

**Измерение состава газов, воды, пара.**

***Состав газовых выбросов тепловых электрических станций (ТЭС). Контроль выбросов.***

**Точки контроля уходящих газов.**

**Отбор проб пыли и газов.**

**Газоанализаторы.**

**Приборы для определения качества воды, пара, конденсата.**

**Методы определения качества воды и пара.**

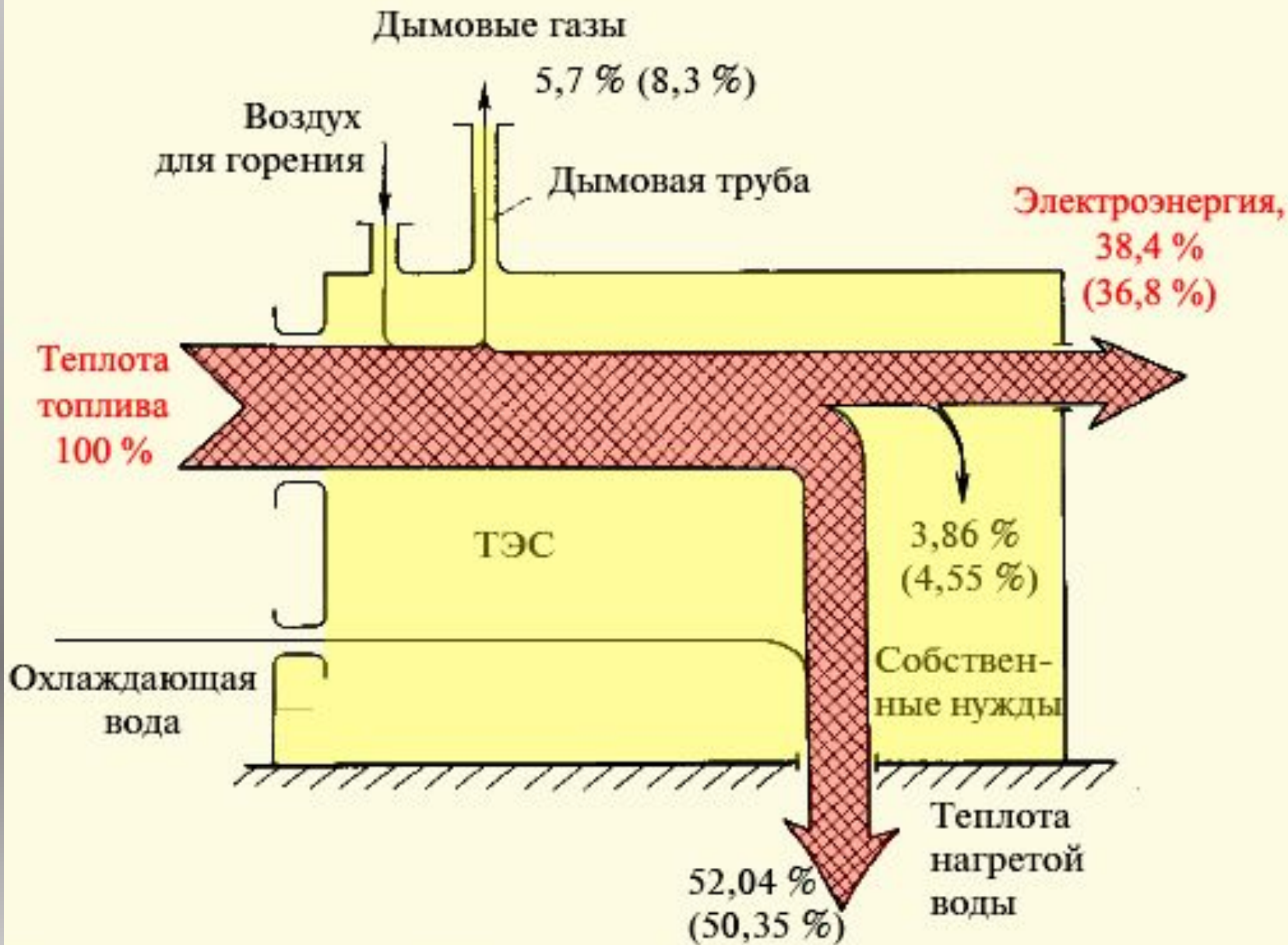
**Классификация приборов, их принцип действия.**

