняются практически все его физические свойства, но для измерения температуры выбираются те из них, которые однозначно меняются с изменением температуры, не подвержены влиянию других факторов и сравнительно легко поддаются точному измерению. Этим требованиям наиболее полно соответствуют такие свойства рабочих веществ, как объемное расширение, изменение давления в замкнутом объеме, изменение электрического сопротивления, возникновение термоэлектродвижущей силы и интенсивность излучения, положенные в основу устройства приборов для измерения температуры.

### **2.1. Термометры расширения**

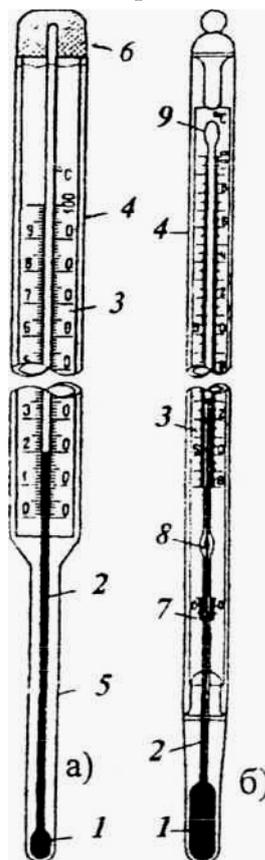
Термометры расширения основаны на свойстве тел изменять под действием температуры объем, а следовательно, и линейные размеры.

В жидкостных стеклянных термометрах, построенных на принципе теплового расширения жидкости в стеклянном резервуаре, в

---

качестве рабочих веществ применяют ртуть и органические жидкости - этиловый спирт, толуол, пентан и др.

Наиболее широкое распространение получили ртутные стеклянные термометры, имеющие по сравнению с термометрами, заполненными органическими жидкостями, существенное преимущество - более широкий диапазон измерения температуры, при которой ртуть остается жидкой. При нормальном атмосферном давлении ртуть находится в жидком состоянии при температурах от  $-39^{\circ}\text{C}$  (точка замерзания) до  $357^{\circ}\text{C}$  (точка кипения).



Стеклянные термометры с органическими заполнителями пригодны для измерения температур в пределах от  $-190^{\circ}\text{C}$  до  $100^{\circ}\text{C}$ .

Верхний предел измерения ртутных термометров, ограничиваемый температурой размягчения стеклянной оболочки термометра, достигается при помощи искусственного повышения точки кипения ртути. С этой целью у термометров для измерения высоких температур до  $500^{\circ}\text{C}$  и выше, пространство капилляра над ртутью заполняется инертным газом (азотом) при давлении свыше  $20 \text{ кгс/см}^2$ .

Рис. 1. Типы ртутных термометров.

а) - технический; б) - лабораторный с безнулевой шкалой.

1 - резервуар; 2 - капилляр; 3 - шкала;  
4 - оболочка; 5 - нижняя часть; 6 - пробка, залитая гипсом; 7 - дополнительная шкала;  
8 и 9 - расширения капилляра.

Ртутные стеклянные термометры изготавливаются двух видов (рис. 1): со вложенной шкалой и палочные. Термометр со вложенной шкалой имеет заполненный

---

ртутью резервуар 1, капиллярную трубку 2, пластинку 3 из молочного стекла с нанесенной на ней шкалой и наружную цилиндрическую оболочку 4, в которой укреплены капилляр и пластинка со шкалой.

Палочный термометр состоит из резервуара 1, соединенного с толстостенным капилляром 2, имеющим наружный диаметр 6-8 мм. Шкала термометра нанесена непосредственно на наружной поверхности капилляра в виде насечки по стеклу.

По назначению ртутные термометры разделяются на технические, лабораторные и образцовые.

Технические термометры типа ТТ изготавливаются со вложенной шкалой и для удобства установки имеют тонкую прямую или изогнутую под углом 90, 120 или 135° нижнюю (хвостовую) часть с резервуаром на конце, целиком погружаемую в измеряемую среду. Нижняя часть технических термометров выполняется длиной от 60 до 2000 мм. Оболочка термометра, в которой заключена шкала, имеет длину 110, 160 или 220 мм и диаметр 18 мм.

Точность показаний ртутного термометра, как и любого измерительного прибора, измеряющего температуру, зависит от способа его установки. Неправильная установка прибора, дающая большую утечку тепла в окружающую среду, может привести к занижению его показаний на 10 - 15%.

Применяются два способа установки ртутных термометров: в защитных гильзах и без них, т.е. путем непосредственного погружения термометров в измеряемую среду.

Наиболее распространенным способом является установка термометра в защитной гильзе (рис. 2), предохраняющей его от поломки. Длина защитной гильзы выбирается в зависимости от требуемой глубины погружения термометра. Для улучшения теплопередачи от внутренней поверхности гильзы к резервуару термометра образующийся в гильзе кольцевой зазор между резервуаром и ее стенкой заполняется при измерении температур до 150°С машинным маслом, а при более высокой температуре - медными опилками. Заполнение гильзы маслом или опилками производится так, чтобы в эту среду был погружен только резервуар термометра.

Периодическая проверка ртутных термометров производится путем сравнения их показаний с показаниями образцовых термометров. При проверке используются термостаты с электрообогревом, заполняемые дистиллированной водой (до 99°С), минеральным маслом (до 200°С) или селитрой (до 550°С).

---

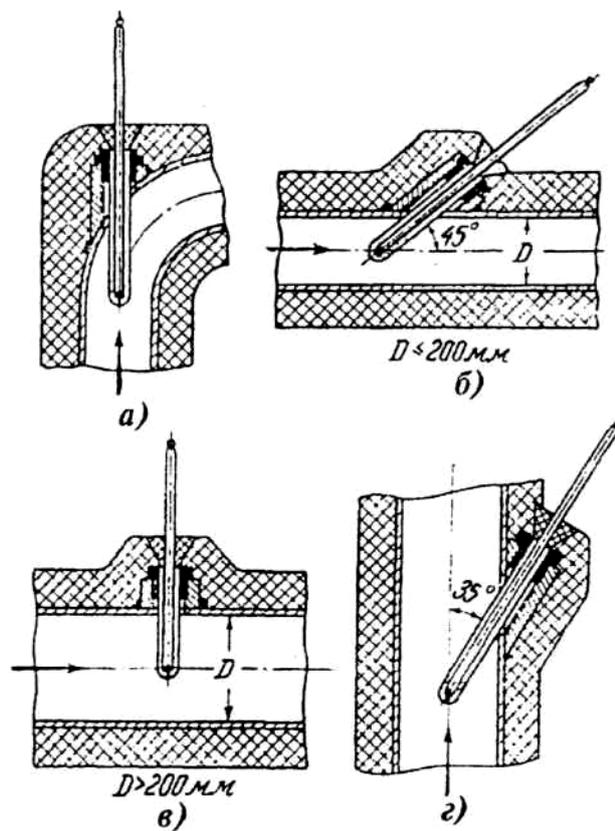


Рис. 2. Установка ртутных термометров в защитных гильзах.

а) - вдоль оси трубопровода; б) - наклонно к оси горизонтального трубопровода; в) - нормально к оси горизонтального трубопровода; г) - на вертикальном трубопроводе.

## 2.2. Манометрические термометры

Действие манометрических термометров основано на изменении давления жидкостей, газа или пара в замкнутом объеме в зависимости от температуры. Указанные термометры являются техническими показывающими или самопишущими приборами и предна-

---

значаются для измерения температуры в пределах от  $-150^{\circ}\text{C}$  до  $600^{\circ}\text{C}$ . Класс точности их  $1\div 2,5$ .

Схема манометрического термометра показана на рис. 3. Замкнутая система прибора, заполненная рабочим веществом, состоит из термобаллона 1, погружаемого в исследуемую среду, трубчатой (манометрической) пружины 2, воздействующей посредством тяги 3 на стрелку или перо прибора, и капиллярной трубки 4, соединяющей пружину с термобаллоном.

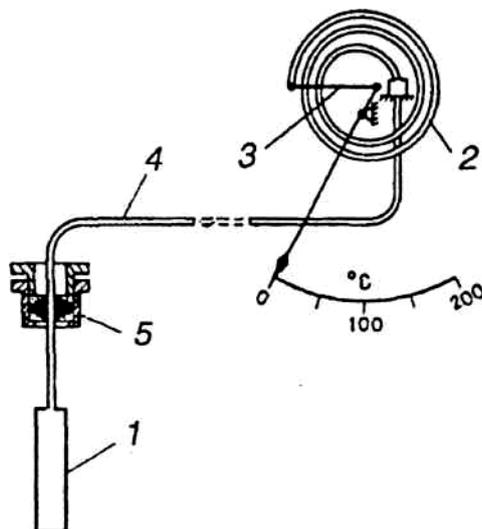


Рис. 3. Схема манометрического термометра.

- 1 - термобаллон; 2 – трубчатая манометрическая пружина; 3 - тяга; 4 - капиллярная трубка;
- 5 - штуцер с сальниковым уплотнением.

Термобаллон выполняется из стальной или латунной трубки, закрытой с одного конца, а с другого соединенной с капилляром. Посредством съемного штуцера 5 с сальниковым уплотнением и резьбой термобаллон устанавливается в трубопроводах, баках и т.п.

При нагреве термобаллона увеличение в нем давления рабочего вещества передается через капилляр трубчатой пружине и вызывает ее перемещение. Соединительный капилляр изготавливается из

---

---

медной или стальной трубки с внутренним диаметром 0,2 - 0,4 мм и толщиной стенки 0,5 - 2 мм. Снаружи капилляр защищен металлической оплеткой. Длина капилляра достигает 60 м.

Газовые манометрические термометры заполняются азотом. Газовые термометры изготавливаются с длиной капилляра 4, 10, 16, 25 и 40 м. Длина термобаллона зависит от длины капилляра и равняется соответственно 210, 310, 360 и 410 мм. Наружный диаметр термобаллона 22 мм.

Для заполнения жидкостных манометрических термометров применяется ртуть, ксилол, толуол при начальном давлении 15-20 кгс/см<sup>2</sup>.

В парожидкостных манометрических термометрах рабочим веществом служат низкокипящие органические жидкости: хлористый метил, ацетон, бензол и др. Термобаллон парожидкостных манометрических термометров на 2/3 объема залит рабочей жидкостью, или другой нерастворяющейся в ней жидкостью с более высокой температурой кипения (например, смесью глицерина, воды и спирта), служащей для передачи давления от термобаллона к трубчатой пружине.

При установке манометрического термометра в трубопроводах термобаллон помещается в середину потока, т.е. в зону наибольшей скорости среды. Термобаллон газовых и жидкостных термометров может занимать любое положение, а парожидкостных - вертикальное (капилляром вверх) или слегка наклонное. При измерении температуры среды, находящейся под большим давлением или агрессивной, термобаллон устанавливается в защитной гильзе, заполненной маслом или медными опилками.

Манометрические термометры поверяются на рабочем месте или в лаборатории. Поверка приборов в лаборатории производится в термостатах с электрообогревом, а на рабочем месте - при помощи сосудов с нагретой и холодной жидкостью (водой или маслом), смешиваемых до получения нужных температур.

### ***2.3. Контактные манометрические термометры***

Для измерения и сигнализации температуры используются показывающие приборы с электроконтактными устройствами типа ЭКТ.

Прибор имеет корпус и соединительный капилляр длиной 1,6 – 10 м.

Двухпозиционное сигнальное устройство термометра состоит из двух изолированных друг от друга и от стрелки предельных контактов, устанавливаемых вручную на любые деления шкалы прибора. Класс точности электроконтактного манометрического термометра 2,5.

---

---

## **2.4. Термометры сопротивления. Логометры**

Для измерения температуры широкое применение получили термометры сопротивления, основанные на изменении электрического сопротивления металлических проводников в зависимости от температуры. Металлы, как известно, увеличивают при нагреве свое сопротивление. Следовательно, располагая зависимостью сопротивления проводника от температуры и определяя это сопротивление при помощи электроизмерительного прибора, можно судить о величине температуры проводника.

Термометры сопротивления применяются для измерения температуры в диапазоне от  $-260^{\circ}\text{C}$  до  $750^{\circ}\text{C}$  (в отдельных случаях до  $1000^{\circ}\text{C}$ ).

Достоинствами термометров сопротивления являются: высокая точность измерения, легкость осуществления автоматической записи и дистанционной передачи показаний, возможность присоединения к одному вторичному прибору при помощи переключателя нескольких однотипных термометров.

Термометр сопротивления выполняется из тонкой металлической проволоки, намотанной на каркас из электроизоляционного материала (слюды, кварца, пластмассы) и помещенной в металлический защитный чехол с головкой для подключения соединительных проводов.

В качестве вторичных приборов, работающих с термометрами сопротивления, применяются уравновешенные и неуравновешенные измерительные мосты и логометры.

Стандартные технические термометры сопротивления имеют следующие условные обозначения: платиновые - ТСП, медные - ТСМ.

Устройство платинового термометра сопротивления приведено на рис. 4. На каркасе из слюдяной пластинки 1, имеющей по бокам зубчатую насечку, намотана платиновая проволока 2 диаметром 0,07 мм и длиной около 2 м. К концам платиновой обмотки припаяны два вывода из серебряной проволоки диаметром 1 мм, присоединенные к латунным зажимам в головке термометра 11. Слюдяная пластинка с обмоткой изолирована с двух сторон более широкими слюдяными накладками 4 и связана с ними в общий пакет серебряной лентой 5.

---

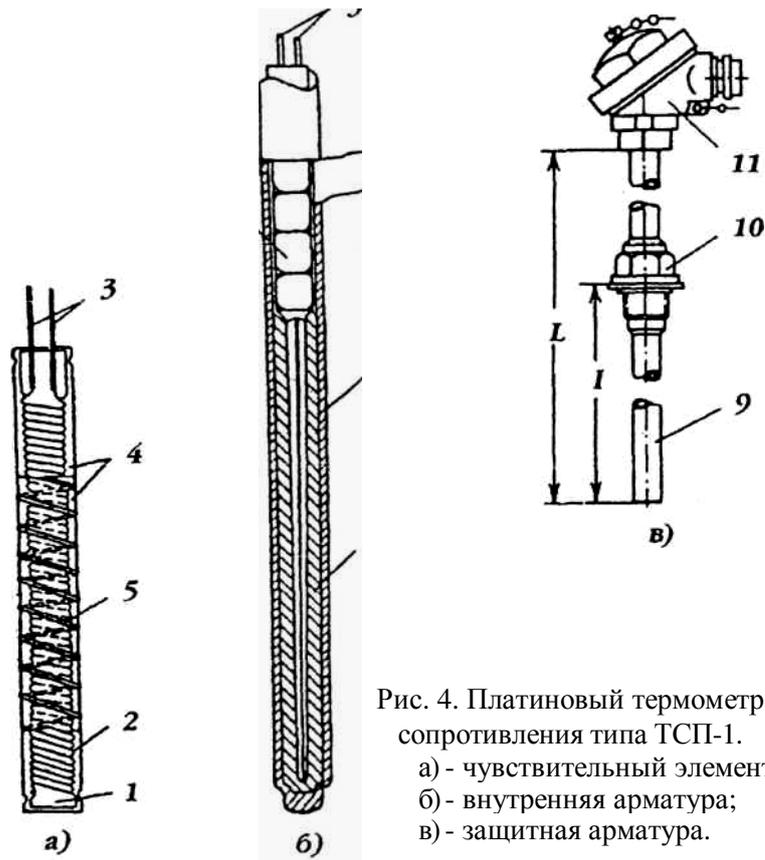


Рис. 4. Платиновый термометр сопротивления типа ТСП-1.  
 а) - чувствительный элемент;  
 б) - внутренняя арматура;  
 в) - защитная арматура.

Устроенный таким образом чувствительный элемент термометра вставлен в плоский алюминиевый вкладыш и вместе с ним заключен в трубчатую оболочку 7 из алюминия. Серебряные выводы изолированы фарфоровыми бусами 8. Оболочка с чувствительным элементом помещена в стальной защитный чехол 9 с приваренным к нему штуцером 10, предназначенным для установки термометра в трубопроводах и резервуарах. В верхней части защитного чехла закреплена алюминиевая головка 11, внутри которой помещен бакелитовый вкладыш с двумя зажимами для присоединения внешних соединительных проводов.

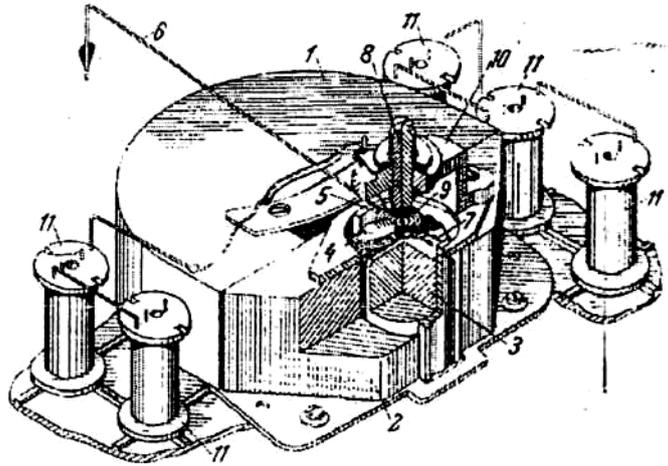


Рис. 5. Измерительный механизм логометра типа ЛПр-53.

- 1 - постоянный магнит; 2 - полюсный наконечник; 3 - сердечник;  
 4 - рамки; 5 - спиральный волосок; 6 - стрелка; 7 - противовес  
 для уравновешивания подвижной части; 8 - винт с агатовым  
 подпятником; 9 - kern; 10 - обойма с мостиком;  
 11 - резистор (катушка).

Одним из распространенных вторичных технических приборов, работающих в комплекте с термометром сопротивления, является логометр магнитоэлектрической системы (рис. 5). Подвижная часть его, состоящая из двух жестко связанных и скрещенных под небольшим углом рамок (обмоток), поворачивается около вертикальной оси в неравномерном магнитном поле постоянного магнита.

Принцип действия логометра заключается в измерении отношения токов  $I_1$  и  $I_2$ , протекающих в двух параллельных электрических цепях, питаемых от постороннего источника постоянного тока, в каждую из которых включена соответствующая рамка прибора.

На рис. 6 показана схема логометра с термометром сопротивления  $R_t$  и источником питания Б. Между полюсными наконечниками постоянного магнита, имеющими овальную выточку, расположен стальной цилиндрический сердечник, образующий с ними переменный по ширине воздушный зазор, постепенно уменьшающий магнитную индукцию от середины наконечников к их краям. В зазорах перемещаются одинаковые скрещенные рамки  $R'_p$  и  $R''_p$  из тонкого медного изолированного провода, жестко скрепленного между собой и со стрелкой прибора.

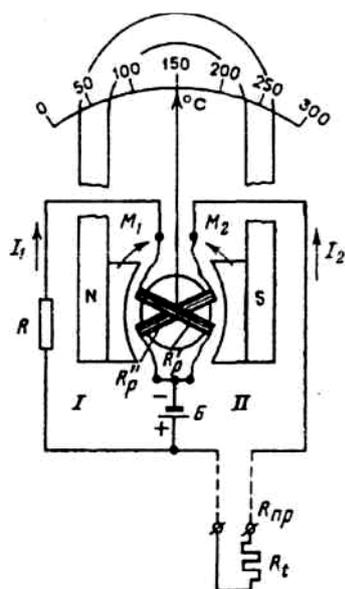


Рис. 6. Принципиальная схема логометра.

Измерительная схема логометра состоит из двух цепей I и II, питаемых от общего источника тока Б. В цепь I включены рамка  $R'_p$  и постоянный резистор R, а в

цепь II - рамка  $R''_p$ , термометр сопротивления  $R_t$  и соединительные провода  $R_{np}$ . Через рамки

логометра  $R'_p$  и  $R''_p$  протекают токи  $I_1$  и  $I_2$  по величине обратно пропорциональные сопротивлениям цепей I и II, образующие свои магнитные поля. Взаимодействие последних с полем постоянного магнита создает вращающие моменты  $M_1$  и  $M_2$ , действующие на скрещенные рамки в противоположных направлениях.

При увеличении с повышением измеряемой температуры сопротивления термометра  $R_t$  ток  $I_2$  в цепи II уменьшится и момент  $M_1$  станет больше, чем  $M_2$ . В результате этого подвижная часть логометра начнет поворачиваться в сторону большего момента (на данной схеме - по часовой стрелке) до тех пор, пока не наступит состояние равновесия, которое возникает благодаря тому.

что рамка  $R'_p$  с большей силой тока входит в расширяющуюся часть воздушного зазора, т.е. в область более слабого магнитного поля, вызывая тем самым постепенное уменьшение момента  $M_1$ . Одновременно с этим рамка  $R''_p$  с меньшей силой тока, наоборот, входит в суживающуюся часть воздушного зазора, т.е. в более сильное магнитное поле, что ведет к увеличению момента  $M_2$ .

Равновесие подвижной части прибора наступит в положении, при котором вращающиеся моменты рамок сравняются. В этом случае  $M_1 = M_2$ .

Ток к рамкам логометра подводится с помощью трех очень тонких спиральных волосков, создающих ничтожный противодействующий упругий момент при повороте подвижной части.

Выпускаются логометры с профильной шкалой: показывающий типа ЛПр-53 и показывающий самопишущий ЛСЦПр-00-18.

Проверка технических термометров сопротивления производится при температурах  $0^\circ\text{C}$  в термостате плавления льда и  $100^\circ\text{C}$  в термостате кипения воды с элект-

трообогревом. Измерение сопротивления в процессе их проверки производится обычно компенсационным методом при помощи потенциометра.

Проверка вторичных измерительных приборов - автоматических уравновешенных мостов и логометров - производится с помощью образцового моста или магазина сопротивлений.

## **2.5. Термоэлектрические пирометры. Милливольтметры, потенциометры**

Действие термоэлектрических пирометров заключается в том, что в замкнутом контуре, состоящем из двух разнородных проводников, образующих так называемую термопару, непрерывно течет электрический ток, если места спаев этих проводников имеют различную температуру.

Термоэлектрический пирометр (рис.7) состоит из термопары и подключенного к ней соединительными проводами вторичного электроизмерительного прибора (ЭП).

; Величина термоэлектродвижущей силы (т.э.д.с), развиваемой термопарой, зависит от материала термоэлектродов, а также от температуры рабочего и свободных концов термопары.

В качестве термоэлектродных материалов для изготовления термопар применяются главным образом металлические сплавы и иногда чистые металлы. К ним предъявляются следующие требования:

1. Обеспечение при измерениях сравнительно больших т.э.д.с;
2. Постоянство термоэлектрических свойств независимо от изменения со временем внутренней структуры и загрязнения поверхности;
3. Устойчивость против действия высоких температур, окисления;
4. Хорошая электропроводность и небольшой температурный коэффициент электропроводности;
5. Однозначная и по возможности линейная зависимость т.э.д.с. от температуры;

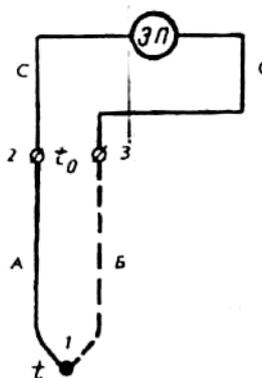


Рис. 7. Схема термоэлектрического пирометра.

---

6. Однородность и постоянство состава материала электродов для обеспечения взаимозаменяемости термопар.

Наибольшее распространение для промышленных термопар получили материалы: хромель, алюмель, копель, платинородий, платина.

В таблице приведены некоторые характеристики наиболее распространенных термопар.

Наименование термопары	Тип	Градуировка	Пределы измерения температур при длительном измерении, °С
Платинородий-платиновая (10% родия)	ТПП	ПП-1	-20- 1300
Платинородиевая (30% и 6% родия)	ТПР	ПР-30/6	300-1600
Хромель-алюмелевая	ТХА	ХА	-50-1000
Хромель-копелевая	ТХК	ХК	-50-600

Термопары из драгоценных металлов и сплавов ТПП и ТПР применяются главным образом для измерения высокой температуры (выше 1000°С), так как они обладают большой термостойкостью. Они хорошо противостоят действию окислительной среды, но зато быстро разрушаются и теряют свои свойства в восстановительной атмосфере (в среде водорода и окиси углерода). При промышленных измерениях электроды этих термопар тщательно изолируют от непосредственного соприкосновения с окружающей средой.

Термопары ТХК и ТХА применяют для измерения сравнительно невысокой температуры (до 600 °С и 1000°С соответственно). Эти термопары развивают значительные т.э.д.с, что является большим их достоинством.

Термоэлектроды термопар из драгоценных металлов изготавливаются обычно из проволоки диаметром 0,5 мм, а из недорогих металлов - диаметром 1,2 - 3,2 мм.

---

Рабочий конец термопары из тонких термоэлектродов образуется сваркой двух электродов (рис. 8), а из толстой - их скруткой и сваркой. Иногда для улучшения условий теплопередачи рабочий конец термопары из недорогих металлов приваривается ко дну защитного металлического чехла.

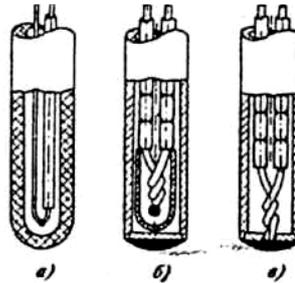


Рис. 8. Рабочие концы термопар.

- а) и б) - термоэлектроды, соединенные сваркой;
- в) - термоэлектроды, приваренные ко дну защитного чехла.

Термоэлектроды термопары от спая до зажимов тщательно изолируются. В качестве изоляции применяются одно- и двухканальные фарфоровые трубки или бусы, надеваемые на термоэлектроды.

Общий вид термопары приведен на рис. 9. Термопара имеет стальной защитный чехол 1, на который насажен подвижный фланец 2 со стопорным винтом, служащим для ее закрепления. Рабочий конец термопары 3 помещен в фарфоровый стаканчик 4. Оба термоэлектрода изолированы по длине фарфоровыми бусами 5. Головка состоит из литого корпуса 6 крышки 7 и сальника 8 с уплотнением для вывода проводов. Внутри головки расположена колодка 10 с двумя зажимами 11, несущими на себе две пары

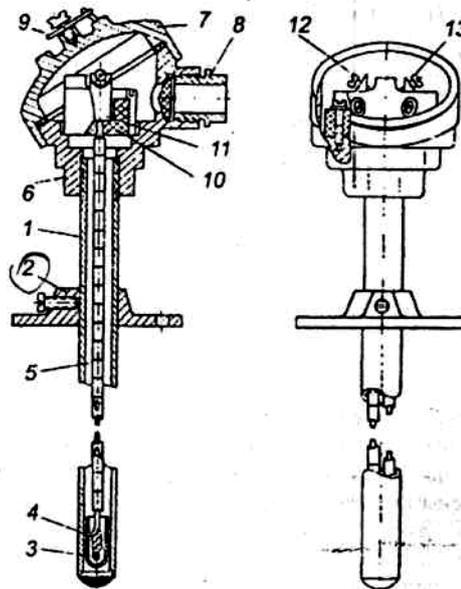


Рис. 9. Общий вид термопары.

---

винтов 12 и 13 для закрепления термоэлектродов и соединительных проводов.

В качестве электроизмерительных приборов в термоэлектрических пирометрах применяются пирометрические милливольтметры и потенциометры.

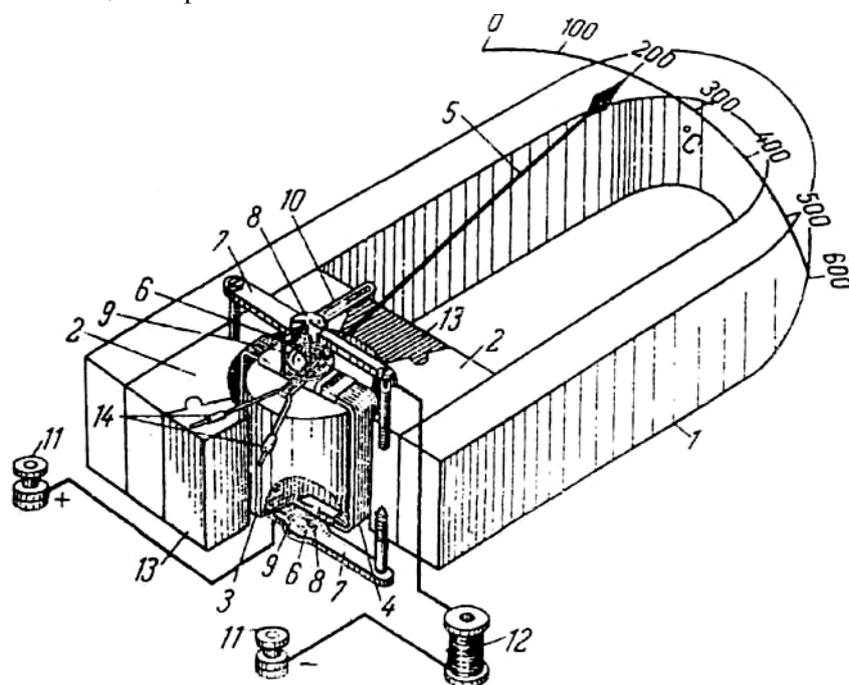


Рис. 10. Устройство пирометрического милливольтметра.

Устройство пирометрического милливольтметра показано на рис. 10. Подковообразный постоянный магнит 1 из высоколегированной стали, снабжен полюсными наконечниками 2, между которыми неподвижно укреплен цилиндрический сердечник 3. В кольцевом воздушном зазоре шириной около 2 мм, образованном полюсными наконечниками и сердечником, расположены две боковые стороны прямоугольной подвижной рамки 4, состоящей из 100 - 300 последовательных витков изолированной медной проволоки. Рамка, жестко скрепленная со стрелкой 5, образует подвижную часть прибора, которая может поворачиваться вокруг оси сердечника благодаря расположенным на торцевых сторонах рамки двум стальным кернам 6, опирающимся на укрепленные в стойке 7 агатовые подпятники 8. Около опорных

---

---

кernов расположены две плоские спиральные пружинки 9 из фосфористой бронзы, внутренние концы которых прикреплены к рамке, а наружные: у верхней пружинки - к оси рычага 10 и у нижней - к штифту неподвижной стойки. С этими же пружинками соединены оба конца обмотки рамки и два зажима 11, служащие для включения прибора в цепь термопары. Последовательно с рамкой включен добавочный резистор 12. В свободное пространство между полюсными наконечниками помещены немагнитные вкладыши 13. Стрелка прибора, выполненная из тонкой алюминиевой трубки, уравнивается двумя передвижными противовесами 14, сидящими на двух балансировочных усиках с нарезкой. Благодаря противовесам центр тяжести подвижной части располагается на оси сердечника (рамки).

При включении милливольтметра в цепь термопары через рамку, резистор и спиральные пружинки протекает ток, вызывающий появление вращающего момента, приводящего к повороту рамки и стрелки вокруг оси сердечника. Одновременно с перемещением рамки происходит закручивание спиральных пружин, создающих противодействующий момент. Угол поворота рамки (стрелки) прибора, равный углу закручивания пружин, зависит от силы тока, которая в свою очередь зависит от термо - э. д. с. термопары.

Измерение температуры термоэлектрическим пирометром, у которого вторичным прибором является милливольтметр не обеспечивает достаточно высокой точности (класс точности такого прибора 1,6-2,5) из-за влияния колебаний температуры окружающего воздуха на сопротивление милливольтметра и внешней термоэлектрической цепи, по которым постоянно течет измеряемый ток, созданный термоэлектродвижущей силой термопары.

Это влияние отсутствует при измерении т. э. д. с. компенсационным (нулевым) методом с помощью потенциометра.

Принцип действия потенциометра заключается в том, что развиваемая термопарой э. д. с. уравнивается (компенсируется) равным ей по величине, но обратным по знаку напряжением от вспомогательного источника, которое затем измеряется с большой точностью, благодаря тому, что во время этого измерения во всей скомпенсированной цепи термопары ток равен нулю, и колебания температуры внешних элементов этой цепи становятся несущественными.

На рис. 11 показана принципиальная схема потенциометра с термопарой. Прибор состоит из трех смежных электрических контуров.

Контур I образует измерительную цепь, в которую включены источник питания постоянного тока Б, регулировочный резистор (реостат) R, установочный резистор R<sub>у</sub>, измерительный резистор (реохорд) R<sub>о</sub> и кнопка К. Контур II представляет собой цепь нормального элемента НЭ, а контур III - цепь термопары Т.

Нормальный гальванический элемент НЭ развивает при температуре 20°C строго постоянную Э.Д.С., равную 1,0186 В и обладает весьма небольшим температурным коэффициентом. Установочный резистор R<sub>у</sub> изготавливается из манганина и имеет постоянную и точно известную величину. Нулевой гальванометр Г представляет собой чувствительный прибор с двусторонней шкалой. В зависимости от направления тока стрелка его отклоняется влево или вправо от нуля.

---

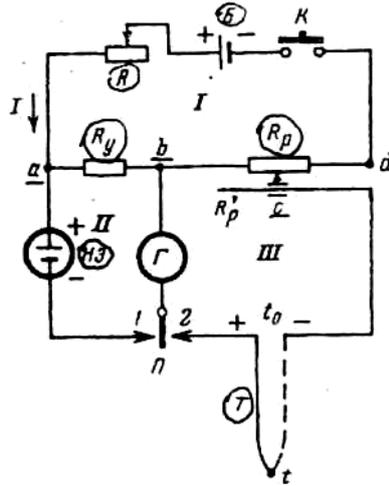


Рис. 11. Принципиальная схема потенциометра с термопарой.

Измерение температуры с помощью потенциометра производится следующим образом. «Устанавливая переключатель П в положение 1, замыкают цепь контура II нормального элемента. Затем нажатием на кнопку К замыкают цепь измерительного контура I и реостатом R регулируют силу рабочего тока до тех пор, пока стрелка гальванометра Г не встанет на ноль шкалы. Отсутствие тока в контуре II наступит в тот момент, когда э.д.с. нормального элемента  $E_{н2}$  будет компенсирована обратным ей по знаку падением напряжения на установочном резисторе  $R_y$  (на участке цепи  $ab$ ). В этом случае рабочий ток I в измерительной цепи

$$\text{будет равен: } I = \frac{E_{н2}}{R_y} = \text{const}.$$

После того, как в измерительной цепи потенциометра установлена постоянная и точно известная сила тока I, размыкают кнопку К и переводят переключатель П в положение 2, в результате чего к измерительному контуру I вместо контура II подключается контур термопары III. Вновь замыкают кнопкой К измерительную цепь и при помощи скользящего по реохорду  $R_p$  контакта (движка) С изменяют сопротивление  $R'_p$  участка реохорда  $bc$  до момента установки стрелки гальванометра Г на ноль шкалы. Указанное положение движка С характеризует состояние электрического равновесия прибора, при котором ток в цепи Т отсутствует, т.к. развиваемая т.э.д.с.  $E_{ат(t,t_0)}$  компенсируется равным ей по величине и обратным по знаку падением напряжения на участке реохорда  $bc$ . При полной компенсации т.э.д.с. термопары получим равенство .

$$E_{ат(t,t_0)} = I \cdot R'_p \quad \text{или, заменяя I, получим} \quad E_{ат(t,t_0)} = \frac{E_{н2}}{R_y} \cdot R'_p.$$

Таким образом, определение т.э.д.с.  $E_{ат(t,t_0)}$  термопары сводится к измерению величины сопротивления  $R'_p$ , т.к. э.д.с. нормального элемента  $E_{н2}$  и сопротивление установочного резистора  $R_y$  имеют постоянные и известные значения. Следовательно, шкала потенциометра, нанесенная вдоль реохорда  $R_p$ , может быть проградуирована непо-

---

средственно в мВ или в случае работы потенциометра с термопарой определенной градуировки - в  $^{\circ}\text{C}$ .

Весьма современный компенсационный метод используется в показывающих и самопишущих автоматических электронных потенциометрах, в которых уравновешивание (компенсация) т.э.д.с, развиваемой термопарой, производится с помощью небольшого асинхронного реверсивного электродвигателя, связанного с движком реохорда. Класс точности этих приборов 0,6 - 1,0. В промышленности нашли широкое применение автоматические электронные потенциометры следующих типов: ЭПД, ЭПП, ЭПВ2, ПС1, ПСР1, ППЧ, ППР4, ПСМ2, ПСМР2 и др.

Проверка пирометрических милливольтметров и автоматических потенциометров проводится путем сравнения их показаний с показаниями образцового или контрольного потенциометра.

## 2.6. Оптические и радиационные пирометры

Пирометры излучения применяются для измерения температуры нагретых тел в пределах 100 - 6000 $^{\circ}\text{C}$ . Действие этих приборов основано на измерении излучаемой телом энергии, зависящей от его температуры и физико-химических свойств. С повышением температуры нагретого тела его излучение быстро возрастает. При нагреве до 500 $^{\circ}\text{C}$  тело излучает невидимые инфракрасные (тепловые) лучи большой длины волны. Дальнейшее увеличение температуры вызывает появление и видимых лучей меньшей длины волны, благодаря которым тело начинает светиться. Видимая часть спектра лежит в пределах длин волн от 0,4 до 0,76 мкм. Вначале раскаленное тело имеет темно-красный цвет, который по мере роста температуры и появления лучей постепенно убывающей длины волны переходит в красный, оранжевый, желтый и, наконец, белый цвет, состоящий из лучей различной длины волны.

Одновременно с увеличением температуры нагретого тела и изменением его цвета сильно возрастает интенсивность монохроматического (одноцветного) излучения для данной длины волны (яркость), а также увеличивается интегральное (полное) излучение телом энергии, что позволяет использовать эти два свойства нагретых тел для измерения температуры.

В пирометре частичного излучения, называемом оптическим пирометром, производится сравнение монохроматической яркости (в лучах определенной длины, равной для красного цвета 0,65 мкм) нагретого тела (излучателя, температуру которого измеряют) и нити накала встроенной в прибор пирометрической лампы. При измерении яркостной температуры дугообразную нить лампы через телескоп наводят на поверхность измеряемого тела и добиваются уравновешивания яркостей обоих источников света путем

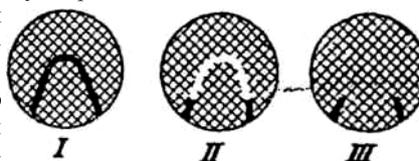


Рис. 12. Яркость нити накаливания пирометра частичного излучения.

I - температура нити ниже температуры излучателя; II - температура нити выше температуры излучателя; III температура нити равна температуре излучателя;

изменения реостатом силы тока, питающего лампу. Если яркость нити будет меньше, чем яркость излучателя (рис. 12), то на светлом фоне нить будет казаться черной (состояние I); если же, наоборот, излучатель имеет меньшую яркость, нить будет проектироваться светлой линией на более темном поле (состояние II); при совпадении монохроматической яркости нити и излучателя изображение средней изогнутой части нити, имеющей более высокую температуру, чем ее концы, сольется со светлым фоном излучателя и как бы исчезнет из поля зрения наблюдателя (состояние III). В этот момент и производится отсчет яркостной температуры тела по шкале амперметра, включенного в цепь пирометрической лампы и градуированного в °С.

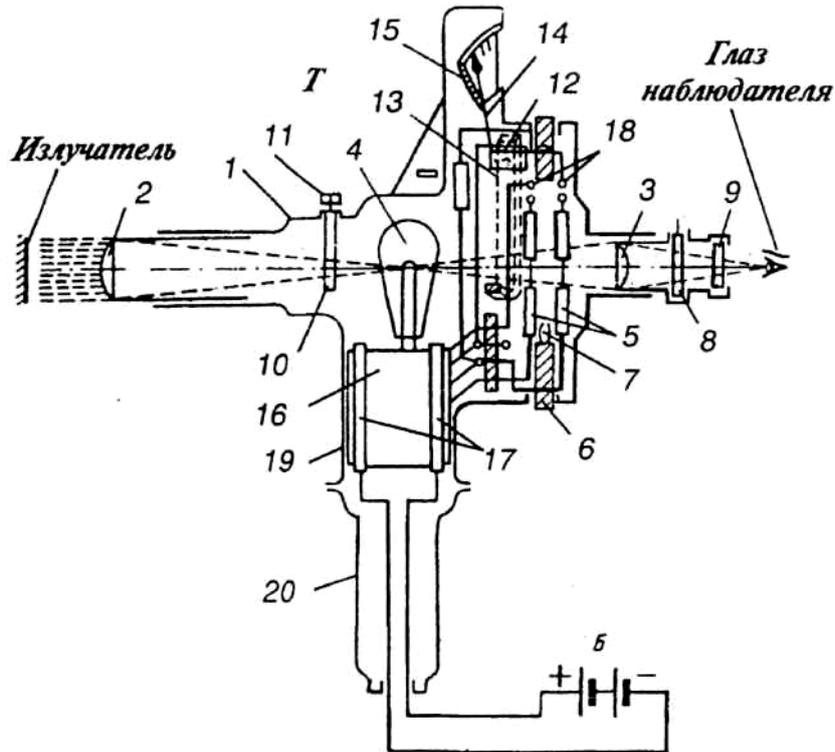


Рис. 13 Схема пирометра частичного излучения типа ОППИР-017.

Переносной визуальный пирометр частичного излучения типа ОППИР-017 (см. рис. 13) предназначен для периодического измерения температуры в пределах 800 - 2000°С.

---

Прибор состоит из телескопа Т с пристроенным к нему дифференциальным амперметром и источником питания постоянного тока Б, напряжением 2 - 2,5 В.

Телескоп имеет зрительную трубу 1 с объективом 2 и окуляром 3. В фокусе объектива установлена пирометрическая лампа 4 с дугообразной вольфрамовой нитью, соединенная последовательно с реостатом 5, служащим для изменения накала нити. Реостат снабжен кольцевой рукояткой 6 с движком 7, позволяющей наблюдателю регулировать ток, не отвлекая внимания от яркости нити.

Для получения монохроматического излучения с длиной волны 0,65 мкм перед окуляром установлен красный стеклянный светофильтр 8, а за ним - выходная диафрагма 9, перед которой при измерении находится глаз наблюдателя.

Между объективом и пирометрической лампой помещено поглощающее (затемненное) стекло 10, укрепленное на поворотной головке 11, при помощи которой оно может быть поставлено перед лампой или отведено в сторону. Поглощающее стекло служит для увеличения верхнего предела показаний пирометра, так как оно ослабляет видимую яркость излучателя в несколько раз при неизменной яркости нити лампы. В телескоп пирометра встроен дифференциальный амперметр, имеющий две рамки (основную и дополнительную, включенные встречно) 12, постоянный магнит 13, стрелку 14 и шкалу 15. Дифференциальный амперметр имеет два диапазона измерений: первый - при работе без поглощающего стекла с пределами 800 - 1400°С и второй - при введенном стекле с пределами 1200 - 2000°С.

Основная рамка амперметра включена параллельно пирометрической лампе, а дополнительная - последовательно с лампой. Это позволяет уменьшить начальный нерабочий участок шкалы пирометра.

Пирометрическая лампа установлена на колодке 16 с двумя контактными стержнями 17, к которым присоединены провода от щелочного аккумулятора.

В процессе измерения температуры наводка пирометра на излучатель производится от руки, для чего отросток телескопа 19 снабжен снизу рукояткой 20. Для настройки оптической системы пирометра на фокус и по глазу наблюдателя объектив 2 и окуляр 3 могут перемещаться вдоль оси зрительной трубы.

Оптическая система позволяет производить измерение температуры на расстоянии 0,7 - 5 м от излучателя.

Основная погрешность пирометра для первого и второго диапазонов измерения соответственно равна + 20°С и + 30°С.

Измерение температуры пирометрами полного излучения, называемыми также радиационными пирометрами, основано на использовании теплового излучения нагретых тел. Улавливаемые пирометром тепловые лучи концентрируются при помощи собирающей линзы на светочувствительном элементе, состоящем из небольшой термобатарей (ряда последовательно соединенных термопар). Лучистый поток направляется на рабочие концы термопар, по степени нагрева которых судят о температуре излучателя. В качестве вторичного прибора, присоединяемого к термобатарее, применяется пирометрический милливольтметр или автоматический потенциометр.

Пирометр полного излучения типа РАПИР предназначен для измерения температуры от 400 до 2500°С. Схема прибора приведена на рис. 14. В комплект

---

его входят: телескоп Т, один или два вторичных прибора ВП, панель сопротивлений ПС для обеспечения постоянной нагрузки телескопа при работе с одним или двумя вторичными приборами, а также для подгонки сопротивления соединительных проводов.

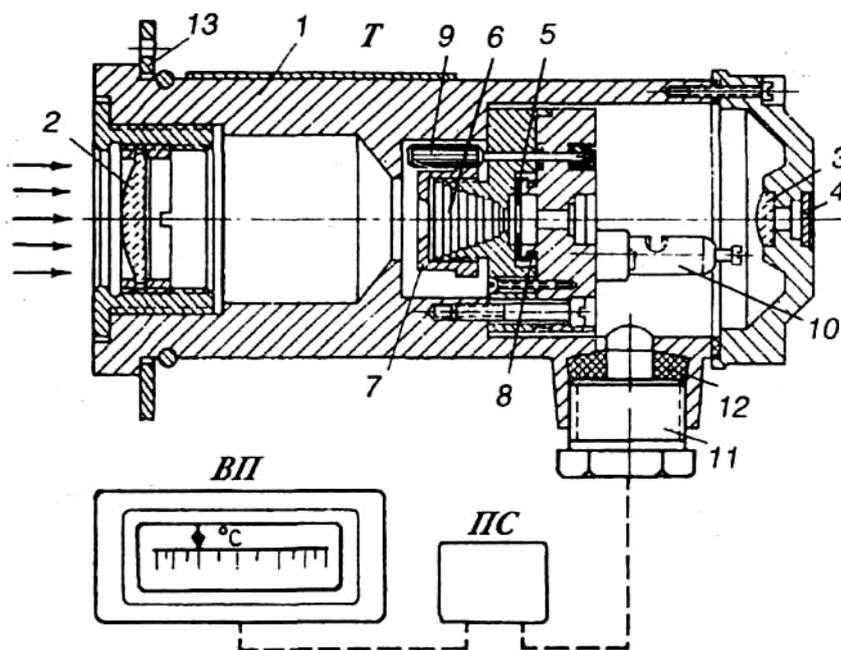


Рис. 14. Схема пирометра полного излучения типа РАПИР

В корпусе 1 телескопа Т расположены оптическая и температурная части прибора. Оптическая система имеет объектив 2 и окуляр 3 с защитным стеклом 4, служащий для контроля правильности наводки прибора на излучатель, а температурная часть - звездообразную термобатарей 5, помещенную в конусообразную камеру с зачерненными стенками, служащими для поглощения отраженных лучей. Лучистый поток, проникающий в камеру через объектив и ограничительную диафрагму 7, падает на рабочие концы термобатарей. Компенсация изменения температуры свободных концов обеспечивается шунтирующим медным резистором 8. Чувствительность прибора при градуировке регулируется перемещением по резьбе диафрагмы 7 с помощью зубчатого барабана 9. Два зажима 10 служат для присоединения телескопа ко вторичному прибору проводами, выходящими наружу через штуцер 11 с резиновым уплотнением 12. Крепление телескопа производится фланцем 13.

---

Звездообразная термобатарея пирометра (рис. 15) состоит из десяти хромель-копелевых термопар, рабочие концы 1 которых, расклепанные в форме небольших треугольников, зачернены и наклеены на тонкую слюдяную пластинку 2. Свободные концы термобатареи приварены к металлическим пластинкам 3, укрепленным на слюдяном кольце 4, зажатом между двумя такими же кольцами в корпусе телескопа. К двум пластинкам 5 присоединяются медные выводы термобатареи.

Телескопы типа ТЕРА-500 позволяют измерять среднюю температуру поверхности излучателя диаметром 35 - 75 мм на расстоянии от излучателя 0,4- 1,5 м.