**Водо- и пароотборные устройства.**

***Специальные измерения (вибрация, число оборотов и др.)***

# ЖИЗНЬ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА





Тепловой баланс ТЭС газомазутной и пылеугольной (цифры в скобках)

Для определения состава уходящих дымовых газов ТЭС требуется система непрерывного контроля, которая позволяет поддерживать режим работы котла, и оперативно его корректировать. Оптимальным режимом является такой режим работы котла, который позволяет поддерживать минимальные потери тепла от химической неполноты сгорания топлива, минимальные вредные выбросы при максимально возможном к.п.д.

Для поддержания нормального горения нужно воздуха столько, сколько требуется для полного сгорания топлива (при этом образуется двуокиси ( $\text{CO}_2$ )), при неполном сгорании образуется окись углерода ( $\text{CO}$ ) или угарный газ.

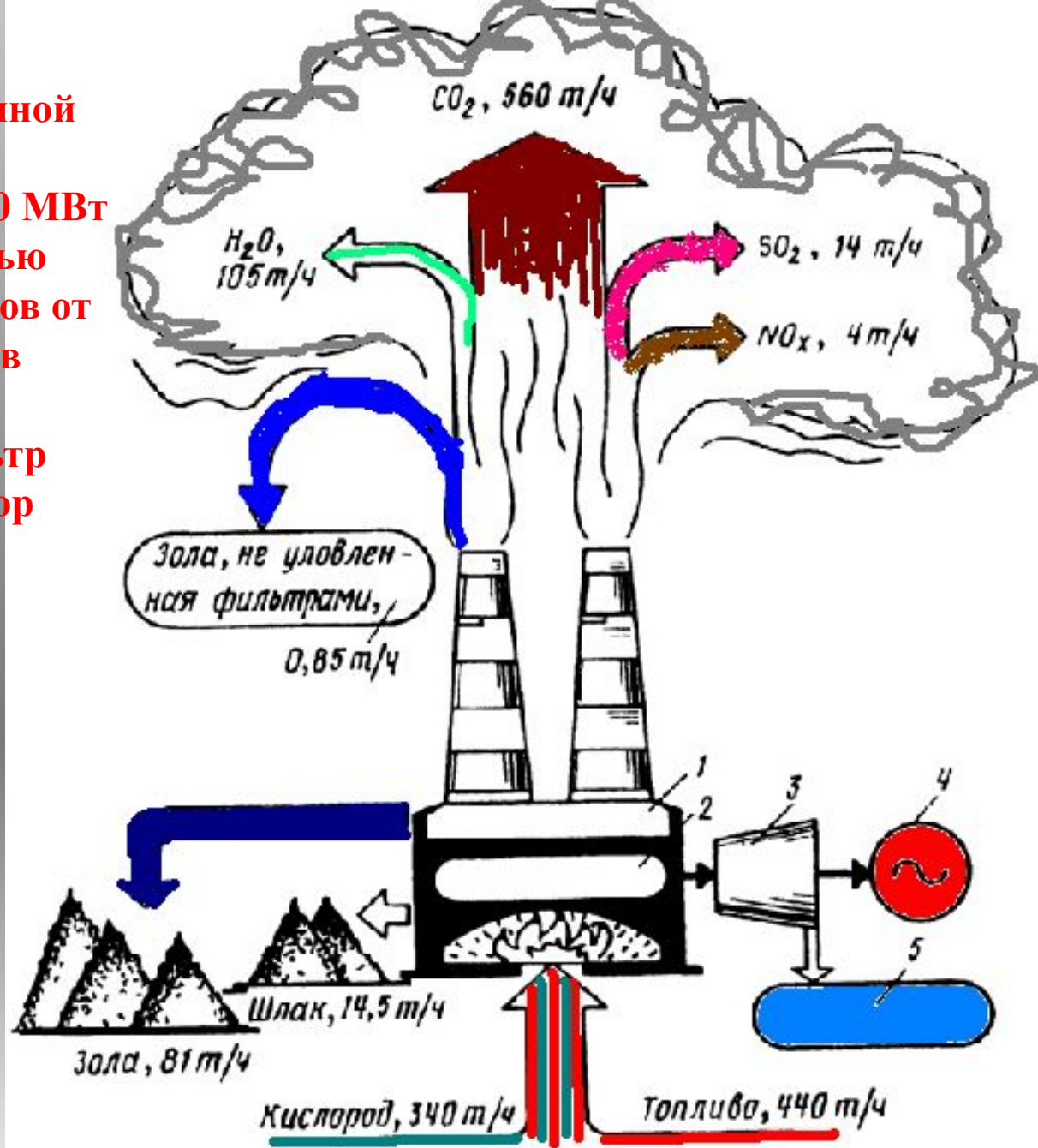


- Угарный газ **СО** в уходящих газах искажает данные о коэффициенте избытка воздуха.
- Каждый **%** СО снижает на столько же содержание  $\text{CO}_2$  в продуктах сгорания **при одном и том же значении  $\alpha$  (коэффициент избытка воздуха)**.
- Регулирование котла по  $\text{CO}_2$  оказывается неприемлемым.
- **Поэтому традиционны следующие методы управления:**
- По содержанию кислорода ( **$\text{O}_2$** ) в продуктах сгорания;
- По содержанию (**СО**) с использованием информации о  $\text{O}_2$ .
- В настоящее время, особенно в зарубежной технике, распространены анализаторы концентрации кислорода и СО в отходящих газах. Регулируют и по зависимости  **$\alpha$**  от соотношения С/Н в топливе. Но эта зависимость гораздо слабее, чем для  $\text{CO}_2$ , а в диапазоне  $\alpha=1,0\div 1,15$ , соответствующем максимальной эффективности сжигания топлива. Но при снижении нагрузки котла поддержание постоянной концентрации кислорода за котлом неизбежно приводит к химнедожогу.