Телескопы пирометров изготавливаются с объективами из кварцевого стекла для пределов измерения 400 - 1500°С и из стекла марки К-8 для пределов 900 - 2500°С.

Для защиты телескопа от механических воздействий, пыли, высокой температуры он снабжается защитной арматурой с воздушным или водяным охлаждением.

Пирометры частичного и полного излучения поверяются путем сравнения их показаний с показаниями образцовых пирометров того же типа.

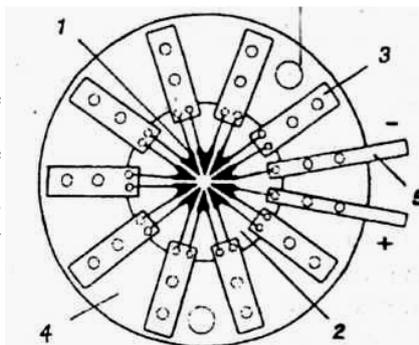


Рис. 15. Термобатарея пирометра полного излучения

### 3. Приборы для измерения давления

#### 3.1. Давление и его виды, единицы измерения

Давлением жидкости, газа или пара называют силу, действующую со стороны этих сред на единицу площади ограничивающей их поверхности.

Измеренное давление среды можно выразить двояко - давлением абсолютным или давлением избыточным, отличающимися между собой только на величину барометрического давления.

Барометрическое (атмосферное) давление  $P_6$  создается массой воздушного столба земной атмосферы.

Величина превышения давления среды над барометрическим давлением называется избыточным давлением  $P$ . Подавляющее большинство приборов, измеряющих давление, непосредственно показывают именно избыточное давление.

---

Абсолютное давление  $P_a$  определяется через избыточное и может быть больше или меньше барометрического. В первом случае абсолютное давление равно сумме барометрического и избыточного давлений:  $P_a = P + P_б$ . Во втором случае абсолютное давление меньше барометрического на величину  $P_p$ , называемую разрежением, т.е.  $P_a = P_б - P_p$ . Разрежение есть избыточное давление с обратным знаком. Таким образом, в общем случае абсолютное давление среды есть сумма избыточного (измеренного) и барометрического (условно принятого за  $1 \text{ кгс/см}^2$ )

В международной системе единиц СИ основной единицей измерения давления является ньютон на квадратный метр ( $\text{Н/м}^2$ ). Эта величина называется также паскалем  $\text{Н/м}^2 = \text{Па}$ . Вместе с тем еще широко используются другие единицы давления:  $\text{кгс/см}^2$ ,  $\text{кгс/м}^2$ , мм.вод.ст., мм.рт.ст.

Между отдельными единицами давления существуют следующие соотношения:

$1 \text{ технич. атм.} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 735,6 \text{ мм.рт.ст.} \approx 98700 \text{ Па} \approx 0,1 \text{ МПа}$ ;

$1 \text{ мм.рт.ст.} \approx 133 \text{ Па}$ ;  $1 \text{ мм.вод.ст.} = 1 \text{ кгс/м}^2 \approx 10 \text{ Па}$ .

### 3.2. Жидкостные стеклянные манометры

К жидкостным стеклянным манометрам относятся двухтрубные (U-образные) и однострунные (чашечные). Они используются для измерения давления газа или воздуха до 1000 мм.вод.ст. В качестве рабочей жидкости в них используются вода, этиловый спирт, ртуть.

Жидкостной, стеклянный U-образный манометр (рис. 16) состоит из стеклянных измерительных трубок 1 и 2, соединенных внизу между собой и укрепленных на вертикальном основании 3. Между трубками помещена миллиметровая шкала 4 с нулевой отметкой посередине.

Измерительные трубки заполняются рабочей жидкостью до нулевой отметки шкалы. Трубка 1 сообщается резиновой трубкой с измеряемой средой, находящейся под абсолютным

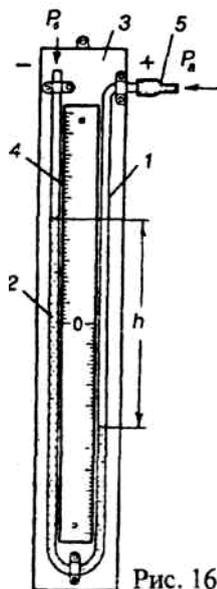


Рис. 16. Жидкостный двухтрубный (U-образный) манометр.

давлением  $P_a$ , а трубка 2 - с атмосферой, имеющей барометрическое давление  $P_b$ .

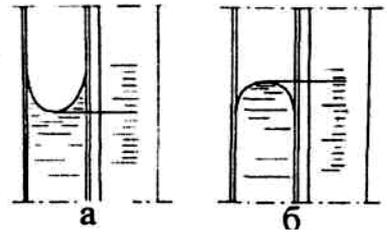


Рис. 17. Форма мениска рабочей жидкости

При включении манометра в работу измеряемое давление уравновешивается высотой столба рабочей жидкости  $h$ , отсчитываемой по шкале прибора. Так как уровень жидкости в трубке 1 понизится, а в трубке 2 повысится, от общая высота столба будет равна сумме отсчетов, производимых по шкале выше и ниже нулевой отметки.

У жидкостных стеклянных манометров указателем служит уровень (мениск) рабочей жидкости в измерительных трубках. Если рабочей жидкостью являются вода или спирт, то вследствие хорошей смачиваемости стекла образуется вогнутый мениск и отсчет производится по нижней его границе (рис. 17а). В случае применения в качестве рабочей жидкости ртути образуется выпуклый мениск, и отсчет производится по верхней его границе (рис. 17б).

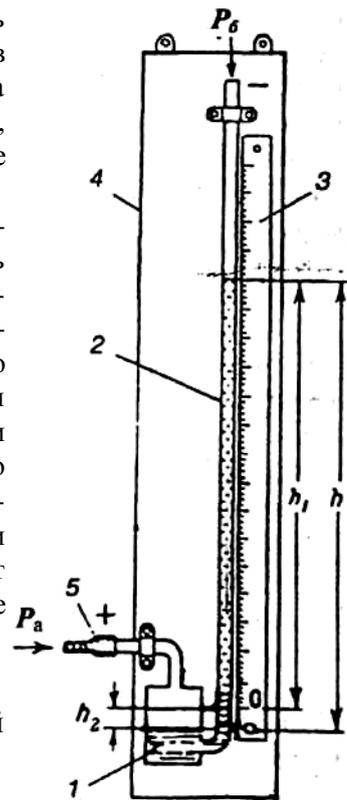


Рис. 18. Жидкостный однострубный (чашечный) манометр.

---

Для удобства отсчета и упрощения измерения на практике используются манометры со шкалой, на которой вверх и вниз от нуля на расстоянии 10 мм написано «20 мм.» и т.д. При этом достаточно снимать показания манометра по уровню одной трубки манометра.

В процессе эксплуатации U-образного манометра необходимо следить за уровнями рабочей жидкости, которые должны совпадать с нулевой отметкой при сообщении обеих трубок с атмосферой, а также за исправностью резиновой трубки и герметичностью ее соединения со стеклянной трубкой манометра.

В однотрубном жидкостном манометре (рис. 18), в отличие от U-образного двухтрубного манометра, вместо одной из измерительных трубок имеется широкий сосуд (чашка) 1. К нижней части сосуда присоединена стеклянная измерительная трубка 2, рядом с которой закреплена миллиметровая шкала 3. Прибор смонтирован на вертикальном основании 4. Сосуд манометра соединяется с местом измерения трубкой 5. Свободный конец измерительной трубки сообщается с атмосферой. Сосуд и измерительная трубка заполняются рабочей жидкостью до нулевой отметки шкалы.

Под давлением измеряемой среды, составляющим  $P = P_a - P_b$ , уровень рабочей жидкости в стеклянной трубке поднимется на высоту  $h_1$ , а в сосуде опустится на высоту  $h_2$ . Общая высота столба жидкости, уравнивающая измеряемое давление, будет равна  $h = h_1 + h_2$ .

Так как объем жидкости, вытесненный из сосуда и вошедшей в измерительную трубку, равны, то  $h_1 > h_2$ , поскольку сечение измерительной трубки  $f$  во много раз больше сечения сосуда.

Таким образом, при измерении величиной  $h_2$  можно пренебречь и поэтому  $h \approx h_1$ .

### **3.3. Тягомеры и напоромеры**

Для измерения небольших разрежений и избыточных давлений газа (воздуха) применяются тягомеры (для разрежения), напоромеры (для давления) и тягонапоромеры (для разрежения и давления). Эти приборы широко используются для определения давления, разрежения в топке, газоходах и воздуховодах котлоагрегата и имеют одно-

---

---

стороннюю или двустороннюю шкалу, градуированную в  $\text{кгс}/\text{м}^2$  или  $\text{мм вод.ст.}$

Так как между тягомерами, напоромерами и тягонапоромерами нет существенного различия, в дальнейшем они для простоты изложения называются тягонапоромерами.

Наибольшее распространение получили, жидкостные стеклянные и мембранные тягонапоромеры.

### 3.3.1. Жидкостные стеклянные тягонапоромеры

Жидкостные тягонапоромеры по существу не отличаются от жидкостных одно- и двухтрубных манометров. Приборы заполняются чаще всего этиловым спиртом или дистиллированной водой.

При относительно точных измерениях небольших избыточных давлений или разрежений (до  $200 \text{ кгс}/\text{м}^2$ ) применяются жидкостные однострунные (чашечные) тягонапоромеры с наклонной измерительной трубкой ТНЖ-Н и ТНЖ-Щ, приспособленные соответственно для настенного и щитового монтажа.

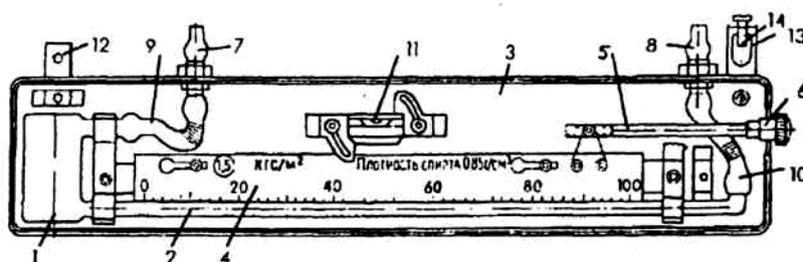


Рис. 19. Жидкостный однострунный тягонапоромер типа ТНЖ-Н.

Жидкостный однострунный тягонапоромер типа ТНЖ-Н (рис. 19) показан со снятой передней крышкой. Он состоит из стеклянного сосуда 1 и присоединенной к нему стеклянной измерительной трубки 2 внутренним диаметром 2 - 2,5 мм, укрепленных при помощи скоб и винтов в металлическом корпусе 3. Около трубки расположена шкала 4, которая может перемещаться с помощью ходового винта 5 с головкой 6. Ходовой винт 5 с головкой 6 служит корректором

---

---

нуля, позволяющим при установке и эксплуатации прибора совмещать нулевую отметку шкалы с мениском рабочей жидкости в измерительной трубке. В верхней части корпуса закреплены штуцеры 7 и 8, соединенные резиновыми трубками 9 и 10 с сосудом и измерительной трубкой.

При измерении давления прибор сообщается со средой через штуцер 7, а при измерении разрежения - через штуцер 8.

Для установки тягонапоромера под определенным углом наклона служит уровень 11. Установка прибора производится при помощи ушек 12 и 13, последнее из которых позволяет менять угол наклона корпуса с помощью винта 14.

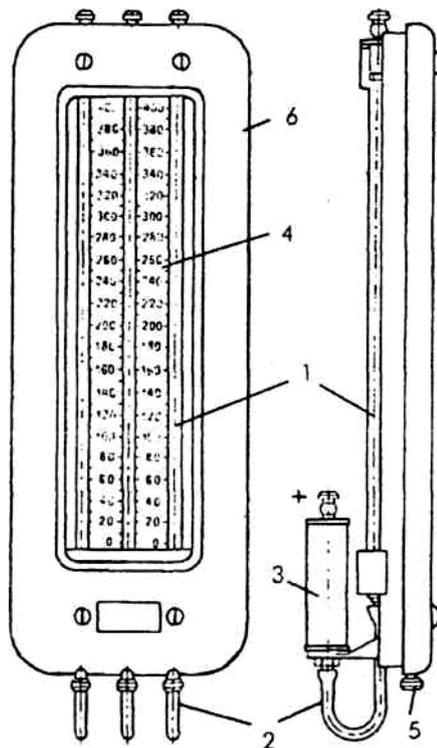


Рис. 20. Жидкостный дифференциальный тягонапоромер типа ТДЖ.

---

---

Тягонапоромеры типов ТНЖ-Н и ТНЖ-Щ изготавливаются с верхним пределом измерения 25, 40, 63, 100 и 160 кгс/м<sup>2</sup>. В качестве рабочей жидкости используется подкрашенный этиловый спирт плотностью 850 кг/м<sup>3</sup>.

Основная погрешность тягонапоромеров составляет  $\pm 1,6\%$ .

Для технических измерений применяется жидкостный дифференциальный тягонапоромер типа ТДЖ (рис. 20). Прибор имеет стеклянную измерительную трубку 1 с внутренним диаметром 10 мм, расположенную вертикально и соединенную резиновой трубкой 2 с сосудом 3. Для установки нулевого положения мениска жидкости по шкале 4 сосуд 3 может перемещаться по вертикали при помощи ходового винта 5. Тягонапоромер комплектуется из отдельных приборов на 1, 2, 3, 4 и 6 точек измерения с общей фронтальной рамой 6.

Тягонапоромер ТДЖ имеет шкалу с верхним пределом измерения 160 - 630 кгс/м<sup>2</sup>. Рабочей жидкостью является подкрашенная дистиллированная вода. Класс точности прибора 1,6.

### **3.3.2. Мембранные тягонапоромеры**

Мембранные тягонапоромеры являются показывающими приборами. Большое распространение получили мембранный тягонапоромеры типов ТМ-П1 (тягомер), НМ-П1 (напоромер) и ТНП-П1 (тягонапоромер) с горизонтальной профильной шкалой и рычажным передаточным механизмом. Их устройство принципиально одинаково за исключением передаточного механизма, формы шкалы и корпуса.

На рис. 21 изображена схема мембранного тягомера ТМ-П1. В прямоугольном корпусе (на схеме не показан) при помощи штупера 1 закреплена упругая коробка 2, состоящая из двух спаянных по краям гофрированных дисковых мембран, выполненных из бериллиевой бронзы. Внутренняя полость мембранной коробки сообщается с атмосферой (в данном случае со средой большего давления), а полость корпуса прибора - с измеряемой средой (со средой меньшего давления). С помощью поводка 4 верхняя часть мембранной коробки соединена с фасонным рычагом 5, сидящим на оси 6. Для увеличения

---

---

жесткости упругой системы ось 6 закреплена на скобообразной плоской пружине 7.

Под воздействием переменной разности давлений мембранная коробочка сжимается и разжимается, вызывая перемещение рычага 5, тяги 8 и рычага 9, сидящего на оси 10. На этой же оси стопорным винтом 11 закреплена указывающая стрелка 12 с противовесом 13. Конец стрелки передвигается вдоль горизонтальной профильной шкалы (на схеме не показана). Спиральная пружинка (волосок) 14, закрепленная одним концом на оси стрелки, а другим на неподвижной части прибора, служит для устранения влияния зазоров (люфтов) в сочленениях рычажного механизма.

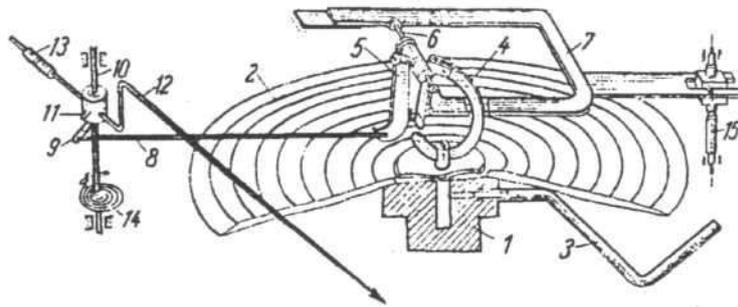


Рис. 21. Схема показывающего мембранного тягомера типа ТМ-П1 с профильной шкалой.

Для установки стрелки прибора на начальную отметку шкалы служит корректор нуля 15. При вращении винта корректора происходит изгиб пружины 7 и передвижение рычажной системы, связанной со стрелкой.

Приборы типов ТМ-П1 и НМ-Ш изготавливают с верхним пределом измерения 25 - 2500 кгс/м<sup>2</sup>, а типов ТНМ-П1 - ± (12 - 1200) кгс/м<sup>2</sup>. Приборы имеют класс точности 2,5.

---

### 3.4. Пружинные манометры

Наиболее широкое применение для измерения избыточного давления жидкости, газа и пара получили пружинные манометры.

Принцип действия пружинных манометров основан на использовании упругой деформации специальных пружин, возникающей под влиянием измеряемого давления. По роду применяемых пружин манометры делятся на трубчатые (с одновитковой и многовитковой трубчатыми пружинами), а также мембранные (с гармониковой мембраной - сиффоном).

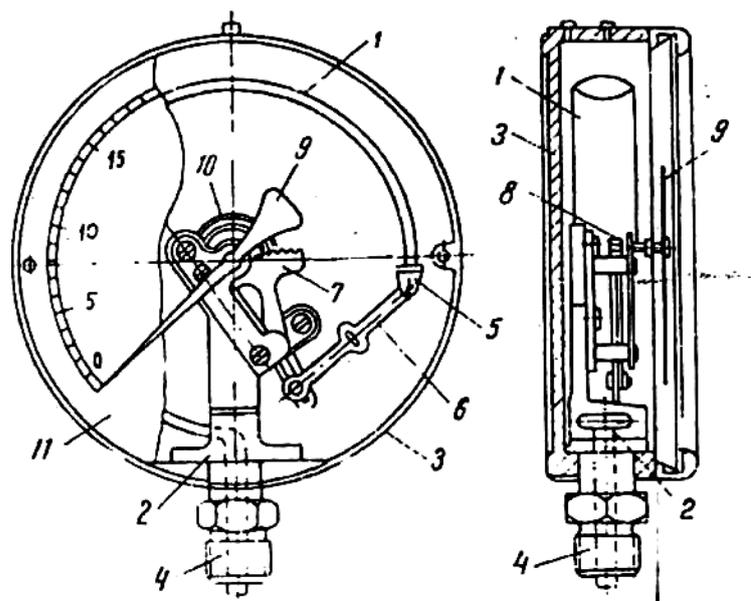


Рис. 22. Показывающий манометр с одновитковой трубчатой пружиной.

Показывающий манометр с одновитковой трубчатой пружиной приведен на рис. 22. Трубчатая пружина 1 эллиптического сечения одним концом жестко соединена с держателем 2, укрепленным в корпусе 3 манометра. Держатель имеет штуцер 4 с резьбой, служащий для сообщения прибора с измеряемой средой. Свободный конец

---

пружины закрыт запаянной пробкой 5 с шарнирной осью. Посредством поводка 6 он связан с передаточным механизмом, состоящим из зубчатого сектора 7, сцепленного с шестеренкой 8, неподвижно сидящей на оси вместе с указывающей стрелкой 9. Спиральная пружина 10 прижимает зубцы шестеренки к зубцам сектора и устраняет мертвый ход.

Под действием измеряемого давления трубчатая пружина частично раскручивается и тянет за собой поводок, приводящий в движение зубчато-секторный механизм и стрелку манометра, показывающую по шкале 11 величину этого давления.

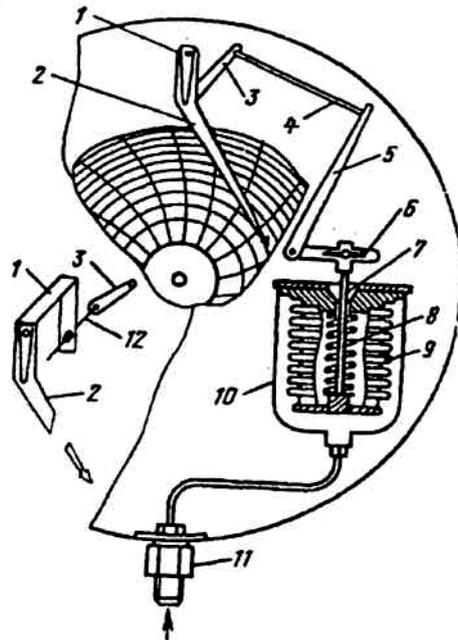


Рис. 23. Самопишущий манометр типа МСС.

Манометры с одновитковой трубчатой пружиной изготавливаются чаще всего показывающими, так как развиваемое пружиной усилие не всегда достаточно для обеспечения надежной работы самопишущего устройства.

Они разделяются на технические, контрольные и образцовые.

---

---

Показывающие технические манометры имеют класс точности 0,6; 1,0; 1,6; 2,5 и 4. Для измерения давления газа используются трубчатые пружинные манометры классом точности не ниже 2,5.

Контрольные манометры типа МКО являются переносными приборами, служащими для периодических точных измерений давления, а также для поверки технических манометров на рабочем месте. С целью повышения надежности показаний, пружины этих приборов изготавливаются из бронзы или стали высокого качества. Класс точности контрольных манометров 0,6.

Образцовые пружинные манометры типа МО применяются для поверки технических и контрольных манометров.

Шкала манометра независимо от верхнего предела имеет 100 условных делений с оцифровкой через каждые 5 делений. Для пересчета условных делений в кгс/см<sup>2</sup> образцовые манометры снабжаются переводной таблицей или графиком. Предельное давление указывается на шкале. Образцовые манометры типа МО имеют класс точности 0,4.

### **3.5. Сильфонные манометры и вакуумметры**

Сильфонные приборы применяются для измерения или измерения и записи вакуумметрических и небольших избыточных давлений, не превышающих 4 кгс/см<sup>2</sup>. Они выполняются показывающими МС и самопишущими МСС.

Самопишущий манометр типа МСС приведен на рис 23.

Сильфон изготовлен из латуни и закреплен в стакане 10. В целях разгрузки сильфон снабжен винтовой пружиной 8, которая вместе с ним создает противодействующую силу. Пространство между стаканом и сильфоном сообщается с измеряемой средой посредством трубки, прикрепленной к штуцеру 11. Под действием давления среды сильфон с винтовой пружиной деформируются, и дно сильфона поднимает шток 7. Шток поворачивает рычаг 6, который посредством рычага 5, тяги 4 и рычага 3 поворачивает ось 12 и сидящий на ней П-образный рычаг 1, несущий перо 2. Запись измеряемого давления производится на дисковой диаграмме. Диаграмма делает один

оборот в сутки. Привод диаграммы осуществляется с помощью синхронного двигателя или часового механизма.

Манометры этого типа выпускаются с верхними пределами измерений от 0,25 до 4 кгс/см<sup>2</sup>. Показывающие и самопишущие сильфонные манометры имеют класс точности 1,6. Сильфонные вакуумметры и мановакуумметры выпускаются класса точности 2,5.

### 3.6. Электроконтактные манометры

Электроконтактные манометры применяются в системах автоматического регулирования технологических процессов, в схемах сигнализации, устройствах тепловой защиты и т.д.

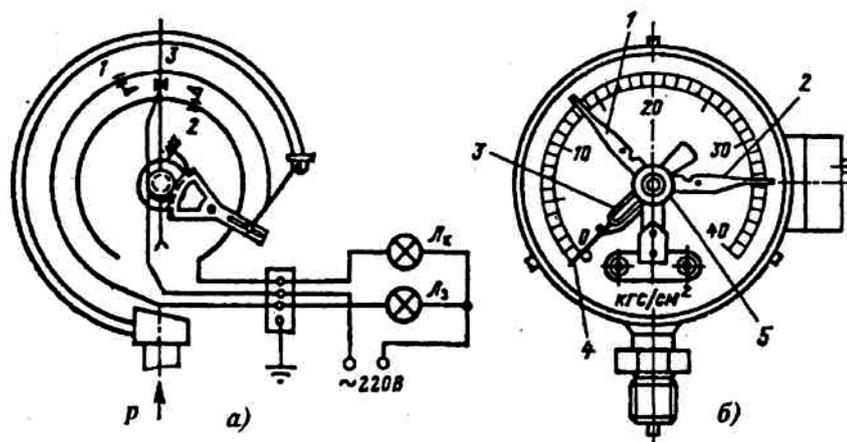


Рис. 24. Электроконтактный манометр типа ЭКМ.  
а - схема прибора; б - внешний вид манометра.

На рис.24 показаны принципиальная схема и внешний вид электроконтактного манометра типа ЭКМ. В этом приборе в качестве упругого чувствительного элемента используется одновитковая трубчатая пружина. По своему устройству прибор типа ЭКМ отличается от рассмотренного выше манометра (рис.22) лишь наличием специальных электроконтактов 1, 2 и 3. Электроконтакты 1 и 2 могут быть установлены на любые отметки рабочей шкалы ма-

---

номера вращением винта в головке 5, расположенной на наружной стороне стекла.

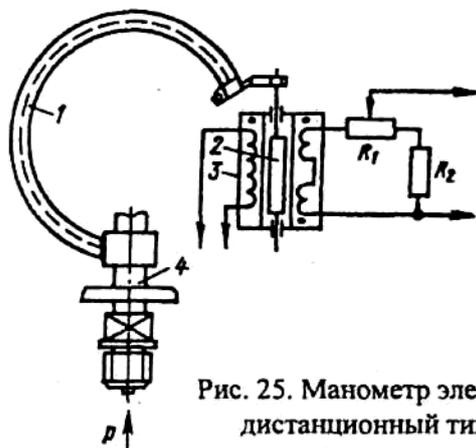
Если измеряемое давление среды в объекте уменьшится и достигнет того минимального значения шкалы, на которое установлен контакт 1, стрелка 4 с помощью контакта 3 замкнет цепь и включит лампу Лз определенного цвета, например, зеленого.

Если же давление среды увеличится до верхнего заданного значения, то стрелка с помощью контакта 3 замкнет контакт 2, а следовательно, и цепь красной лампы Лк.

Приборы типа ЭКМ выпускаются класса точности 2.5.

### **3.7. Манометры электрические дистанционные**

Первичные приборы давления применяются в комплекте с вторичными приборами (для дистанционной передачи показаний) и автоматическими регуляторами (в системах автоматического регулирования), а приборы с унифицированным выходным сигналом постоянного тока используются также с информационно-вычислительными машинами при создании АСУ ТП.



В пружинных манометрах электрических дистанционных типа МЭД происходит преобразование давления измеряемой среды, при-

---

---

водящего к механической деформации измерительной части прибора, в электрический сигнал.

На рис. 25 приведено устройство пружинного манометра типа МЭД.

Действие этого прибора основано на использовании деформации одновитковой трубчатой пружины 1, свободный конец которой связан рычагом со стальным сердечником (плунжером) 2 дифференциально-трансформаторного преобразователя 3.

Преобразователь состоит из двух секций первичной обмотки, намотанных согласно, и двух секций вторичной (выходной) обмотки, включенных встречно, и подвижного сердечника 2.

Создаваемый первичной обмоткой преобразователя магнитный поток индуцирует в секциях выходной обмотки э.д.с.  $e_1$  и  $e_2$ , значения которых зависят от тока питания первичной обмотки и взаимных индуктивностей  $M_1$  и  $M_2$  между секциями 1 и 2 вторичной обмотки и первичной обмоткой. Взаимные индуктивности  $M_1$  и  $M_2$  равны между собой при среднем положении сердечника внутри катушки преобразователя. При перемещении сердечника вверх из среднего положения значение взаимной индуктивности  $M_1$  увеличивается, а  $M_2$  уменьшается. При этом изменяется величина и фаза выходного сигнала  $E$  дифференциально-трансформаторного преобразователя.

Приборы МЭД выпускаются классов точности 1 и 1,6.

### **3.8. Дифференциальные манометры**

Дифференциальные манометры служат для определения разности (перепада) давлений между двумя точками измерения в жидкой, газовой или паровой среде. Особенно большое распространение они получили для измерения перепада давлений в дроссельных расходамерах.

По принципу действия дифманометры почти не отличаются от манометров, тягонапорометров, вакуумметров и т.п., измеряющих давление среды по отношению к барометрическому давлению.

Так жидкостный стеклянный двухтрубный дифманометр нашел широкое применение, так как является простым, надежным и удобным измерительным устройством.

---

---

Технические дифманометры по конструкции и принципу действия разделяются на поплавковые, мембранные, сильфонные, колокольные и кольцевые.

### 3.8.1. Поплавковые дифманометры

На рис.26 приведена схема поплавкового дифманометра. В широкий (плюсовой) сосуд 1 и сообщаемый с ним трубкой 2 узкий (минусовой) сосуд залита рабочая жидкость (ртуть или вазелиновое масло). На поверхности жидкости в широком сосуде плавает поплавок 4, связанный при помощи рычага 5 и оси 6 с указывающей стрелкой 7. Рычаг 5, шарнирно соединенный с поплавком, неподвижно закреплен на оси 6.

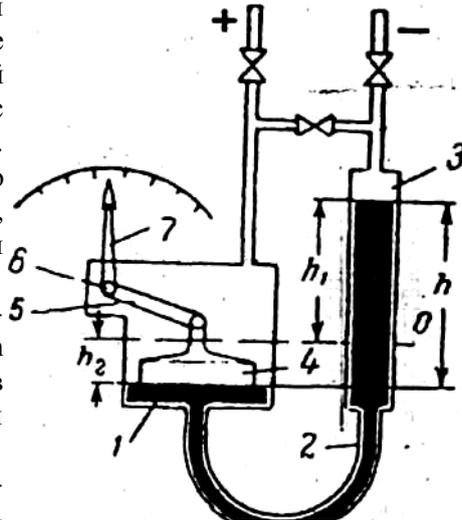


Рис. 26. Схема поплавкового дифманометра.

При измерении предельного перепада давления  $h$  уровень рабочей жидкости в широком сосуде понижается максимально на величину  $h_2$ , а уровень жидкости в узком сосуде повышается на величину  $h_1$ . Класс точности приборов 1-1.6.

### 3.8.2. Колокольные дифманометры

Колокольный дифманометр типа ДКО (рис. 27) является бесшкальным прибором, снабженным дифференциально-трансформаторным датчиком для дистанционной передачи "показаний" на вторичный прибор. Он применяется для измерения перепада давления (расхода) газа или воздуха. Чувствительным элементом его является колокол 1, подвешенный на рабочей пружине 2 и опущенный

---

в сосуд 3 с трансформаторным маслом. Посредством соединительных трубок 4 и 5 пространство над колоколом сообщается со средой большего, а под ним - меньшего давления. С колоколом жестко связан стальной плунжер 6, перемещающийся внутри индукционной катушки 7 датчика. При настройке прибора степень натяжения пружины 2 можно изменять винтовым устройством 8. В основании корпуса прибора встроена маслоуловительная камера 9, предохраняющая от выброса масла при увеличении измеряемого перепада давления сверх допустимой величины. Класс точности его совместно со вторичным прибором 1,6. Дифманометр типа ДКО применяется также в качестве тягонапоромера.

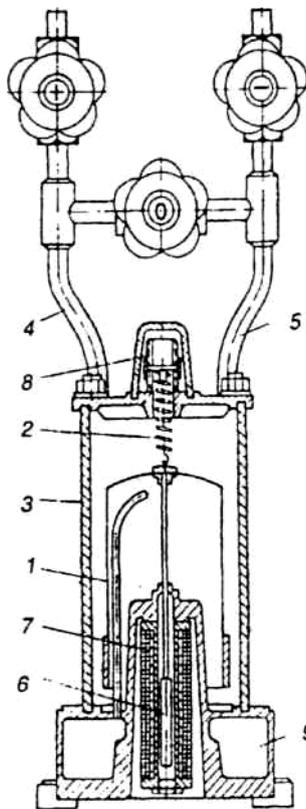


Рис. 27. Колокольный дифманометр типа ДКО.

При настройке прибора степень натяжения пружины 2 можно изменять винтовым устройством 8. В основании корпуса прибора встроена маслоуловительная камера 9, предохраняющая от выброса масла при увеличении измеряемого перепада давления сверх допустимой величины. Класс точности его совместно со вторичным прибором 1,6. Дифманометр типа ДКО применяется также в качестве тягонапоромера.

### 3.8.3. Мембранные дифманометры

Мембранные дифманометры типа ДМ (рис. 28) являются бесшкальными приборами с дифференциально-трансформаторными датчиками для дистанционной передачи показаний на вторичные приборы.

Чувствительным элементом дифманометра является мембранный блок, состоящий из сообщающихся мембранных коробок 1 и 2, изготовленных из бериллиевой бронзы или нержавеющей стали, ввернутых при помощи штуцеров 3 и 4 в разделительную диафрагму 5.

Каждая мембранная коробка состоит из двух сваренных по краям гофрированных мембран.

Мембранная коробка 1 расположена в нижней (плюсовой) камере прибора, а коробка 2 - в верхней (минусовой). Камеры образованы стальными крышками 6 и 7 и диафрагмой 5, скрепленными

---

болтами 8. Внутренние полости мембранных коробок заполнены через ниппель 9 дистиллированной водой, после чего открытый его конец заварен. В средней части мембранной коробки 2 укреплен стержень 10, несущий стальной плунжер 11, находящийся внутри разделительной трубки 12 из немагнитной стали. На эту трубку надета индукционная катушка 13 датчика, закрытая колпаком 14, на котором расположен штепсельный разъем для подключения соединительных проводов от вторичного прибора.

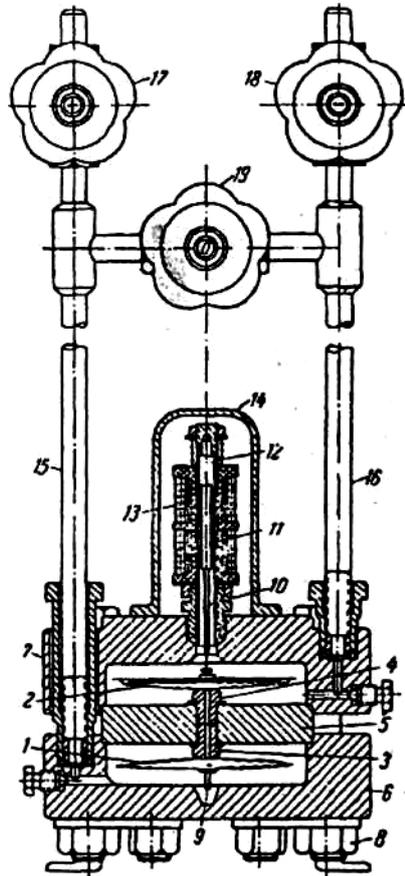


Рис. 28. Мембранный дифманометр типа ДМ.

---

---

Под действием разности давлений между нижней и верхней камерами дифманометра, передаваемой соединительными трубками 15 и 16 с запорными вентилями 17 и 18, мембранная коробка 1 сжимается, вытесняя находящуюся в ней воду в коробку 2, которая, расширяясь, поднимает плунжер 11. Движение плунжера происходит до тех пор, пока перепад давления не уравнивается упругой деформацией мембранных коробок. Для уравнивания давлений в камерах прибора при поверке нуля служит вентиль 19.

Дифманометр типа ДМ, так же как и пружинный манометр типа МЭД, работает в комплекте с одним из вторичных дифференциально-трансформаторных приборов типа ЭПВД, ЭИВ 2, ДС 1, ДСР 1, ДП 4 и т.д.

Измерительный комплект, состоящий из дифманометра типа ДМ и вторичного прибора типа ЭПВД, имеет класс точности 2,5.

## **4. Приборы для измерения количества и расхода вещества**

### ***4.1. Расход вещества и методы его измерения***

Количество вещества, проходящее в единицу времени по трубопроводу, каналу и т.п., называется расходом вещества. Количество и расход вещества выражают в объемных или массовых единицах измерения. Наиболее распространенными единицами измерения объемного расхода являются м<sup>3</sup>/с, м<sup>3</sup>/ч, а массового - кг/с, кг/ч и т/ч.

Переход от объемных единиц измерения расхода к массовым и обратно производится по формуле:

$$G = V\rho,$$

где  $G$  - массовый расход вещества, кг/с;  $V$

$V$  - объемный расход вещества, м<sup>3</sup>/с;

$\rho$  - плотность вещества, кг/м<sup>3</sup>.

К приборам, измеряющим количество, относятся счетчики. С их помощью определяется суммарное количество вещества, прошедшее за известный промежуток времени, для чего отсчитываются показа-

---

---

ния прибора в начале и в конце периода измерения и вычисляется разность этих показаний.

Приборы, измеряющие расход, называются расходомерами. Расходомеры показывают или записывают мгновенное значение измеряемого количества, отнесенное к единице времени. В ряде случаев расходомер снабжается суммирующим счетным механизмом (интегратором).

Для определения количества и расхода жидкости, газа или пара обычно применяют следующие методы измерений: дроссельный, скоростной и объемный.

Дроссельным методом производится определение расхода, а скоростным и объемным - количества жидкости, газа и пара.

#### **4.2. Дроссельные расходомеры**

Дроссельный метод измерения основан на изменении статического давления среды, проходящей через искусственно суженное сечение трубопровода.

Дроссельный расходомер состоит из сужающего устройства, устанавливаемого в трубопроводе и служащего для местного сжатия струи (первичный прибор), дифференциального манометра, предназначенного для измерения разности статических давлений протекающей среды до и после сужающего устройства (вторичный прибор), и соединительных линий (двух трубок), связывающих между собой оба прибора.

Сужающее устройство (диафрагма) имеет круглое отверстие, расположенное концентрично относительно стенок трубы, диаметр которого меньше внутреннего диаметра трубопровода.

При прохождении потока через сужающее устройство происходит изменение потенциальной энергии вещества, часть которой вследствие сжатия струи и соответствующего увеличения скорости потока преобразуется в кинетическую энергию. Изменение потенциальной энергии приводит к появлению разности статических давлений (перепада давления), которая определяется при помощи дифманометра. По измеренному перепаду давления может быть определе-

---

на кинетическая энергия потока при дросселировании, а по ней - средняя скорость и расход вещества.

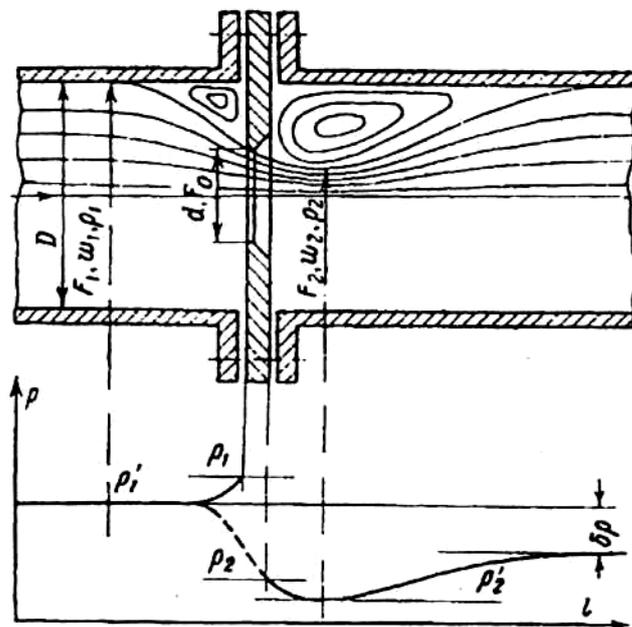


Рис. 29. Характер потока и распределение статического давления в трубопроводе при установке сужающего устройства.

На рис. 29 показана схема установки в трубопроводе диафрагмы и изображение характера потока. Стандартные диафрагмы могут применяться в трубопроводах диаметром не менее 50 мм при значениях модуля

$$m = d^2/D^2 = 0,05-0,7$$

( $d$  и  $D$  - диаметры отверстий диафрагмы и трубопровода).

По способу отбора статического давления к дифманометру стандартные диафрагмы делятся на камерные и бескамерные (см. рис. 30). В камерной диафрагме давления к дифманометру отбираются посредством двух кольцевых уравнительных камер, что позволяет усреднить давление по окружности трубопровода и обеспечивает более точное измерение перепада давления в приборе.

Отбор давлений в бескамерной диафрагме осуществляется с помощью двух отдельных сверлений в ее корпусе или во фланцах трубопровода перед и за диафрагмой.

Толщина  $E$  диафрагмы не превышает  $0,05$  диаметров трубопровода  $D$ . Проходное отверстие диафрагмы  $d$  является расчетной величиной. Со стороны входа потока оно имеет острую кромку под углом  $90^\circ$ , за которой расположена цилиндрическая часть, которая оканчивается на выходе потока коническим расширением под углом  $30 - 45^\circ$ .

Сужающее устройство может устанавливаться в горизонтальном, вертикальном или наклонном прямом участке трубопровода.

К установке диафрагм предъявляются следующие требования:

1. Тщательная центровка отверстия сужающего устройства относительно трубы;
2. Не допускается наличие на внутренней поверхности трубопровода перед сужающим устройством больших неровностей, например, уступов, сварных швов, выступающих внутрь уплотнительных прокладок и т.д.;
3. До и после сужающего устройства необходимо иметь прямые успокоительные участки трубопровода постоянного диаметра, т.к. различные местные сопротивления (колена, угольники, вентили, задвижки и т.п.) приводят

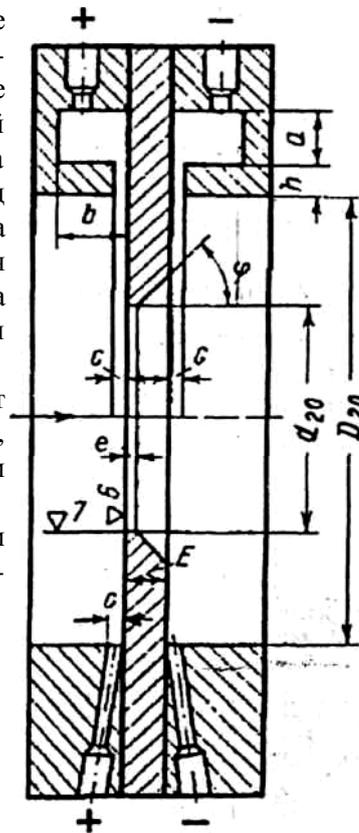


Рис. 30. Стандартные измерительные диафрагмы.  
Камерная - вверху,  
бескамерная - внизу.

---

к искажению профиля скоростей по сечению потока и увеличению погрешности измерения. Наименьшие относительные (выраженные в кратных по отношению к диаметру трубопровода числах) длины прямых участков перед сужающим устройством и после него зависят от модуля диафрагмы и характера местных сопротивлений и составляют:

для участков до диафрагмы  $l_1 / D = 10 - 80$ ;

для участков после диафрагмы  $l_2 / D = 4 - 8$ .

При правильно выполненных диафрагмах основная погрешность измерения не превышает  $\pm 0,5 - 1 \%$ .

### 4.3. Объемные счетчики для газа

Для измерения количества горючего газа используются объемные ротационные счетчики. Ротационный счетчик (рис. 31) содержит измерительную камеру 1, в которой размещены две широкие вращающиеся в разные стороны лопасти 2 и 3 восьмеричной формы.

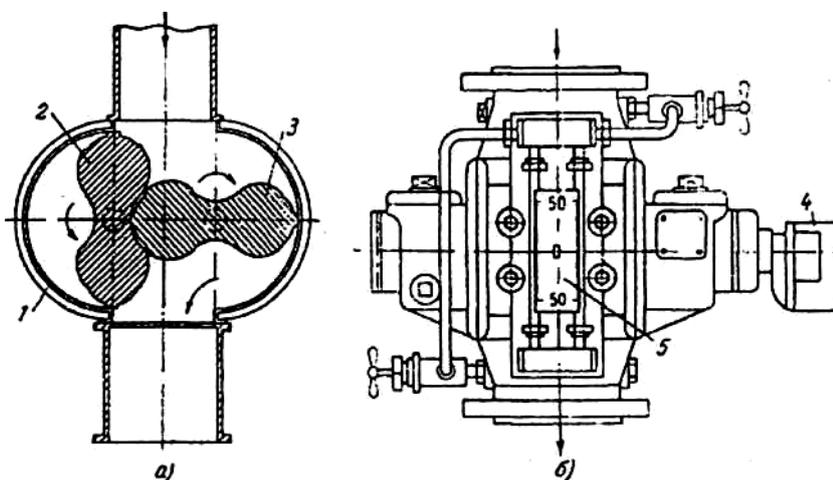


Рис. 31. Ротационный счетчик.

а) - схема; б) - счетчик типа РС-100М.

---

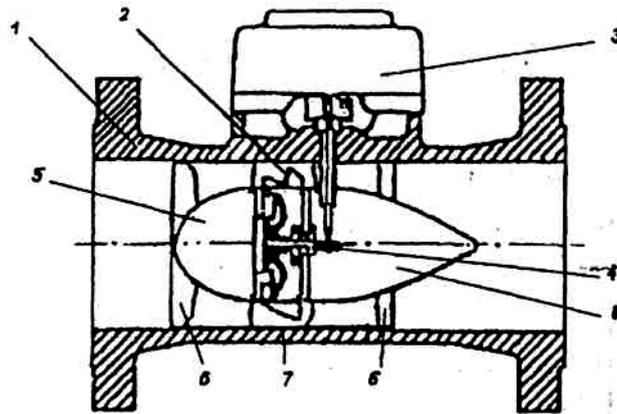


Рис. 32. Схема турбинного (тахометрического) газового счетчика.

- 1 - корпус; 2 - турбина; 3 - счетчик; 4 - редуктор; 5 - обтекатели; 6 - неподвижные направляющие аппараты; 7 - гильза.

Действие ротационного счетчика основано на вытеснении определенных объемов газа, заключенных между стенками измерительной камеры и лопастями, при вращении последних под влиянием разности давлений газа до счетчика и после него. Величина зазоров между шестернями и стенками измерительной камеры не превышает 0,03 - 0,06 мм, вследствие чего погрешность измерения из-за перетекания газа через них невелика.

Прибор имеет роликовый счетный механизм 4, связанный с одной из лопастей при помощи магнитной муфты или непосредственно с выходной осью, пропущенной через сальниковое уплотнение. Для контроля за степенью засоренности счетчика в него встроен водяной двухтрубный дифманометр 5, измеряющий перепад давления в приборе.

Установка ротационных счетчиков производится на вертикальных участках газопровода с нисходящим потоком газа. Входной патрубок счетчика снабжен сетчатым фильтром для очистки газа от механических примесей.

---

Ротационные счетчики типа РС выпускаются на номинальную производительность от 40 до 1000 м<sup>3</sup>/ч. Сопротивление счетчиков при номинальном расходе газа составляет ~ 30 мм вод.ст.

#### **4.4. Турбинные (скоростные) счетчики**

Турбинный газовый счетчик (рис. 32) состоит из чугунного корпуса 1 с фланцами для присоединения к трубопроводу, турбины 2, счетчика 3, обтекателей 5, расположенных с обеих сторон турбины. Лопатки турбины размещены в кольцевом зазоре между корпусом 4 и обтекателями и имеют наклон около 45 °.

Спереди и сзади турбины установлены неподвижные направляющие лопатки 6, выравнивающие поток газа. Турбина связана посредством червячной передачи 4 со счетчиком 3. Частота вращения турбины пропорциональна скорости течения газа, а следовательно, и его расходу.

### **5. Приборы для измерения уровня воды в барабане котла**

Широкое распространение в котельных установках получили гидростатические уровнемеры, основанные на принципе измерения разности давлений двух водяных столбов.

На рис. 33, а приведен уровнемер с жидкостным однотрубным дифманометром. Этот прибор присоединяется к барабану при помощи двух стальных трубок 1 и 2 и имеет уравнильный сосуд 3, соединительные медные трубки 4 и 5, грязеуловители 6 и 7, широкий сосуд 8 и измерительную трубку 9 небольшого диаметра. Заполнение водой и продувка грязеуловителей производится через верхние и нижние отверстия в их корпусе. Отверстие, закрытое пробкой 10, служит для выпуска из прибора рабочей жидкости. Хорошая видимость уровня жидкости обеспечивается лампой 11с рефлектором. Отключение измерительной трубки производится вентилем 12.