Материальный баланс современной угольной ТЭС мощностью 1000 МВт с эффективностью очистки выбросов от твердых веществ

- 1 – электрофильтр
- 2 – парогенератор
- 3 – турбина;
- 4 – генератор;
- 5 – конденсатор



Газоанализаторы делятся на ручного действия и автоматические. **Ручные**- абсорбционные газоанализаторы, в которых компоненты газовой смеси последовательно поглощаются различными реагентами. **Автоматические** газоанализаторы непрерывно измеряют какую-либо физическую или физико-химическую характеристику газовой смеси. По принципу действия автоматические газоанализаторы могут быть разделены на 3 группы:

**1. Приборы, основанные на физических методах анализа**, включающих вспомогательные химические реакции. При помощи таких газоанализаторов, называемых объёмно-манометрическими или химическими, определяют изменение объёма или давления газовой смеси в результате химических реакций её отдельных компонентов.

**2. Приборы, основанные на физических методах анализа**, включающих вспомогательные физико-химические процессы (термохимические, электрохимические, фотоколориметрические, хроматографические и др.). Термохимические, основанные на измерении теплового эффекта реакции каталитического окисления (горения) газа. Электрохимические позволяют определять концентрацию газа в смеси по значению электрической проводимости раствора, поглотившего этот газ. Фотоколориметрические, основанные на изменении цвета определённых веществ при их реакции с анализируемым компонентом газовой смеси, применяют главным образом для измерения микроконцентраций токсичных примесей в газовых смесях — сероводорода, окислов азота и др. Хроматографические наиболее широко используют для анализа смесей газообразных углеводородов.