Для измерения уровня воды в барабане для использования в системах автоматического регулирования применяется гидростати-

---

ческий уровнемер, приведенный на рис. 33, б. Он состоит из двухкамерного уравнильного сосуда 1 и бесшкального мембранного дифманометра (датчика) 2 типа ДМ. В плюсовой камере уравнильного сосуда, соединенной трубкой 3 с паровым пространством барабана котла, уровень конденсата поддерживается постоянным. Минусовая камера сосуда соединяется трубкой 4 с водным пространством барабана котла. Уровень воды в этой камере соответствует переменному уровню в барабане котла. Давление столбов воды плюсовой и минусовой камер уравнильного сосуда передается по соединительным трубкам 5 и 7 нижней и верхней полостям дифманометра.

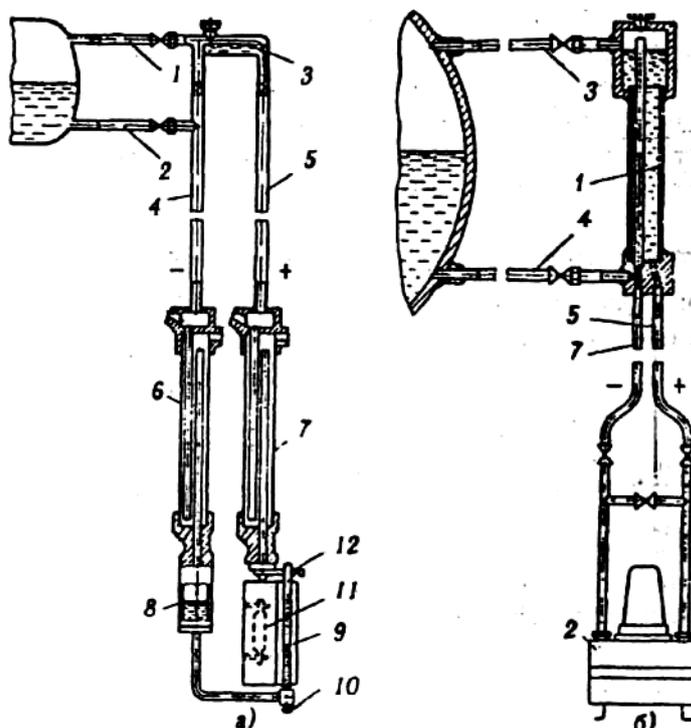


Рис. 33. Гидростатические уровнемеры паровых котлов.

а - с жидкостным однотрубным дифманометром;  
б - с мембранным дифманометром.

---

Под действием разности давлений между нижней и верхней камерами, плунжер перемещается в индукционной катушке, индуцируя некую величину электродвижущей силы  $\Delta E$ , зависящую от уровня воды в барабане и фиксируемую с помощью вторичного прибора.

## 6. Приборы для измерения состава газов

Приборы для количественного анализа состава газов называются газоанализаторами.

Существуют ручные (переносные) и автоматические газоанализаторы. Первые служат для контрольных и лабораторных измерений, а вторые - для непрерывного анализа газов в промышленных установках. Благодаря большой точности измерения ручными газоанализаторами пользуются при испытаниях и наладке работы котлоагрегатов, а также для поверки автоматических газоанализаторов.

По принципу действия газоанализаторы делятся на химические, хроматографические, магнитные и электрические.

### 6.1. Переносные химические газоанализаторы

Химические газоанализаторы по своему назначению разделяются на газоанализаторы для сокращенного и полного (общего) анализа газа.

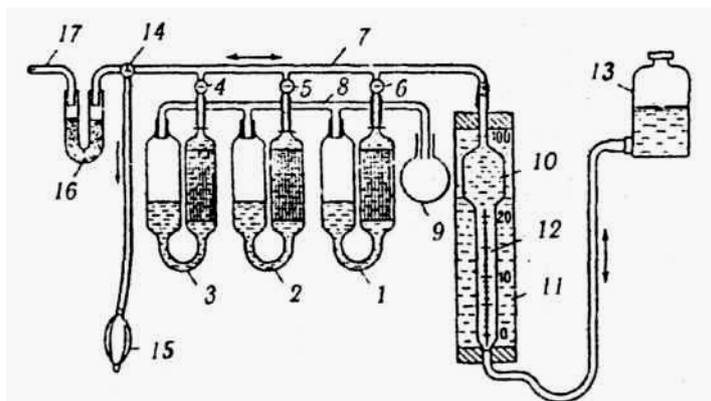


Рис. 34. Схема переносного газоанализатора типа ГХП-3М для сокращенного анализа.

---

---

Химические газоанализаторы производят определение отдельных компонентов газовой смеси путем избирательного поглощения (абсорбции) их соответствующими химическими реактивами.

На рис. 34 показана схема переносного газоанализатора типа ГХП-3М для сокращенного анализа. Прибором определяется содержание в дымовых газах  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{CO}$  посредством стеклянных поглотительных сосудов с реактивами. Каждый из сосудов содержит 200 мл реактива и состоит из двух сообщающихся баллонов, один из которых служит для поглощения реактивом газа, а второй - для приема реактива, вытесняемого во время поглощения. И баллоны для поглощения газа, присоединенных с помощью тонких трубок с кранами 4 - 6 к стеклянной распределительной гребенке 7, помещены тонкостенные стеклянные трубки с наружным диаметром 4-5 мм, предназначенные для увеличения поверхности соприкосновения реактива с исследуемым газом. Все баллоны для приема реактива присоединены в верхней части к стеклянной трубке 8 с резиновым мешочком 9, изолирующим растворы от атмосферы.

К правому концу распределительной гребенки подключена измерительная бюретка 10 с емкостью 100 мл(%), помещенная в стеклянный цилиндрический сосуд (рубашку) с водой для охлаждения пробы газа и поддержания его температуры постоянной во время анализа.

При помощи резиновой трубки измерительная бюретка присоединена к уравнительному сосуду 13 с замыкающей жидкостью, состоящей из водного раствора хлористого натрия, для отбора и перемещения в приборе пробы газа. На левом конце распределительной гребенки установлен трехходовой кран 14, сообщающийся с атмосферой посредством трубки, имеющей на конце резиновую грушу 15, и с фильтром 16 для очистки газа, заполненным стеклянной ватой. Фильтр связан с газоподводящей трубкой 17, проложенной от газохода котла.

Сосуд 1 служит для поглощения  $\text{CO}_2$ . В качестве реактива используется водный раствор едкого кали ( $\text{KOH}$ ).

Сосуд 2 предназначен для поглощения  $\text{O}_2$ . Реактивом служит щелочной раствор пирогаллоловой кислоты  $\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_3$

---

---

Поглощение CO производится в сосуде 3 щелочным раствором полухлористой меди ( $\text{Cu Cl}_2$ ).

Переносной химический газоанализатор типа ВТИ-2 служит для полного анализа продуктов сгорания и природного газа. Прибор применяется для определения следующих компонентов газовой смеси:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , CO,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{C}_m\text{H}_n$ . По конструкции этот газоанализатор отличается от предыдущего несколько иным устройством поглотительных сосудов и измерительной бюретки, а также наличием электropечи для сжигания CO,  $\text{H}_2$  и  $\text{CH}_4$ .

## 6.2. Автоматические газоанализаторы

Магнитные газоанализаторы служат для определения содержания в дымовых газах кислорода, магнитные свойства которого резко отличаются от магнитных свойств других газов. В магнитном поле намагничивание  $\text{O}_2$  совпадает с направлением этого поля, поэтому  $\text{O}_2$  является газом, обладающим положительными (парамагнитными) свойствами. Большинство же остальных газов имеет отрицательные магнитные (диамагнитные) свойства, т.к. их намагничивание противоположно направлению магнитного поля.

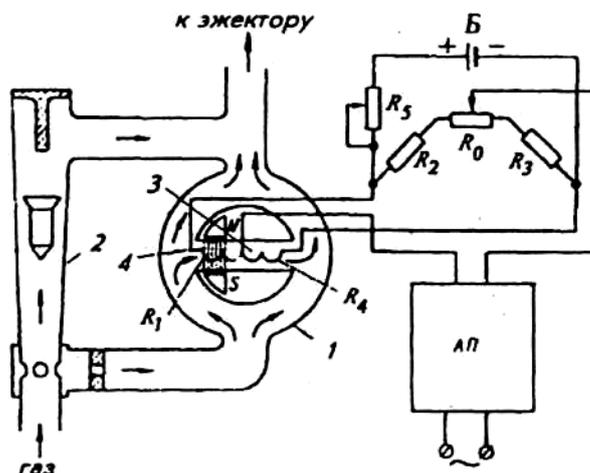


Рис. 35. Принципиальная схема магнитного газоанализатора на  $\text{O}_2$ .

---

Принципиальная схема магнитного газоанализатора показана на рис. 35. Газовая смесь, просасываемая через прибор водоструйным эжектором, поступает в кольцевую камеру 1. Расход газа через камеру поддерживается постоянным с помощью встроенного в прибор ротаметра 2, пропускающего часть газа в обход камеры. Кольцевая камера соединена посередине горизонтальной трубкой 3, внутри которой помещены одинаковые активные плечи  $R_1$  и  $R_4$  неуравновешенного измерительного моста, изготовленные из тонкой платиновой проволоки. Протекающим током активные плечи моста нагреваются до  $200^\circ\text{C}$ .

Два других плеча моста -  $R_2$  и  $R_3$ , выполненные из манганина, имеют постоянные сопротивления. Расположенный в вершине моста реостат  $R_0$  служит для установки нуля прибора. Питание моста производится от включенного в одну из его диагоналей источника постоянного тока Б с реостатом  $R_5$  для регулировки силы тока. В другую диагональ включен автоматический потенциометр АП со шкалой, градуированной в процентах  $\text{O}_2$ .

На левом конце горизонтальной трубки снаружи расположены полюса постоянного магнита 4. Проходящий около этого конца холодный газ, обладающий более высокой величиной магнитной восприимчивости, частично втягивается в магнитное поле, вытесняя из трубки через правый ее конец подогретый в ней газ.

Таким образом, в кольцевой камере возникает направленный поток исследуемого газа, скорость которого зависит от содержания в нем  $\text{O}_2$ . При движении газовой смеси через трубку плечо моста  $R_1$  охлаждается сильнее, чем плечо  $R_4$ , так как оно омывается более холодным газом. В связи с этим оно имеет меньшее электрическое сопротивление, чем плечо  $R_4$ , что приводит к нарушению равновесия измерительного моста и отклонению стрелки потенциометра.

Действие электрических газоанализаторов основано на различии теплопроводностей отдельных компонентов газовой сме-

---

---

си и воздуха, определяемых электрическим путем. Чаще всего они используются для измерения содержания в дымовых газах двуокиси углерода. Углекислый газ имеет почти в 2 раза меньшую теплопроводность, чем воздух, тогда как теплопроводности CO, N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> близки к теплопроводности воздуха. Это обстоятельство позволяет определять содержание CO<sub>2</sub> в дымовых газах по изменению теплопроводности смеси. Влияние водяных паров на теплопроводность газовой смеси устраняется осушкой газа в холодильнике, расположенном перед прибором.

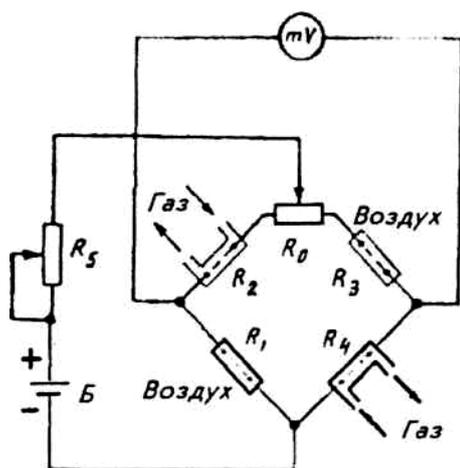


Рис. 36. Принципиальная схема электрического газоанализатора на CO<sub>2</sub>.

Электрический газоанализатор (рис. 36) работает по схеме, неуравновешенного моста, активные плечи которого R<sub>1</sub> - R<sub>4</sub> изготавливаются из тонкой платиновой проволоки и имеют одинаковое электрическое сопротивление. Плечи R<sub>2</sub> и R<sub>4</sub> помеща-

---

---

ются в рабочие камеры, через которые непрерывно просасываются дымовые газы, а  $R_1$  и  $R_3$  - в сравнительные камеры, в которых находится воздух.

Питание моста производится от включенного в его диагональ источника постоянного тока Б с реостатом  $R_5$  для регулировки силы тока. К другой диагонали моста присоединен милливольтметр  $mV$ , градуированный в процентах  $CO_2$ . При протекании тока плечи моста нагреваются до температуры  $100^\circ C$  и отдают тепло стенкам камер через слой воздуха и просасываемых через камеры дымовых газов. При просасывании через рабочие камеры дымовых газов, содержащих  $CO_2$ , теплоотдача расположенных здесь проволок по сравнению с теплоотдачей проволок в сравнительных камерах уменьшится. В результате этого температура, а вместе с ней и сопротивление плеч  $R_2$  и  $R_4$  повысится, что вызовет нарушение равновесия моста и отклонение стрелки милливольтметра на угол, соответствующий содержанию  $CO_2$  в исследуемом газе.

# Часть II. Автоматика газифицированных котлов

## 1. Функции, выполняемые автоматикой

Системы автоматике современных котлов выполняют следующие функции:

1. Автоматическое регулирование:
    - а) давления пара в барабане паровых котлов или температуры горячей воды для водогрейных;
    - б) расхода воздуха на горение (соотношение газ-воздух);
    - в) разрежения в топке;
    - г) уровня воды в барабане (для паровых котлов).
  2. Автоматическая защита котла (автоматика безопасности) отключением подачи газа при следующих предаварийных параметрах:
    - а) повышение давления пара для паровых котлов и температуры горячей воды для водогрейных;
    - б) повышение или понижение давления газа перед горелками;
    - в) понижение давления воздуха перед горелками;
    - г) понижение разрежения в топке;
    - д) погасание факела;
    - е) повышение или понижение уровня воды в барабане парового котла и отключение циркуляционных насосов для водогрейных котлов;
    - ж) отключение электроэнергии.
  3. Световая и звуковая сигнализация при срабатывании автоматики по п. 2.
  4. Дистанционный контроль ряда параметров, выносимых на щиты управления и контроля. Набор параметров определяется проектной организацией. Как правило, в их число входят:
-

---

разрежение в топке; давление воздуха за вентилятором; температура продуктов сгорания по дымовому тракту; токи электродвигателей дымососа и вентилятора и т.д.

5. Дистанционное управление направляющими аппаратами дымососа и вентилятора, питательным клапаном, регулирующим органом на газопроводе.
6. Полуавтоматический или автоматический пуск котла.

## 2. Схемы регулирования основных параметров котельного агрегата

Для котлов типа ДКВР, ДЕ, КЕ схемы автоматического регулирования предусматривают автоматическое регулирование процесса горения топлива и питания котла водой. Автоматическое регулирование процесса горения обеспечивает подачу топлива в топку в зависимости от нагрузки котла, поддержание оптимального соотношения топливо-воздух и устойчивого разрежения в топке.

Общность динамических свойств участков регулирования котла позволяет применять типовые схемы автоматического регулирования, такие как "Кристалл" (старая схема, снята с производства) или "Контур".

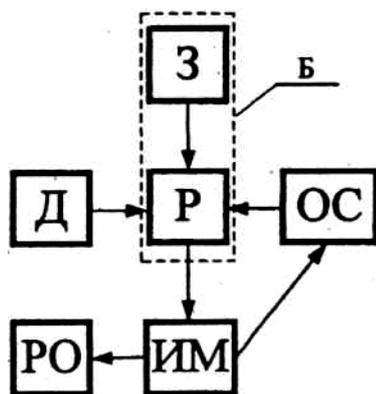


Рис. 37. Схема автоматического регулирования.

Р - регулятор;  
З - задатчик;  
Д - датчик;  
ИМ - исполнительный механизм;  
РО - регулирующий орган;  
ОС - обратная связь;  
Б - блок регулятора с задатчиком.

---

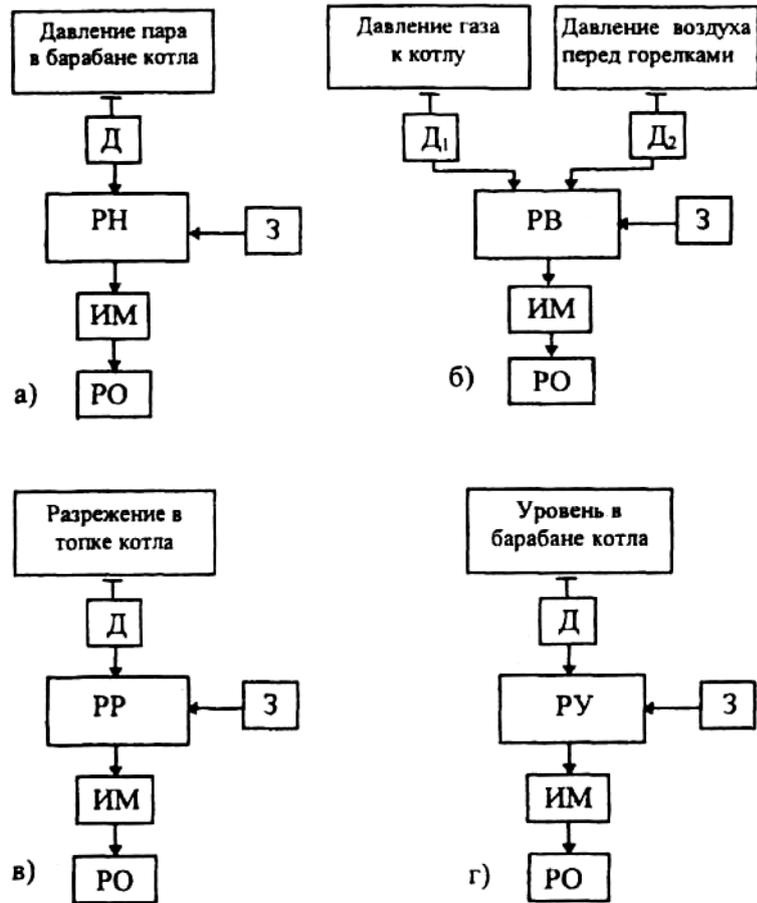


Рис. 38. Структурные схемы регулирования параметров барабанных котлов.

а - регулятор нагрузки; б - регулятор воздуха;  
 в - регулятор разрежения; г - регулятор питания;  
 Д, Д<sub>1</sub>, Д<sub>2</sub> — датчики; З - задатчик;  
 ИМ - исполнительный механизм;  
 РО - регулирующий орган; РН - регулятор нагрузки;  
 РВ - регулятор воздуха; РР - регулятор разрежения;  
 РУ - регулятор уровня.

---

Регулирование подачи топлива в топку обеспечивает соответствие паропроизводительности котла паровой нагрузке. В котлах типа ДКВР, ДЕ, КЕ роль регулятора нагрузки выполняет регулятор давления пара в барабане котла, воздействующий на изменение подачи топлива.

На рис. 37 приведена в общем виде принципиальная схема автоматического регулирования параметров котельного агрегата для указанных выше систем автоматического регулирования.

Схема включает регулирующий прибор, в который поступает сигнал от датчика регулируемой величины. Датчик - первичный прибор, который воспринимает изменение регулируемого параметра и преобразует его в электрический сигнал. Регулирующий прибор принимает команду в виде электрического сигнала от задатчика, сравнивает ее с электрическим сигналом датчика, усиливает имеющуюся разность электрических сигналов и дает команду на включение исполнительного механизма. Исполнительный механизм воздействует на регулирующий орган. Обратная связь (жесткая, гибкая и т.д.) улучшает качество регулирования.

На рис. 38 изображены структурные схемы регулирования параметров работы котельного агрегата: давления пара в барабане котла (рис. 38, а); расхода воздуха по заданному соотношению "газ - воздух" (рис. 38, б); разрежения в топке (рис. 38, в); уровня воды в барабане (рис. 38, г).

### **3. Принципиальная схема автоматики безопасности котельного агрегата**

Принципиальная схема автоматики безопасности котельного агрегата приведена на рис. 39.

Каждый параметр контролируется индивидуальным комплексом приборов и устройств. Первичный прибор, электроконтактный, обеспечивает связь с контролируемой средой и при достижении пре-

---

---

даварийного состояния размыкает (замыкает) контакты электрической цепи, включая промежуточное реле. Промежуточное реле в свою очередь включает светозвуковую сигнализацию (сигнальные лампы, табло, звонок, сирена). Реле времени, если оно включено в данную схему, обеспечивает временную задержку, во время которой можно перейти на дистанционное управление и вернуть параметры в пределы регулирования.

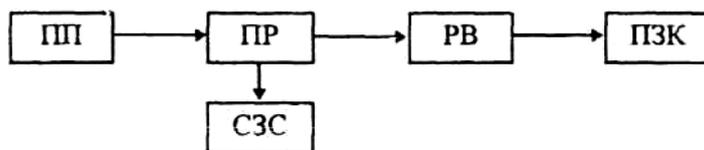


Рис. 39. Схема автоматики безопасности.

ПП - первичный прибор; ПР - промежуточное реле;  
СЗС - светозвуковая сигнализация; РВ - реле времени;  
ПЗК - предохранительный запорный клапан.

Если контролируемый параметр не удалось вывести из предаварийного состояния, то реле времени разомкнет электрическую цепь ЭПЗК.

В котлах типа ДКВР, ДЕ и ряда других в качестве клапанов-отсекателей используют клапаны ПКН (ПКВ), оборудованные электромагнитом, монтируемым, как правило, сбоку клапана на кронштейне. При наличии напряжения на клеммах электромагнит удерживает ударный молоточек во взведенном состоянии. Если подача тока на электромагнит прекращается, ударный молоточек падает, клапан закрывается, подача газа прекращается.

При достижении предаварийных значений некоторых контролируемых параметров в схемах автоматики безопасности отсутствует реле времени. В этом случае промежуточное реле не

---

---

только включает световую и звуковую сигнализацию, но и замыкает цепь питания ПЗК.

#### 4. Первичные приборы (датчики) системы автоматического регулирования котлов

Датчиком регулятора давления пара в барабане котла является манометр электрический дистанционный типа МЭД, описание и принцип работы которого приведен в п. 3.7.

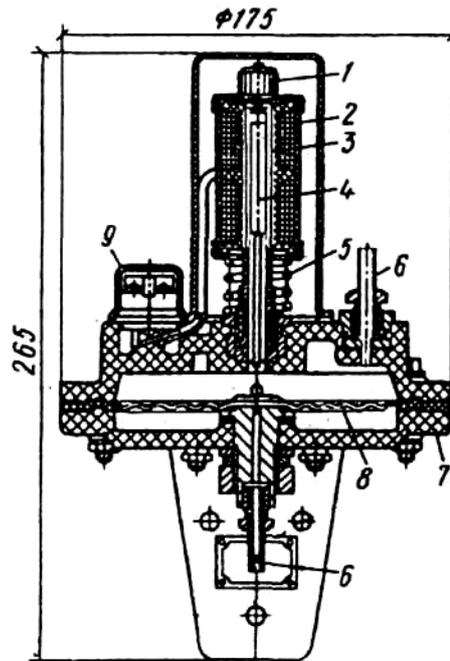


Рис. 40. Дифференциальный тягомер ДТ-2.

1 - регулировочная гайка; 2 - катушка дифференциально-трансформаторного преобразователя; 3 - разделительная трубка; 4 - плунжер; 5 - пружина; 6 - штуцер; 7 - пластмассовый диск; 8 - полая мембрана; 9 - клеммная коробка.

---

---

Датчиками в регуляторе расхода воздуха и в регуляторе разрежения в топке являются дифференциальные тягомеры ДТ-2 (рис. 40). Чувствительным элементом ДТ-2 является полая мембрана 8, закрепленная между двумя пластмассовыми дисками 7 и помещенная в герметизированную камеру. Для подвода давлений служат два штуцера 6, один из которых ведет во внутреннюю полость мембраны, а другой - в надмембранное пространство камеры. При этом большее давление (плюс) подводится через нижний штуцер, меньшее (минус) - через верхний штуцер.

При измерении избыточного давления верхний штуцер прибора соединяется с атмосферой, при измерении разрежения с атмосферой соединяется нижний штуцер. Усилие, возникающее на мембране от перепада давления, перемещает центр мембранного блока, а следовательно, и плунжер 4, находящийся внутри катушки 2 дифференциально-трансформаторного преобразователя. Катушку можно перемещать с помощью пружины 5 и регулировочной гайки 1 по разделительной трубке 3 из немагнитного материала.

Датчиком регулятора уровня воды в барабане является дифференциальный манометр, соединенный с двухкамерным уравнительным сосудом (см. Часть I, п. 5 и рис. 33, б).

В настоящее время широкое распространение получили преобразователи типа "Сапфир", используемые в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами и обеспечивающие непрерывное преобразование значения измеряемого параметра - давления, разрежения, разности давлений - в унифицированный токовый выходной сигнал постоянного тока (0 - 5 или 4 - 20 мА).

Преобразователь (рис. 41) состоит из измерительного блока и электронного устройства. Преобразователи различных параметров имеют унифицированное устройство и отличаются лишь конструкцией измерительного блока.

Изменяемый параметр подается в камеру измерительного блока 1 и линейно преобразуется в деформацию чувствительного элемента и изменение электрического сопротивления тензорезисторов, тензопреобразователя, размещенного в измерительном блоке. Электронное устройство преобразователя на базе

---

этого изменения сопротивления формирует токовый выходной сигнал.

Чувствительным элементом тензопреобразователя 3, является пластина из монокристаллического сапфира с кремниевыми пленочными тензорезисторами, прочно соединенная с металлической мембраной тензопреобразователя.

Мембранный тензопреобразователь 3 размещен внутри основания 9. Внутренняя полость 4 тензопреобразователя заполнена кремний-органической жидкостью и отделена от измеряемой среды металлической гофрированной мембраной 6, приваренной по наружному контуру к основанию 9. Полость 10 сообщается с окружающей атмосферой. Измеряемое давление подается в камеру 7 фланца 5, который уплотнен прокладкой 8.

Измеряемое давление воздействует на мембрану 6 и через жидкость передается на мембрану тензопреобразователя, вызывая ее прогиб и изменение сопротивления тензорезисторов. Электрический сигнал от тензопреобразователя передается из измерительного блока 1 по проводам через гермовывод 2.

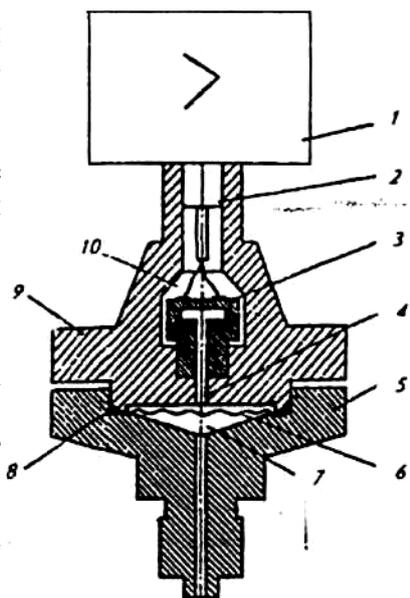


Рис. 41. Схема преобразователя «Сапфир».

- 1 - измерительный блок;
- 2 - гермовывод;
- 3 - тензопреобразователь;
- 4 - внутренняя полость тензопреобразователя;
- 5 - фланец; 6 - мембрана;
- 7 - камера фланца;
- 8 - прокладка; 9 - основание;
- 10 - полость.

## 5. Первичные приборы (датчики) автоматики безопасности

Датчиками автоматики безопасности являются:

ЭКМ - электроконтактный манометр, датчик давления пара (устройство прибора приведено в п.3.6 и изображено на рис. 24);

ЭКТ - электроконтактный термометр, контролирует температуру воды на выходе из водогрейного котла или экономайзера (см. п. 2.3):

ДН - датчик напора, ДНТ - датчик напора и тяги, СПД - сигнализатор падения давления. Эти датчики контролируют давления газа, давление воздуха, падение разрежения в топке котла.

Датчик - реле напора ДН (тяги - ДТ) (рис. 42) состоит из штуцера 1, через который подается импульс давления (тяги) измеряемой среды, чувствительного элемента - мембраны 2, настроечной пружины 3, механизма настройки реле 7.

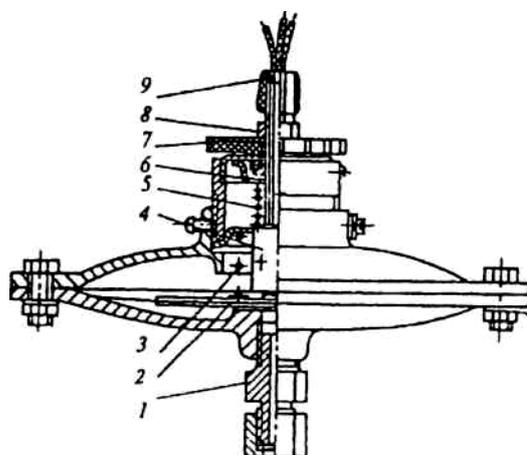


Рис. 42. Датчик-реле напора ДН-2,5

1 - штуцер; 2 - мембрана; 3 - настроечная пружина;

4 - микропереключатель;

5 - пружина возвратная; 6 - шайба; 7 - маховик механизма настройки;

8 - гайка; 9 - сальниковые уплотнения.

---

Контролируемая среда воздействует на мембрану, которая, перемещаясь, действует на кнопку микропереключателя 4, замыкая или размыкая электрическую цепь схемы защиты.

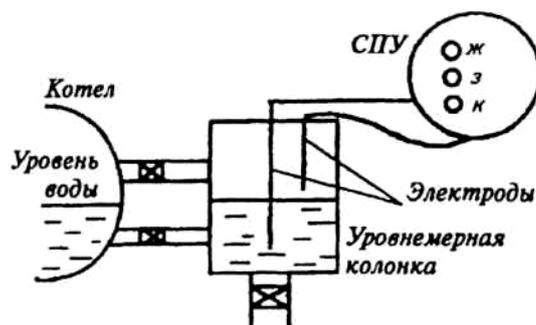


Рис. 43. Схема СПУ.

СПУ - сигнализатор предельных уровней (рис. 43) контролирует положение уровня воды в барабане котла. В уровнемерной колонке, соединенной с барабаном котла как сообщающиеся сосуды, устанавливаются два электрода (на верхний и нижний предельный уровни). На электроды подается напряжение. При уровне воды, находящейся между электродами, горит зеленая лампочка на табло СПУ. При снижении уровня ниже нижнего электрода происходит размыкание электрической цепи и загорается красная лампочка, при повышении уровня воды выше верхнего электрода загорается желтая лампочка.

Контроль погасания пламени осуществляется с помощью контрольного электрода (ионизационного датчика) или с помощью фотодатчика, которые входят в состав ЗЗУ - запально-защитного устройства.

## 6. Запально-защитное устройство (ЗЗУ)

ЗЗУ предназначены для автоматического или дистанционного розжига горелок, работающих на жидком или газообразном топливах. Входящий в комплект управляющий прибор (автомат контроля пламени АКП) 6 с датчиком 5 осуществляет контроль за наличием факела в топке.

---

Схема работы ЗЗУ приведена на рис. 44.

Управляющий импульс 1, поступающий от автомата контроля пламени (АКП) 6, одновременно подает напряжение на высоковольтный трансформатор 9 и открывает электромагнитный клапан запальника 8. Образовавшееся высокое напряжение поступает на центральный электрод запальника. Между корпусом запальника и центральным электродом образуется искра, которая воспламеняет газ. Импульс от появившегося факела передается от фотодатчика 5 (либо ионизационного датчика - контрольного электрода) на управляющий прибор АКП, где поступивший сигнал усиливается, в результате срабатывает выходное реле 10 управляющего прибора. Сигнал используется как разрешение на выполнение следующей операции при растопке, т. е. на розжиг основной горелки 3.

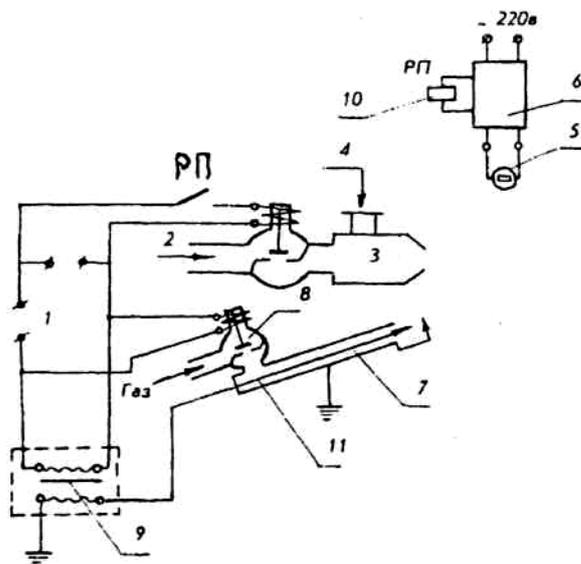


Рис. 44. Принципиальная схема ЗЗУ.

- 1 - управляющий импульс от АКП; 2 - подача топлива в основную горелку; 3 - основная горелка; 4 - подача воздуха в основную горелку; 5 - фотодатчик;  
6 - управляющий прибор (АКП); 7 - газовая линия запальника;  
8 - электромагнитный клапан; 9 - высоковольтный трансформатор;  
10 - промежуточное реле; 11 - высоковольтный электрод.

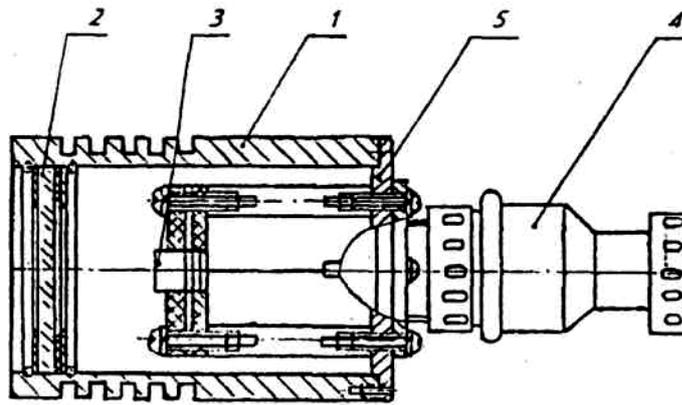


Рис. 45. Фотодатчик.

1 - корпус; 2 - стекло; 3 - фоторезистор;  
4 - штепсельный разъем; 5 - крышка.

В процессе работы котлоагрегата фотодатчик (либо ионизационный датчик) осуществляет контроль за факелом основной горелки и в случае его погасания дает команду на прекращение подачи топлива 2, при этом подача воздуха 4 на горелку не отключается. На рис. 45 приведена конструкция фотодатчика, основными элементами которого являются: корпус 1 и фоторезистор 3. Фоторезистор защищен кварцевым стеклом 2. Вывод проводов из фотодатчика осуществлен через штепсельный разъем 4.

## 7. Автоматика «Контур»

Система автоматического регулирования «Контур» предназначена для автоматизации котельных малой и средней мощности, оборудованных паровыми котлами ДКВР, ДЕ и водогрейными котлами ТВГМ.

Рассматриваемые системы представляют собой комплект датчиков, усилителей, преобразователей и исполнительных механизмов, которые в различных сочетаниях позволяют комплектовать регуляторы разной структуры: с постоянной скоростью исполнитель-

---

ного механизма (астатические), с жесткой обратной связью (статические или пропорциональные) и упругой обратной связью (изодромные) и т.д.

### **7.1. Автоматика регулирования**

Автоматика регулирования паровых котлов обеспечивает поддержание давления пара в барабане котла, регулирование подачи воздуха на горение, разрежения в топке и уровня воды в барабане.

Схема автоматики регулирования приведена на рис. 46.

Датчиком в системе регулирования давления пара в барабане котла является манометр электрический дистанционный (МЭД), преобразующий давления пара в электрический сигнал, который поступает в регулятор газа, где сравнивается с электрическим сигналом задатчика, соответствующим нормальной величине давления пара. При наличии разности этих электрических сигналов в регуляторе происходит усиление этого разбаланса и включается в работу электрический исполнительный механизм, изменяющий положение регулирующей заслонки, установленной на газовой линии. Расход газа на котел при этом изменяется, и давление пара выравнивается.

В схеме регулирования подачи воздуха заданное соотношение «газ - воздух» может осуществляться по-разному (путем измерения и сравнения расходов топлива и воздуха, либо с помощью сравнения их давлений).

На схеме рис. 46 заданное соотношение «газ - воздух» регулируется путем измерения давлений газа и воздуха. Датчиками давления газа и давления воздуха являются ДТ-2. Электрические сигналы от датчиков ДТ-2 поступают в регулятор расхода воздуха, в котором сравниваются с электрическим сигналом задатчика. При наличии разбаланса сигналов включается исполнительный механизм, который изменяет положение регулирующего органа на воздушной линии (осевой направляющий аппарат вентилятора, заслонки и др.). Датчиком в схеме регулирования разрежения в топке котла является ДТ-2. Электрический сигнал от датчика поступает в регулятор разрежения, где сравнивается с электрическим сигналом задатчика.

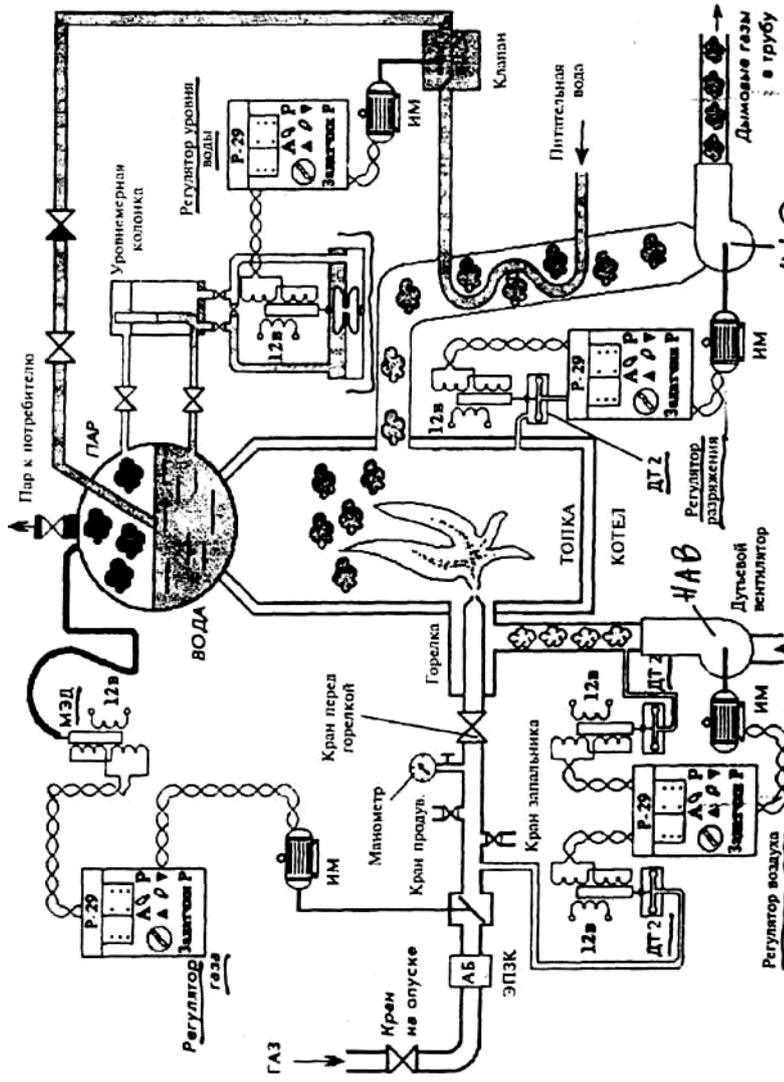


Рис. 46. Схема автоматического регулирования "Контур"

---

При включении исполнительного механизма происходит перемещение регулирующего органа (шибера, осевого направляющего аппарата дымососа).

В схеме регулирования уровня воды в барабане от датчика измерения уровня - дифманометра ДМ-6, используемого в качестве гидростатического уровнемера, электрический сигнал поступает в регулятор уровня воды. При наличии разбаланса электрических сигналов ДМ-6 и задатчика включается исполнительный механизм, перемещающий положение питательного клапана, регулирующего подачу питательной воды в барабан котла.

#### Проверка автоматики регулирования

Автоматика регулирования проверяется ежемесячно. Для проверки работы регуляторов необходимо:

- зафиксировать по прибору на щите котла значение регулируемого параметра;
- перевести режим работы регулятора из положения «автомат» на ручное управление;
- тумблером в сторону «больше» или «меньше» изменить значение параметра (не более, чем на 10%);
- вернуть переключатель режима работы регулятора в положение «автомат». Значение параметра по прибору должно восстановиться до начального.

## **7.2. Автоматика безопасности**

Принципиальная схема автоматики безопасности парового котла приведена на рис. 47. Защита котла путем отключения подачи газа осуществляется при повышении давления пара, повышении и понижении уровня воды в барабане, понижении давления газа и воздуха перед горелками, понижении разрежения в топке, при повышении температуры на выходе из экономайзера, отключении дымососа, погасании факела и прекращении подачи электроэнергии.

Как видно из рис. 47, в схеме ряда контролируемых параметров в систему защиты включено реле времени. Рассмотрим работу автоматики безопасности при повышении температуры воды на выходе из экономайзера.

---



---

Датчиком температуры является электроконтактный термометр ЭКТ. При замыкании электрического контакта стрелки прибора с неподвижным контактом происходит замыкание электрической цепи промежуточного реле, которое втянет три контакта и замкнет в свою очередь цепи световой и звуковой сигнализации, а также цепь реле времени (при нормальной работе котла цепь реле времени обесточена). По истечении определенного времени, если оператор, перейдя с автоматического регулирования на дистанционное управление, не вывел данный контролируемый параметр из предаварийного состояния, через цепь реле времени пойдет ток. При этом произойдет размыкание контакта цепи, питающей электромагнитный клапан ЭПЗК. Подача газа на котел при этом прекратится.

Датчиком контроля давления пара является электроконтактный манометр ЭКМ. Датчиками контроля уровня в барабане являются два электрода (ВАУ и НАУ - соответственно высшего и низшего аварийного уровней), расположенные в уровнемерной колонке барабана. Электроды подсоединены к сигнализатору положения уровня СПУ, который электрически связан с промежуточным реле.

Датчиком разрежения в топке является ДНТ или сигнализатор падения давления СПД. Датчиком давления воздуха является ДНТ.

При погасании факела, отключении дымососа или понижении давления газа перед горелкой произойдет немедленное отключение подачи газа на котел. Так, например, при погасании факела разорвется электрическая цепь между контрольным электродом КЭ и корпусом горелки. Автомат контроля пламени АКП при этом разорвет электрическую цепь промежуточного реле. При этом замкнутся два контакта в цепи световой и звуковой сигнализации и разорвется электрическая цепь питания электромагнитного клапана ЭПЗК. Подача газа на котел прекратится.

### **7.3. Пуск и останов котла с автоматикой "Контур"**

При розжиге котла с автоматикой полностью сохраняется порядок работ при розжиге котла без автоматики, который подробно излагается в учебном пособии для операторов газифицированных котельных Тазовое топливо и газовое оборудование" (М, ГУЦ «Профессионал», 2000).

---

---

Дополнительно выполняются следующие операции:  
при подготовке котлоагрегата к работе

- все ключи управления на щите котла перевести в положение "отключено", регуляторы перевести на дистанционное (ручное) управление;
- подать напряжение на щит управления;
- проверить работу каждого исполнительного механизма и регулирующего органа. При нажатии на кнопку (тумблер) "больше" рычаг изменяет положение, открывая регулирующий орган. При нажатии на кнопку "меньше" рычаг возвращается в исходное положение, закрывая регулирующий орган.

Котлы с автоматикой "Контур" могут оснащаться переносными запальниками и электрозапальниками, входящими в запально-защитное устройство (ЗЗУ).

при розжиге запально-защитным устройством

- повернуть ключ управления котлом в положение "Розжиг". При этом срабатывает ЗЗУ - включается реле времени, включается катушка зажигания, открывается газовый электромагнитный клапан (вентиль) запальника;
- при появлении пламени запальника контрольный электрод (или фотодатчик) ЗЗУ дает импульс на отключение катушки зажигания;
- после розжига горелок нажать на пульте котла кнопку "Пуск" и ввести в зацепление с электромагнитной защелкой ударный молоточек. На табло должна засветиться надпись "Автоматика безопасности включена";
- проверить световую и звуковую сигнализацию автоматики безопасности.

Включение автоматики регулирования производится через 1,5-2 часа после розжига горелок. Когда из воздушников или предохранительного клапана пойдет пар, закрыть их. Регулятор питания котла водой (регулятор уровня) перевести с дистанционного на автоматический режим. Когда давление пара будет равным или близким заданному значению, перевести переключатели режимов работы из положения дистанционного управления в автоматический: режим

---

---

в следующей последовательности: регулятор разрежения, регулятор расхода воздуха, регулятор давления пара в барабане котла.

Убедившись, что газовое оборудование и автоматика работают нормально, произвести запись в журнал о розжиге котла.

при плановом останове котла

- вывести из зацепления с электромагнитной защелкой ударный молоточек ПЗК и уложить его на планку;
- перевести переключатель режима работы регулятора газа с автоматического на ручное управление;
- постепенно в соответствии с графиком останова котла снижать теплопроизводительность горелок до минимального уровня;
- ключ управления котлом установить в положение "Защита отключена предварительно";
- после выключения всех горелок ключ управления котлом поставить в положение "Выключено";
- снять напряжение со щита управления котлом. Произвести запись в журнал о плановом останове котла.

## **8. Автоматика АМК-У**

Система автоматики микрокотлов унифицированная АМК-У выпускалась в восьми модификациях и предназначена для паровых котлов малой производительности до 1.6 т/ч (например, МЗК-7АГ, Е-1-9 и др.), а также малых водогрейных котлов, работающих на жидком и газообразном топливах.

### **8.1. Функции автоматики АМК-У**

Эта система обеспечивает двухпозиционное в заданных пределах автоматическое регулирование давления пара и уровня воды в барабане для паровых котлов или температуры горячей воды - для водогрейных котлов, а также поддержание разрежения в топке и необходимую подачу воздуха в соответствии с расходом топлива.