**Приборы, основанные на чисто физических методах анализа** (термокондуктометрические, денсиметрические, магнитные, оптические и др.). Термокондуктометрические, основанные на измерении теплопроводности газов. Денсиметрические газоанализаторы, основанных на измерении плотности газовой смеси. Магнитные газоанализаторы применяют главным образом для определения концентрации кислорода, обладающего большой магнитной восприимчивостью. Оптические газоанализаторы основаны на измерении оптической плотности, спектров поглощения или спектров испускания газовой смеси. При помощи ультрафиолетовых газоанализаторов определяют содержание в газовых смесях галогенов, паров ртути, некоторых органических соединений.



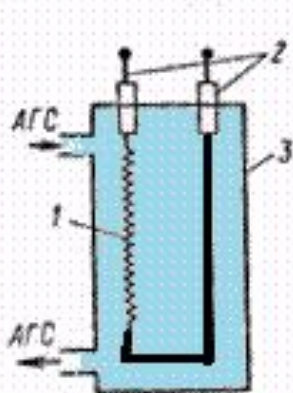


- Методы определения концентрации кислорода: **химические**,
- **электрохимические**,
- **термокондуктометрический**,
- **акустический**,
- **пневматический**,
- **ионизационный**,
- **оптический**,
- **масс-спектрометрический**,
- **магнитный** с использованием полупроводниковых чувствительных элементов,
- **хроматографический**

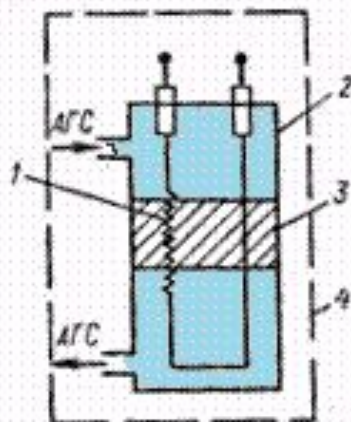


# ТЕРМОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД

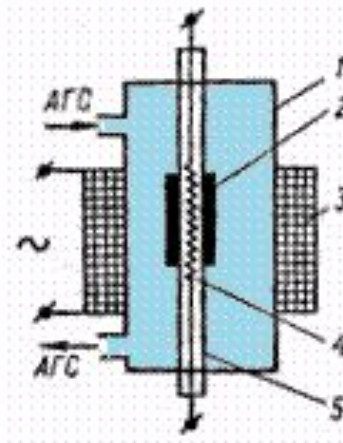
- а — без катализатора: 1 — платиновая нить; 2 — держатель; 3 — измерительная ячейка;
  - б — чувствительный элемент расположен в катализаторе: 1 — чувствительный элемент; 2 — измерительная ячейка; 3 — катализатор; 4 — термостат;
  - в — чувствительный элемент расположен в керамической трубке; 1 — камера; 2 — катализатор; 3 — электрическая спираль; 4 — чувствительный элемент; 5 — керамическая трубка
- В ячейке (рис. а) проба АГС (анализ газовой смеси) проходит через измерительную ячейку 3, в которой размещена платиновая нить 1, укрепленная на держателях 2. Платиновая нить нагревается электрическим током и уходящими дымовыми газами, увеличение температуры нити пропорционально концентрации определяемого компонента, изменением сопротивления нити, определяем концентрацию ..