Защита производит отключение подачи топлива на котел при:

- превышении давления пара сверх допустимого;
-

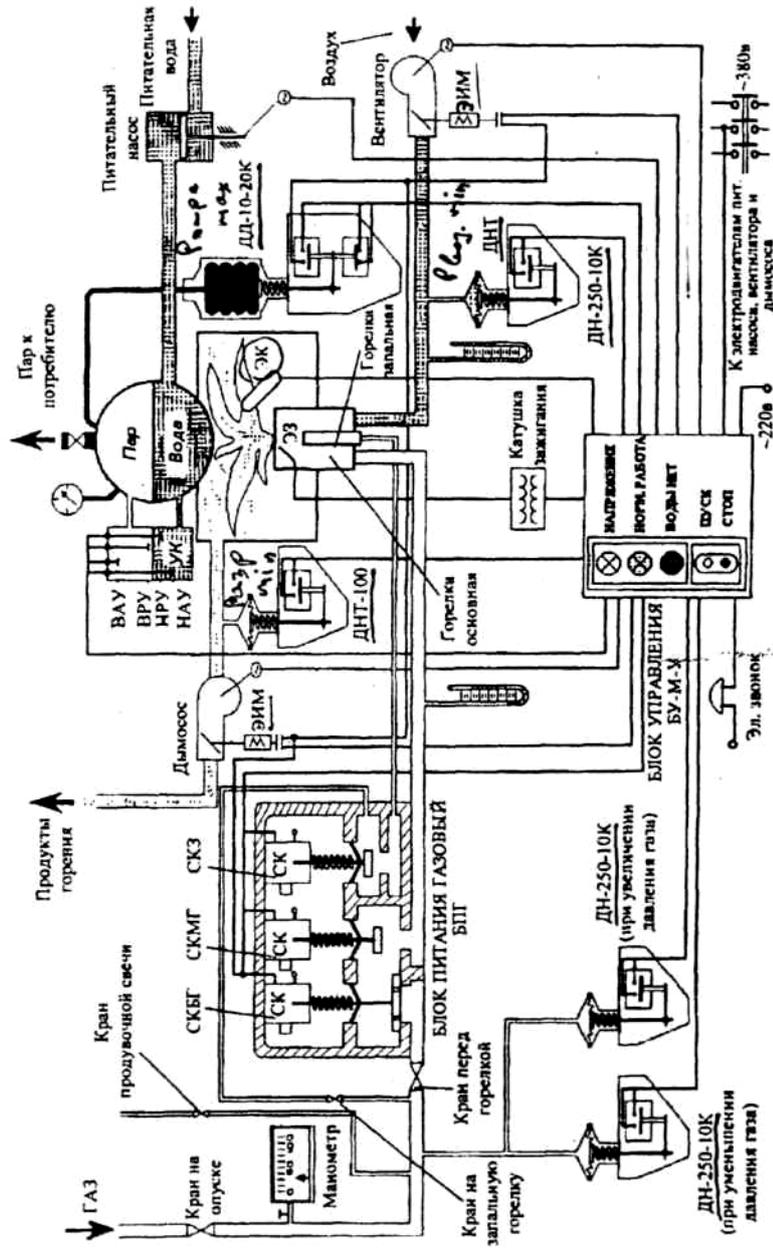


Рис. 48. Схема автоматизации АМК-У

- 
- падении уровня воды в барабане;
  - понижении давления воздуха перед горелками;
  - понижении разрежения в топке;
  - повышении и понижении давления газа перед горелками;
  - погасании пламени горелки или форсунки;
  - прекращении подачи электроэнергии.

Система автоматики обеспечивает полуавтоматический пуск и останов котла, звуковую сигнализацию при достижении выше приведенными параметрами аварийных значений, а также световую сигнализацию о нормальной работе котла и при упуске воды из барабана.

Автоматическая защита построена таким образом, что после ее срабатывания по любому аварийному параметру (кроме погасания пламени) и его восстановления до нормы самозапуск котла исключается и необходимо вмешательство оператора.

Источником питания систем автоматики служит сеть переменного тока напряжением 220/380 В.

## **8.2. Основные элементы системы автоматики**

Основными элементами системы автоматики АМК-У (см. рис. 48) являются:

- блок управления модернизированный БУ-М, в котором размещены все элементы, обеспечивающие управление пуском и остановом, регулирование, защиту, сигнализацию и т.д.;
- блок питания газовый;
- устройства розжига и контроля пламени;
- датчики давления, напора, тяги, уровня воды в барабане и т.д.

Блок питания газовый (БПГ) (рис. 49) - устройство, позволяющее производить не только подачу и отсечку газа, но и ступенчатое регулирование расхода, а также включение или отключение газового запальника.

В корпусе 14 блока имеются два отверстия с седлами, перекрываемыми клапанами "большого" 16 и "малого" 13 горения, которые

---

могут перемещаться в основной полости крышки 1. В правой части крышки имеется дополнительная полость, в которой расположен клапан запальника 12. Привод клапанов осуществляется специальными электромагнитами 6, 7, 8. Клапаны с помощью штоков 2 и 5 соединены с сердечниками электромагнитов и с помощью пружин 4 прижимаются к седлам.

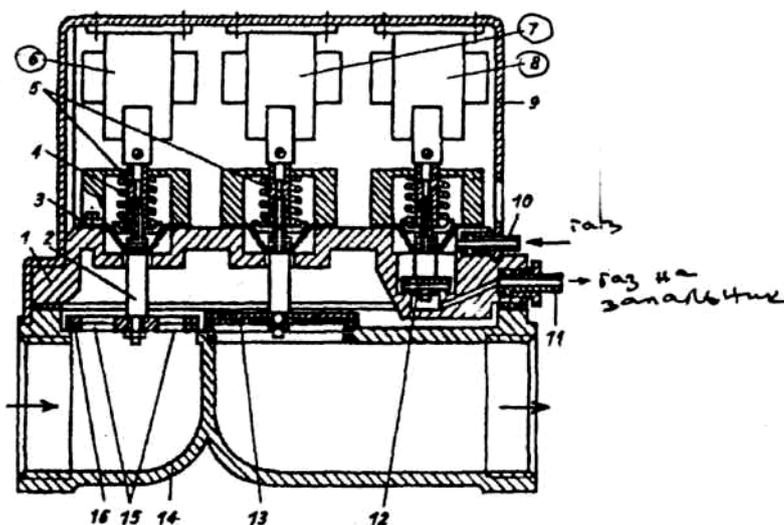


Рис. 49 Блок питания газовой (БПГ)

- 1 - крышка; 2,5 - штоки; 3 - мембрана; 4 - пружина;
- 6, 7, 8 - электромагниты; 9 - коробка; 10, 11 - штуцера;
- 12 - клапан запальника ЦЗ - клапан малого горения;
- 14 - корпус блока; 15 - отверстия в клапане большого горения;
- 16 - клапан большого горения.

Для предотвращения проникновения газа из основной и дополнительной полостей крышки в коробку 9, где находятся электромагниты, служит мембрана 3.

В исходном положении, когда электромагниты обесточены, все три клапана находятся в закрытом положении, вследствие чего

---

газ не подается к основной горелке и запальнику. При этом газ входного давления поступает через отверстия 15 в клапане "большого" горения из корпуса в основную полость крышки и дополнительно поджигает клапан "малого" горения к седлу, обеспечивая его герметичность.

Через штуцер 10 газ подается к клапану запальника. При подаче тока на электромагнит 8 в него втягивается сердечник, вследствие чего поднимается клапан 12 и газ направляется к запальному устройству через штуцер 11. Подача газа к основной горелке для ее работы на малом режиме происходит при подаче тока на электромагнит 7 и подъеме клапана 13. В этом случае расход газа определяется диаметрами отверстий 15 в клапане "большого" горения 16.

При переводе основной горелки на номинальный режим горения на электромагнит 6 подается ток и открывается клапан "большого" горения 16.

Блок управления модернизированный (БУ-М) состоит из металлического корпуса с крышкой и каркаса, расположенного внутри него.

На правой стороне корпуса имеется окно для осуществления внешнего монтажа, а также специальный штуцер, через который может осуществляться подача воздуха от вентилятора для охлаждения элементов схемы блока управления.

На левой стороне корпуса расположены три сигнальные лампы (белая - "напряжение", зеленая - "нормальная работа", красная - "воды нет") и кнопки "пуск" и "стоп".

Блок управления связан электрической схемой с блоком питания газовым, со всеми датчиками и устройствами, установленными на котле.

В блоке управления расположен трансформатор зажигания, магнитный пускатель, тепловое реле времени и т.д.

Датчик давления контактный сдвоенный ДДК-П (рис. 50) предназначен для размыкания электрических контактов цепей автоматики при повышении давления пара до верхнего предела и цепей защиты - при достижении давлением пара аварийного значения.

---

Чувствительными элементами датчика давления являются два сильфона 2, находящиеся в камерах. Камеры имеют выводные штуцеры 1 для подсоединения к паровому пространству котла. Каждый сильфон посредством штока 3 связан с рычажной системой 4. Перемещение штока при подаче заданного давления в камеру датчика через рычажную систему передается кнопке микропереключателя 5, который расположен в стойке 8. С помощью регулировочных винтов 7, которые поджимают пружины 6, датчик давления настраивается таким образом, чтобы срабатывание микровыключателя происходило в первой камере - при верхнем пределе давления пара, а во второй камере - при аварийном давлении.

### 8.3. Автоматика регулирования

#### а) Регулирование давления пара в барабане котла

Регулирование давления пара производится двухпозиционным регулятором. Импульс по давлению пара по-

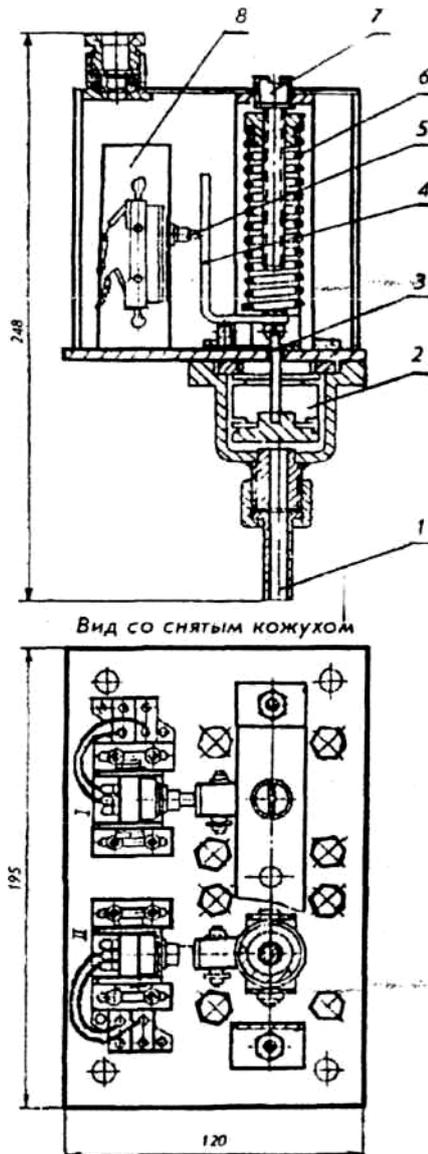


Рис. 50. Датчик давления контактный сдвоенный типа ДДК-П.

стует от датчика давления ДДК-П. При нормальной работе котла, когда давление пара находится в заданных пределах, по цепям соленоидных клапанов СКМГ горения блока соленоидов БС-М протекает ток и подача газа осуществляется через клапаны К-70 "большого" и К-40 "малого" горения.

При превышении давления пара датчик давления, работающий в режиме регулирования, отключит питание СКБГ блока соленоидов и клапан К-70 "большого" горения закроется. Работа котла при этом продолжается при открытых клапанах запальника и "малого" горения. Отключение клапана "большого" горения приводит к уменьшению расхода топлива до 40 % от номинального и, как следствие, к снижению давления пара в котле.

При достижении минимального регулируемого уровня давления пара в барабане датчик давления ДД-И замкнет цепи питания СКБГ блока соленоидов и клапан "большого" горения откроется. Расход топлива достигнет при этом номинального значения, соответствующего 100%.

б) Регулирование расхода воздуха на горение и разрежения в топке котла

Система АКМ-У обеспечивает пропорциональное изменение подачи воздуха и регулирование разрежения в топке котла.

При отключении питания СКБГ одновременно включаются электромагнитные исполнительные механизмы ЭИМ, прикрывающие регулирующие заслонки дутьевого вентилятора и дымососа.

Исполнительные механизмы управляются таким образом, что максимальному расходу топлива соответствует максимальный расход воздуха (максимальное открытие воздушной заслонки) и максимальное открытие заслонки дымососа.

Положения максимального и минимального открытия заслонок устанавливаются с помощью регулировочных винтов, которые находятся в приводе заслонок, исходя из условий оптимального сжигания газа и обеспечения заданного разрежения в топке.

в) Регулирование уровня воды в барабане котла

Регулирование питания котла водой осуществляется двухпозиционным регулятором уровня. Датчиками уровня являются два электрода, жестко укрепленных в урвнемерной колонке (УК) и элек-

---

---

трически изолированных от корпуса колонки. Один из датчиков устанавливается на нижнем регулируемом уровне (НРУ), а другой - на верхнем регулируемом уровне (ВРУ).

В зависимости от схемы привода питательного насоса и его типа роль исполнительных органов выполняют различные элементы.

Если питательный насос мембранного типа и расположен на одном валу с вентилятором, то функции исполнительного органа регулятора выполняет электромагнитный исполнительный механизм ЭИМ, управляющий клапаном перепуска масла в системе гидравлического привода мембранного питательного насоса. Открытие клапана перепуска приводит к прекращению работы питательного насоса без отключения работающего двигателя.

В случае питания котла от насоса, приводящегося в движение индивидуальным электродвигателем, функции исполнительного механизма выполняет магнитный пускатель, управляющий работой двигателя питательного насоса.

При пониженном уровне воды в котле реле уровня обесточено, включен магнитный пускатель и питательный насос работает с номинальной производительностью. Как только уровень воды достигнет верхнего регулируемого уровня, включается реле уровня и контактом разрывает цепь питания магнитного пускателя, отключая привод питательного насоса. Питание котла водой прекращается. Регулирование расхода воды питательным насосом не предусматривается, уровень воды в барабане регулируется от нижнего до верхнего регулируемого уровня включением насоса на номинальную производительность и отключением его.

г) Регулирование температуры жидкого топлива

В котлах, работающих на жидком топливе, применяется подогрев топлива до  $t = 80 - 105$  °С. Подогрев осуществляется электрическим нагревателем. Регулирование температуры топлива осуществляется автоматическим включением и отключением нагревателя. В качестве датчика температуры используется комбинированное реле. Если температура жидкого топлива недостаточна, контакт датчика температуры замыкается, срабатывает реле и включается электронагреватель.

---

---

## **8.4. Автоматика безопасности**

### **А. Защита котла при аварийном повышении давления пара**

Защита котла при превышении давления пара выше заданного осуществляется с помощью контактного сдвоенного датчика давления ДЦК-И - его второй камерой.

Действие датчика давления аналогично действию в схеме регулирования давления пара. Различие состоит в том, что настройка производится на более высокое давление срабатывания, чем при регулировании. При превышении значения давления пара, заданного настройкой, происходит отключение цепей питания соленоидных клапанов блока соленоидов и отключение подачи газа на клапаны запальника, "большого" и "малого" горения.

### **Б. Защита котла при прекращении подачи воздуха и тяги**

Датчиками автоматических устройств защиты при прекращении подачи воздуха и тяги служат датчики ДН и ДНТ.

При падении давления воздуха или разрежения в топке до предаварийных значений срабатывают соответственно датчик напора ДН-250-10К и датчик тяги ДНТ-100, сигнал от которых поступает в блок управления, откуда выработается электрический сигнал на отключение питания соленоидных клапанов блока питания газового (БПГ).

### **В. Защита котла припуске воды**

Датчиком автоматического устройства защиты при аварийном понижении уровня воды в зависимости от типа котла является электрод аварийного уровня, устанавливаемый в уровнемерной колонке УК. Пока уровень воды выше аварийного, имеется контакт между водой и электродом, реле уровня находится под током и контакт его замкнут. Припуске воды разрывается цепь питания реле уровня и происходит отключение подачи топлива.

**Г. Защита котла при аварийном погасании пламени** Устройство контроля пламени представляет собой усилитель постоянного напряжения, к входным клеммам которого подключается чувствительный элемент. На выходе усилителя устанавливается реле контроля пламени, контакты которого управляют включением и отключением газовых и мазутных клапанов и системы зажигания.

---

При работе котла на газе чувствительным элементом является специальный контрольный электрод ЭК, установленный в топочной камере изолированно от корпуса горелки и котла таким образом, что конец его омывается пламенем горелки (или запальника). При работе на жидком топливе чувствительным элементом является фотоэлемент ФЭ, для чего в системе АМК предусмотрен фотоэлектрический датчик ФД. Принцип работы устройства по контролю пламени основан на том, что между входными клеммами этого устройства включен детектирующий элемент, способный проводить ток только в одном направлении. При наличии горящего факела, омывающего контрольный электрод ЭК и корпус горелки, пламя само является детектирующим элементом.

При наличии пламени от сжигания жидкого топлива роль детектирующего устройства выполняет фотоэлемент, проводящий ток только в одном направлении при освещении его лучами пламени.

Если в процессе работы котлоагрегата пламя погаснет, напряжение на вход усилителя не подается и реле выключит питание клапанов "большого" СКБГ и "малого" СКМГ горения, включит контакты трансформатора зажигания ТЗ-2 и подаст напряжение на тепловое реле времени. Если в течение 20 - 45 сек пламя не восстановится (а оно может восстанавливаться, т.к. клапан-запальника СКЗ открыт), тепловое реле времени срабатывает и разрывает цепь питания реле защиты. Подача топлива через запальник прекращается и котел гаснет.

### ***8.5. Полуавтоматический пуск котельного агрегата***

Перед пуском котла необходимо подать рубильником напряжения на блок управления БУ-М и вспомогательное оборудование. Открыть крышку блока управления и нажать кнопку теплового реле времени, если контакты его разомкнуты. Подать воду к питательному насосу, открыть трубопровод безопасности и подать газ к клапанам К-70 и К-40, а также к блоку соленоидов.

Полуавтоматический пуск котла осуществляется нажатием кнопки "Пуск" на блоке управления. При этом включаются в работу электродвигатели вентилятора, дымососа, питательного насоса и

---

---

зажигается лампочка "Напряжение". Происходит вентиляция топки, заполнение котла водой, после чего гаснет табло "Воды нет".

Через некоторое время, необходимое для вентиляции топки, производится вторичное нажатие на кнопку "Пуск". После этого включается трансформатор зажигания и открывается соленоидный клапан запальника. Возникающая при этом искра между корпусом горелки и изолированным электродом зажигания воспламеняет газ, идущий на запальник. Одновременно включается тепловое реле времени, через нагреватель которого начинает протекать ток. Уставка реле времени - 25 - 40 сек.

Наличие пламени запальника контролируется с помощью контрольного электрода ЭК при сжигании газового топлива либо с помощью фотоэлемента при сжигании жидкого топлива. В результате срабатывания реле контроля пламени отключается трансформатор зажигания и тепловое реле времени. Далее включаются соленоидные клапаны "большого" и "малого" горения блока соленоидов и открываются клапаны К-70 и К-40, обеспечивая зажигание горелки. Одновременно с открытием клапанов включаются исполнительные механизмы, полностью открывающие воздушную и дымовую заслонки.

Успешное завершение пуска сопровождается загоранием табло "нормальная работа". После этого нужно закрыть трубопровод безопасности.

Если пуск котла окажется неудачным и в течение 25-40 сек после вторичного нажатия на пусковую кнопку воспламенение топлива не произойдет, сработает тепловое реле времени и разорвет цепь питания реле защиты. При этом подача топлива в котел прекратится. В этом случае, чтобы осуществить вторичную попытку пуска, необходимо нажать на кнопку возврата теплового реле времени.

### **8.6. Останов котельного агрегата**

Останов котла осуществляется нажатием на кнопку "стоп". При этом обесточивается реле защиты и происходит отключение цепей питания соленоидных клапанов блока соленоидов и отключение подачи газа на клапаны запальника, "большого" и "малого" горения. Гаснет сигнальная лампочка "нормальная работа". Топка продолжает вентилироваться. После погасания факелов необходимо закрыть

---

---

запорные устройства на газопроводе и открыть трубопровод безопасности. Через определенное время, необходимое для вентиляции топки, производится повторное нажатие на кнопку "стоп". При этом происходит выключение электродвигателей вентилятора, дымососа, питательного насоса. Далее рубильником отключается электрическое питание блока управления.

## **9. Комплект средств управления (КСУ)**

Комплект средств управления предназначен для паровых и водогрейных котлов малой мощности, работающих на жидком и газообразном топливе низкого и среднего давлений. КСУ является развитием системы автоматического управления АМК-У.

Для водогрейных котлов выпускается в двух модификациях:

КСУ-1-Г-2 - для низкого давления газа,

КСУ-1-Г-3 - для среднего давления газа.

Для паровых котлов имеется три модификации:

КСУ-2П-1-Г - для котлов с естественной циркуляцией, работающих под разрежением;

КСУ-2П-2-Г - для котлов с естественной циркуляцией, работающих под наддувом;

КСУ-2П-3-Г - для прямоточных котлов, работающих под наддувом.

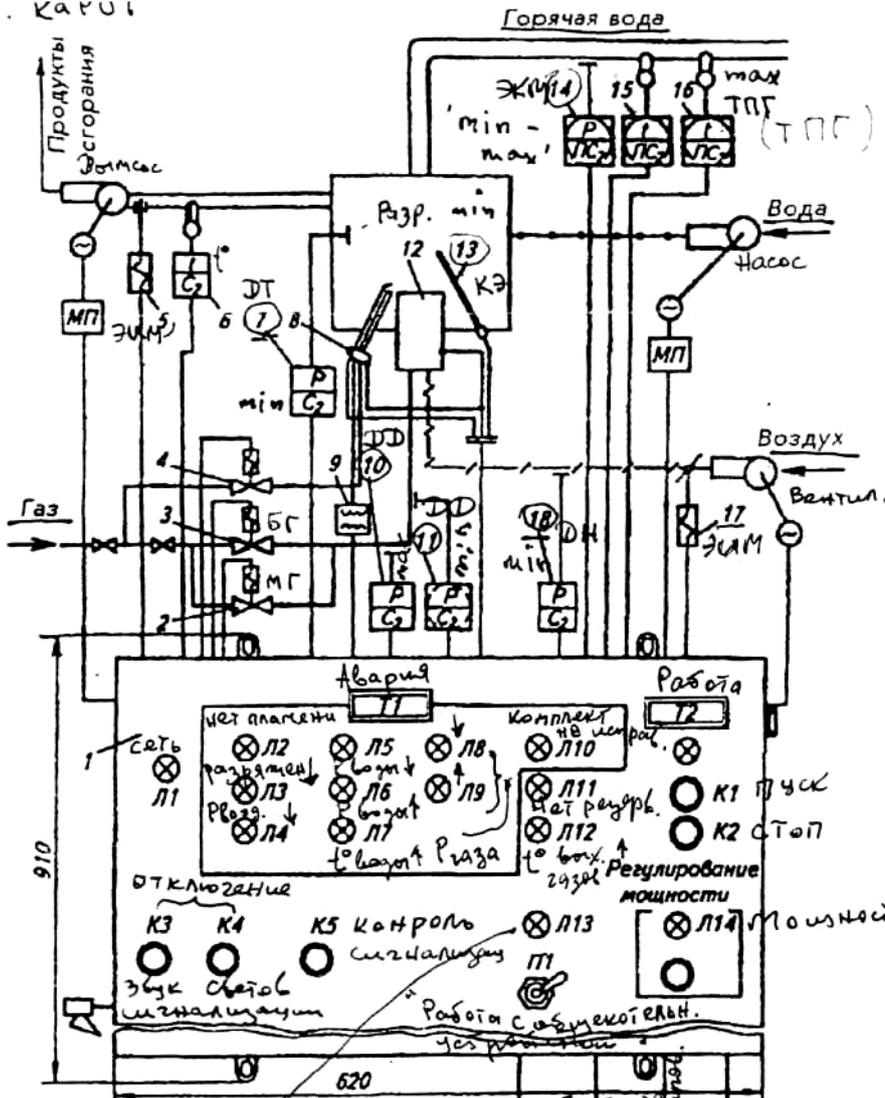
### **9.1. Комплект средств управления КСУ-1-Г**

Комплект средств управления (рис. 51) обеспечивает двухпозиционное регулирование температуры горячей воды на выходе из водогрейного котла, регулирование подачи воздуха и разрежения в топке.

Защита котла (автоматика безопасности) осуществляется по следующим параметрам:

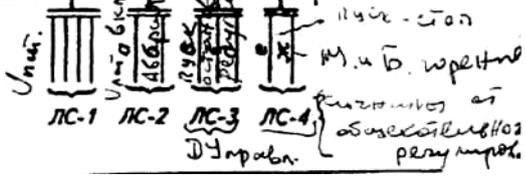
- повышение температуры горячей воды;
  - понижение и повышение давления газа перед горелками;
  - понижение и повышение давления воды в котле;
  - понижение давления воздуха перед горелками;
  - понижение разрежения в топке;
  - погасание пламени горелки;
  - исчезновение напряжения питания;
  - неисправности блоков комплекта.
-

КАПУЛ



котёл отключён обслуживанием обслуживающим

линии связи



---

Рис. 51. Принципиальная схема комплекта I средств управления КСУ-1-Г.