а



б



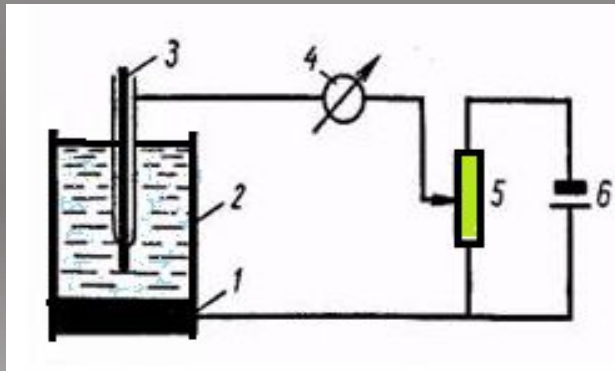
в



# Электрохимические методы определения концентрации кислорода:

- полярографический,
- кондуктометрический,
- кулонометрический,
- потенциометрический

## полярографический



1 — анод (слой ртути на дне ячейки); 2 — электролит; 3 — катод (ртутный капельный электрод); 4 — микроамперметр; 5 — реостат; 6 — источник питания. Ток, проходящий через ячейку, измеряют микроамперметром 4, а напряжение, подаваемое на ячейку, регулируют перемещением движка на реостате 5

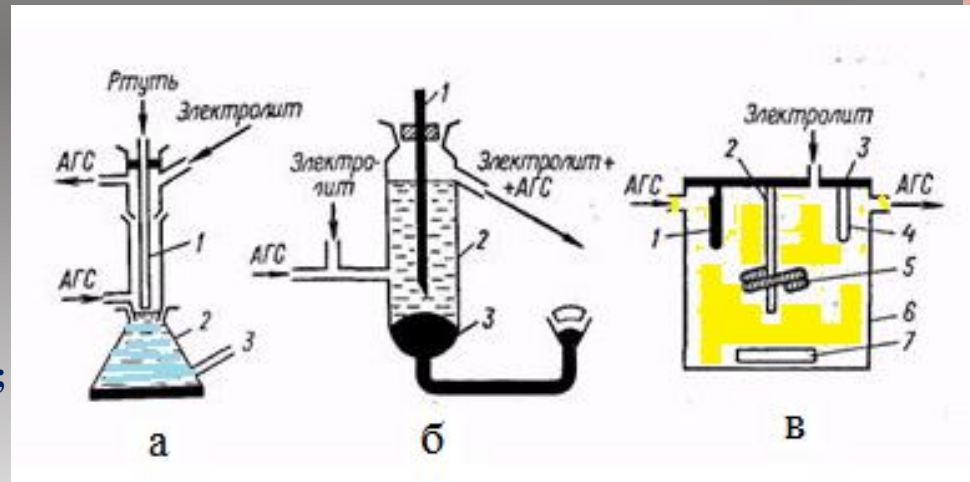
## Гальванический метод

Ячейки с индикаторным электродом:

**а — ртутным:** 1 — ртутный капельный электрод; 2 — сосуд; 3 — перелив;

**б - графитовым:** 1 — графитовый индикаторный электрод; 2 — сосуд; 3 — анод;

**в — золотым (серебряным):** 1 — термометр; 2 — свинцовый электрод сравнения; 3 — крышка; 4 — нагревательный элемент; 5 — серебряный индикаторный электрод; 6 — корпус; 7 — металлический диск