1 - шкаф комплекта; 2, 3 - отсечные клапаны; 4 - клапан-отсекатель запальника; 5, 17 - исполнительные механизмы типа ЭИМ; 6 - датчик-реле температуры; 7, 10, 11, 18 - датчики-реле тяги, давления, напора; 8 - электрозапальник; 9 - катушка зажигания; 12 - горелка; 13 - контрольный электрод; 14 - манометр электроконтактный; 15, 16 - термометры манометрические; Т1 - табло «Авария»; Т2 - табло «Работа»; (Л1...Л14) - лампы; Л1 - «Сеть»; Л2 - «Нет пламени»; Л3 - «Разрежение низкое»; Л4 - «Давление воздуха низкое»; Л5 - «Давление воды низкое»; Л6 - «Давление воды высокое»; Л7 - «Температура воды высокая»; Л8 - «Давление газа низкое»; Л9 - «Давление газа высокое»; Л10 - «Комплект неисправен»; Л11 - «Нет резервирования»; Л12 - «Температура отходящих газов высокая»; Л13 - «Котел отключен общекотельным устройством»; Л14 - «Включено»; К1...К5 - кнопки: К1 - «Пуск»; К2 - «Стоп»; К3 - «Отключение звуковой сигнализации»; К4 - «Отключение световой сигнализации»; К5 - «Контроль сигнализации»; П1 - переключатель «Работа с общекотельным устройством»; ЛС-1 ... ЛС-4 - линии связи: ЛС-1 - «Питающая сеть 380/220 В, 50 Гц»; ЛС2 - «Сигнал диспетчеру» (*a* - «Включение питающего напряжения»; *b* - «Авария»); ЛС-3 - «Дистанционное управление» (*в* - «Пуск»; *г* - «Останов»; *д* - «Включение регулирования»); ЛС-4 - «Сигналы от общекотельного устройства регулирования» (*e* - «Пуск-стоп»; *ж* - «Малое горение - большое горение»).

Автоматика обеспечивает световую и звуковую аварийную сигнализацию с запоминанием первопричины по каждому из аварийных параметров; предупредительную сигнализацию при нарушении работы одного из резервных каналов и при повышении температуры отходящих газов; выдачу на диспетчерский пункт сигналов о подаче питающего напряжения на комплект и об аварийной остановке котла; дистанционное включение и отключение котла, а также включе-

---

ния регулирования; работу общекотельного устройства регулирования; автоматические пуск и останов котла; рабочую сигнализацию.

### **9.2. Автоматика регулирования**

Автоматика регулирования обеспечивает поддержание в заданных пределах температуры воды на выходе из котла, регулирование подачи воздуха разрежения в топке и может осуществляться в двух режимах: совместно с общекотельным устройством регулирования и без него. Выбор режима регулирования осуществляется тумблером "Работа с общекотельным устройством" (тумблер П1).

При работе без общекотельного устройства датчиком в системе регулирования является контактный манометрический термометр 15.

Если температура горячей воды находится в интервале между нижним и верхним регулируемыми значениями, газ к горелке поступает через два клапана: "большого горения" 3 и "малого горения" 2. Заслонки на воздухопроводе и газоходе полностью открыты. В этом случае горелки котла работают со 100% тепловой мощностью. Температура горячей воды при этом повышается. При достижении верхнего регулируемого уровня происходит замыкание контакта манометрического термометра и отключение электрического питания электромагнитного клапана "большого горения". Тепловая мощность горелки снижается при этом до 40%. Одновременно с отключением клапана "большого горения" срабатывают ЭИМ 5 и 17, перекрывая частично воздуховод и газоход, обеспечивая необходимый расход воздуха и разрежение в топке.

При работе с общекотельным устройством комплект КСУ-1 выполняет следующие команды: сигнал на пуск котла; сигнал на останов котла; сигнал на установку 100% тепловой мощности; сигнал на установку 40% тепловой мощности горелки и соответствующее этой нагрузке прикрытие заслонок на воздушной и дымовой линиях.

### **9.3. Автоматика безопасности**

Ниже приводятся параметры, по которым осуществляется защита котла, и используемые при этом датчики:

---

- 
- температура горячей воды - электроконтактный манометрический термометр 16 типа 1111 -СК;
  - давление газа: верхний уровень - электроконтактный манометр ЭКМ- IV (датчик - реле давления 11 типа ДЦ-06-11К); нижний уровень - датчик реле давления 10 типа ДД-06-11К (датчик реле напора 10 типа ДН-250-11К);
  - давление воздуха: датчик реле напора 18 типа ДН-250-11К;
  - разрежение в топке: датчик реле тяги 7 типа ДТ-40-11К;
  - давление воды - электроконтактный манометр 14 типа ЭКМ-IV;
  - погасание пламени - контрольный электрод 13 типа КЭ.

При срабатывании датчиков, контролирующих параметры безопасности, а также при исчезновении напряжения питания обесточиваются исполнительные реле, разрывая цепи питания электромагнитных клапанов "большого" и "малого" горения, и подача газа к котлу прекращается. Одновременно загораются световое табло Т1 - "Авария" и сигнальная лампа первопричины аварии, замыкается цепь питания звукового сигнала. Звуковой сигнал отключают нажатием кнопки КЗ "Отключение звуковой сигнализации". После сброса сигнализации и после остановочной вентиляции комплект вновь готов к работе, но пустить его можно только с помощью кнопки К1 "Пуск", а не дистанционно.

#### **9.4. Пуск и останов котла**

Перед началом работы комплекта необходимо выставить на наборном поле дешифратора временные выдержки (программу работы автоматики): задержки на включение контроля разрежения; понижения давления воды и воздуха; предварительной вентиляции топки; розжига запальника, розжига основного факела; на установление устойчивого горения основного факела; прогрева котла; послеостановочной вентиляции).

Перед каждым пуском необходимо:

1. Включить автоматический выключатель (при этом загорается лампа 1 "Сеть").
  2. Проверить исправность световой и звуковой сигнализации нажатием кнопки К5 "Контроль сигнализации".
-

- 
3. Убедиться в отсутствии аварийных параметров.
  4. Выбрать режим работы комплекта (с общекотельным устройством или без него) путем установки тумблера П1 в соответствующее положение.
  5. Для пуска котла необходимо нажать кнопку К1 "Пуск", и комплект начинает обрабатывать программу розжига в такой последовательности:
    - ставится под контроль отсутствие аварийного состояния температуры и давления воды;
    - включаются электродвигатели вентилятора, дымососа, циркуляционного насоса;
    - заслонки на воздуховоде и газоходе открываются на 100% открытие;
    - производится вентиляция топки и газоходов;
    - начинается цикл розжига запальника: подается питание на катушку зажигания 9 типа Б-115 и открывается электромагнитный клапан запальника, включается контроль действия устройства защиты по погасанию пламени; после поступления сигнала о наличии пламени запальника подается питание на электромагнитный клапан "малого горения"; после отсчета определенного времени отключается контрольный электрод пламени запальника и подключается контрольный электрод горелки; загорается световое табло Т2 "Работа" и гаснет лампочка "Пуск"; отсчитывается время на установку устойчивого горения факела и отключается электромагнитный клапан запальника; осуществляется прогрев котла, и котел готов к регулированию мощности; включение "регулирование мощности" в режиме работы без общекотельного устройства осуществляется после включения светового табло "Работа" по истечении времени, указанного в инструкции по эксплуатации котла.

Для остановки котла оператору достаточно нажать на кнопку К2 "Стоп", а при полном окончании работы отключить автоматический выключатель сети.

---

## 10. Комплект средств управления КСУ-2П

Комплект средств управления КСУ-2П-1Г(2Г) обеспечивает двухпозиционное регулирование давления пара и уровня воды в барабане, подачу воздуха в соответствии с расходом газа и разрежение в топке.

Автоматика безопасности прекращает подачу газа при:

- повышении давления пара;
- понижении и повышении давления газа;
- понижении давления воздуха:
- понижении и повышении уровня воды в барабане;
- понижении разрежения в топке; погасании пламени горелки;
- исчезновении питающего напряжения.

Световая и звуковая аварийная сигнализация срабатывает при прекращении подачи газа в аварийной ситуации с запоминанием первопричины остановки. С диспетчерского пункта может быть произведен автоматический запуск и останов котла. На диспетчерский пункт выдаются сигналы о включении комплекта и останове котла.

Комплект КСУ-2П-1Г (рис. 52) состоит из блока управления и сигнализации БУС 17 и блока коммутационных элементов БКЭ 16. Блок БУС содержит функциональные блоки. На передней панели БУС размещены органы оперативного управления и сигнализации. Кроме того, БУС включает в себя промежуточные реле, используемые для управления исполнительными устройствами котла и магнитными пускателями блока БКЭ, а также для переключения цепей БУС в процессе выполнения программы управления.

Блок БКЭ содержит блок запального устройства с выходом на катушку зажигания 15, реле и магнитные пускатели для коммутации силовых цепей двигателей и электромагнитов, а также автоматический выключатель сети комплекта.

### 10.1. Автоматика регулирования КСУ-2П

Схема регулирования обеспечивает двухпозиционное регулирование давления пара на выходе из котла. Датчик регулятора - сифонный датчик-реле давления 12 типа ДД-10-20К. Регулирование

---

---

производится переключением режима работы с 40% на 100% тепловой мощности горелки с помощью клапанов "большого горения" 2 и "малого горения" 3 блока БПГ. В режиме 100% открыты оба клапана, в режиме 40% - клапан "малого горения". Одновременно с изменением тепловой мощности горелок ЭИМ переключаются, переводя воздушную заслонку и заслонку на газоход в положение режимов 40% и 100%.

В комплектах КСУ-2П-1Г осуществляется двухпозиционное регулирование уровня воды в барабане. Датчиками в системе регулирования являются электроды НРУ и ВРУ в уровнемерной колонке. При достижении водой ВРУ двигатель питательного насоса по сигналу БУС отключается магнитным пускателем, установленным в БКЭ, при опускании воды до НРУ двигатель питательного насоса вновь включается.

## **10.2. Автоматика безопасности**

Ниже приводятся аварийные ситуации, по которым отключается подача газа, а также используемые при этом датчики.

Повышение давления пара - датчик-реле давления 12 ДЦ-10-20К.

Повышение и понижение давления газа - датчик-реле напора 13 ДН-250-10К.

Понижение давления воздуха - датчик-реле напора 14 ДН-250-10К.

Понижение разрежения в топке - датчик-реле тяги 6 ДТ-40.

Понижение и повышение уровня воды в барабане - соответственно электроды на уровне НАУ и ВАУ в уровнемерной колонке.

Погасание пламени горелки - электрод контрольный 9 типа КЭ.

При возникновении предаварийной ситуации, а также при исчезновении напряжения питания обесточиваются электромагнитные клапаны "большого" и "малого" горения блока БПГ, подача газа к котлу прекращается, загораются лампы "Котел отключен" и первопричины аварии и включается источник звукового сигнала. Отключение световой аварийной сигнализации снимают нажатием на кнопку "Отключение световой сигнализации".

Комплект обеспечивает рабочую сигнализацию лампами "Сеть", "Пуск", "Малое горение", "Большое горение" и "Котел отключен".

---

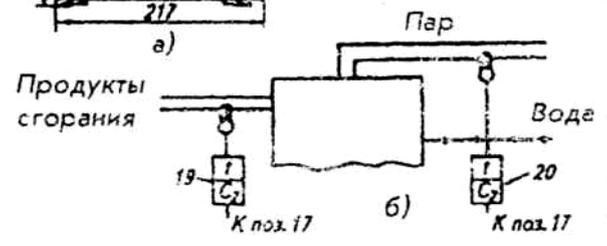
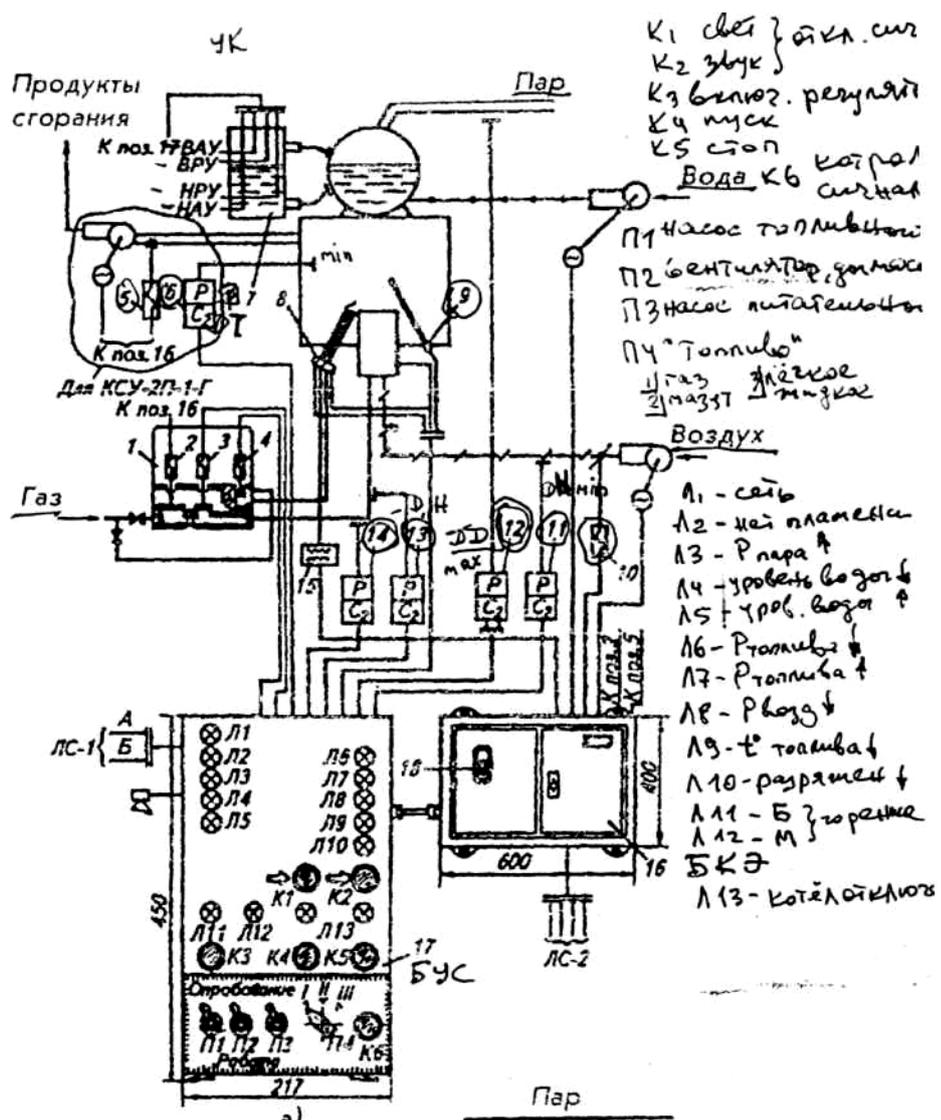


Рис. 52. Комплекты средств управления КСУ-2П:

*а* - принципиальная схема КСУ-2П-1-Г и КСУ-2П-2-Г; *б* - особенности схемы КСУ-2П-3-Г; 1 - блок питания газовый типа БПГ; 2 и 3 - электромагниты клапанов «большого горения» и «малого горения»; 4 — клапан запальника; 5,10 - исполнительные механизмы типа ЭИМ; 6, 11 ...14 - датчики-реле тяги, напора, давления; 7 - уровнемерная колонка; 8 - электрозапальник; 9 - контрольный электрод; 15 - катушка зажигания; 16 - блок БКЭ; 17 - блок БУС; 18 - автоматический выключатель сети; 19, 20 - датчики-реле температуры; Л1..Л13 - лампы: Л1 - «Сеть»; Л2 - «Нет пламени»; Л3 - «Давление пара высокое»; Л4 - «Уровень воды низкий»; Л5 - «Уровень воды высокий»; Л6 - «Давление топлива низкое»; Л7 - «Давление топлива высокое»; Л8 - «Давление воздуха низкое»; Л9 - «Температура топлива низкая»; Л10 - «Разрежение низкое»; Л11 - «Большое горение»; Л12 - «Малое горение»; Л13 - «Котел отключен» ; К1 ...К6 - кнопки: К1 - «Отключение световой сигнализации»; К2 - «Отключение звуковой сигнализации»; К3 - «Включение регулятора»; К4 - «Пуск»; К5 - «Стоп»; К6 - «Контроль сигнализации»; П1...П4 - переключатели: П1 - «Насос топливный»; П2 - Вентилятор, дымосос»; П3 - «Насос питательный»; П4 - «Топливо» с положениями «Газ» (I), «Мазут» (II), «Легкое жидкое» (III); ЛС1 - линия связи «Сигнал диспетчеру»: «Работа» (А), «Авария» (Б); ЛС-2 - «Питающая сеть 380/220 В, 50 Гц».

### **10.3. Пуск и останов котла с автоматикой КСУ-2П-1Г**

Перед началом работы комплекта необходимо установить с помощью тумблеров в БУС следующие дискретные временные выдержки:

- разгона электродвигателей;
  - вентиляции топки;
-

- 
- розжига запальника;
  - розжига основного факела.

Перед каждым пуском комплекта необходимо:

- включить автоматический выключатель, при этом загорается лампа "Сеть";
- проверить, нажав кнопку К6, исправность световой и звуковой сигнализации;
- убедиться в отсутствии аварийных параметров;
- выбрать с помощью переключателя П4 вид сжигаемого топлива;
- опробовать работу электродвигателей, устанавливая поочередно в положение "Опробование" тумблеры П2 - «Вентилятор, дымосос», ПЗ - "Питательный насос".

В этом положении тумблеров включаются магнитные пускатели соответствующих двигателей, и блокируется пуск котла. После опробования переводят указанные тумблеры в положение "Работа".

Для пуска котла необходимо нажать на кнопку К4 "Пуск", после чего загорается лампа "Пуск", гаснет лампа "Котел отключен", комплект начинает обрабатывать программу пуска котла:

- включаются электродвигатели питательного насоса и устройство регулирования уровня воды в барабане котла, электродвигатели дымососа и вентилятора; заслонка дымососа и воздушная заслонка устанавливаются на 100% открытие;
  - производится вентиляция топки и газоходов;
  - после вентиляции топки заслонки дымососа и вентилятора устанавливаются в положение режима 40%; и начинается цикл розжига;
  - подается напряжение на катушку зажигания 15 и высоковольтный провод запальника и включается электромагнитный клапан запальника 4; одновременно контрольный электрод электрозапальника подключается к блоку контроля факела;
  - подается напряжение на электромагнитный клапан "малого горения", клапан открывается и происходит розжиг горелки, включается лампа "Малое горение" и гаснет лампа "Пуск";
-

- 
- отключается запальное устройство, взамен контрольного электрода запальника к блоку контроля факела подключается контрольный электрод горелки;
  - оператором нажимается кнопка КЗ - "Включение регулятора" и после определенного времени, указанного в инструкции, устройство регулирования давления пара переводит котел на 100% производительность, после чего загорается лампа "Большое горение".

Для остановки котла оператор нажимает на кнопку К5 - "Стоп", а при полном окончании работы отключает автоматический выключатель на блоке БКЭ.

### **Список использованной литературы.**

1. Преображенский В. П. Теплотехнические измерения и приборы. М., Энергия, 1978.
2. Мурин Г. А. Теплотехнические измерения. М, Энергия, 1968.
3. Соколов Б.А., Фельдман М. А. Газовое топливо и газовое оборудование. М., ГУЦ "Профессионал", 2000.
4. Кязимов К. Г., Гусев В. Е. Устройство и эксплуатация газового хозяйства. М., Колос, 1997.
5. Берсенев И. С, Волков М. А., Давыдов Ю. С. Автоматика отопительных котлов и агрегатов. М., Стройиздат, 1979.

### **Контрольные вопросы**

для проверки знаний операторов котельных по курсу  
"Контрольно-измерительные приборы и автоматика"

1. Погрешность измерения. Класс точности прибора.
  2. Приборы, используемые для измерения температуры.
  3. Давление и его виды. Единицы измерения давления.
  4. Приборы для измерения давления.
-

- 
5. Назначение и устройство жидкостного тягонапоромера.
  6. Назначение и устройство пружинного манометра.
  7. Назначение и принцип работы электроконтактного манометра ЭКМ.
  8. Назначение и устройство манометра электрического дистанционного типа МЭД.
  9. Назначение и устройство мембранного дифманометра типа ДМ.
  10. Требования к манометрам.
  11. Приборы для измерения расхода газа: устройство, принцип действия.
  12. Приборы для измерения состава газов.
  13. Как проверить правильность показаний КИП, установленных на газопроводе?
  14. КИП, устанавливаемые газопотребляющих котлах.
  15. Правила и сроки проверки КИП.
  16. Сигнализатор уровня воды в барабане котла.
  17. Назначение и принцип работы автомата контроля пламени.
  18. Функции автоматики котлов.
  19. Принцип работы регулятора в автоматике регулирования.
  20. Схема регулирования давления пара в барабане котла.
  21. Схема регулирования подачи воздуха по заданному соотношению "газ-воздух".
  22. Схема регулирования разрежения в топке котла.
  23. Схема регулирования питания котла водой.
  24. Схема регулирования котла с автоматикой "Контур".
  25. Автоматика безопасности парового котла. Основные параметры срабатывания автоматики безопасности.
  26. Автоматика АМК. Функции, схема регулирования.
  27. Автоматика безопасности АМК.
  28. Подготовка и розжиг котла с автоматикой АМК.
-

---

29.Комплект системы управления (КСУ). Функции КСУ-1Г, автоматика регулирования. 30.Автоматика безопасности КСУ-1-Г. 31.Сроки и правила проверки автоматики регулирования и автоматики безопасности.

## Приложение

### **Инструкция по эксплуатации макета парового котла и щита управления в специализированной аудитории ГУЦ "Профессионал"**

Для запуска котла в работу необходимо:

1. Включить в работу- воздушный компрессор и создать в газовой системе макета давление  $0,3 \text{ кгс/см}^2$  (воздух в данном случае имитирует природный газ). При снижении давления воздуха компрессор автоматически восстанавливает его до необходимого значения.
  2. Проверить положение тумблеров блокировок (уровень воды в барабане, давление газа, воздуха, разрежение в топке, наличие факела). Все тумблеры должны быть в отключенном положении.
  3. Подать напряжение на щит управления, включив пакетный выключатель.
  4. Включить в работу с помощью специальных выключателей дымосос и вентилятор. При повороте выключателей в обратную сторону (по часовой стрелке) осуществляется блокировка включения дымососа и вентилятора.
  5. Управление питательным насосом осуществляется кнопками "Пуск" и "Стоп".
  6. Дистанционное включение исполнительных механизмов системы регулирования давления газа, воздуха, разрежения
-

- 
- в топке, питания котла водой выполняется регуляторами РС 29.1. При включении тумблера "▲" или "▼" соответственно уменьшается или увеличивается значение регулируемого параметра. При этом мембранные манометры на щите управления указывают давление воздуха и разрежения в топке.
7. Открыть предохранительный клапан ПКН на проход (поднять рычаг с грузом и ввести его в зацепление с анкерным рычагом).
  8. Для запуска котла в работу используется дистанционный розжиг.  
Для этого необходимо на приборе Ф.34 установить тумблер в положение "1". При этом открывается электромагнитный клапан запальника, воздух, имитирующий газ, поступает на запальное устройство, от высоковольтного трансформатора подается напряжение на электрод зажигания. Между электродом зажигания и корпусом запальника проскакивает электрическая искра. Если тумблер "Факел" поднять вверх, то на приборе Ф.34 будет гореть диод Пл. 1.
  9. Установить ударный молоточек в вертикальное положение и включить все тумблеры блокировок. При этом ЭПЗК включится на удержание молоточка и на табло высветятся все параметры, по которым осуществляется защита котла.
  10. Автоматика безопасности и регулирования на данном макете представлена приборами, не задействованными по параметрам.
  11. По окончании занятий выключить компрессор и отключить электрическое питание щита управления с помощью пакетного выключателя.