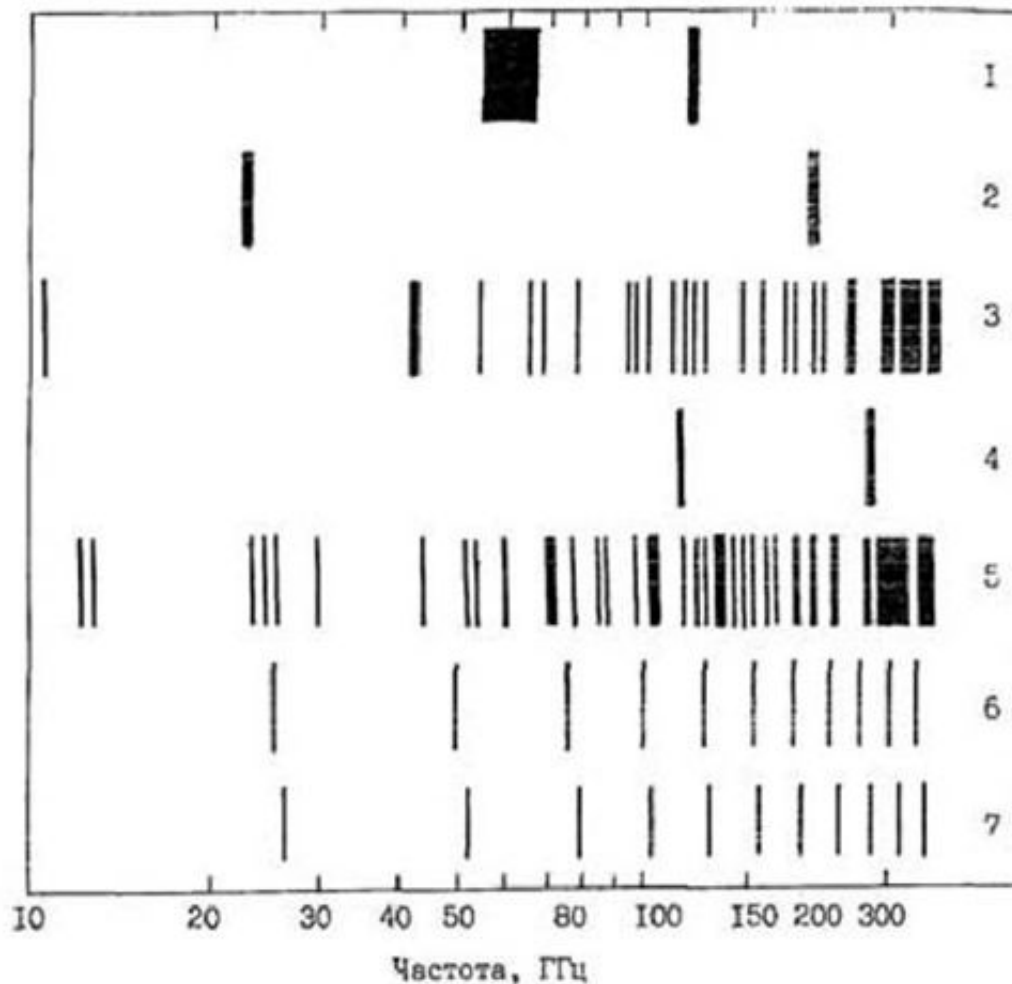
- Ячейка с ртутным индикаторным электродом (рис. а) имеет капиллярный ртутный капельный электрод 1. Измеряемый газ подается в ячейку навстречу движущемуся вдоль капельного электрода электролиту, что обеспечивает образование равномерной пленки электролита на поверхности капилляра и установление полного равновесия раствор — газовая смесь.
- Уровень электролита под капилляром поддерживается постоянным с помощью перелива 3, соединенного с сосудом 2, на дне которого находится постоянный слой ртути, служащий анодом.
- Ячейка с графитовым индикаторным электродом (рис.б) состоит из графитового индикаторного электрода 1, сосуда 2 и анода 3, покрытого ртутной амальгамой.
- Ячейка с золотым (серебряным) индикаторным электродом (рис. в) состоит из корпуса б, выполненного из органического стекла, крышки из нержавеющей стали 3, на которой закреплен серебряный индикаторный электрод 5, свинцового электрода сравнения 2, нагревательного элемента 4, контактного термометра 1. На дне корпуса размещен металлический диск 7, приводимый в движение магнитной муфтой и предназначенный для перемешивания электролита.



# Метод СВЧ радиоспектроскопии при измерении состава дымовых газов

- Каждому газу соответствуют одна или несколько частот, на которых наблюдаются резонансы поглощения. При зондировании газовой среды СВЧ излучением и измерении резонансного поглощения на разных частотах можно установить уровень концентрации соответствующих газов.





Среда	H <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	NO	O <sub>3</sub>
Частота, ГГц	22,235 183,31	23,87	25,123	26,619	20,42- 29,46	63,56 118,75	115,79	150	101,74 142,17 165,78

Линии поглощения атмосферных газов

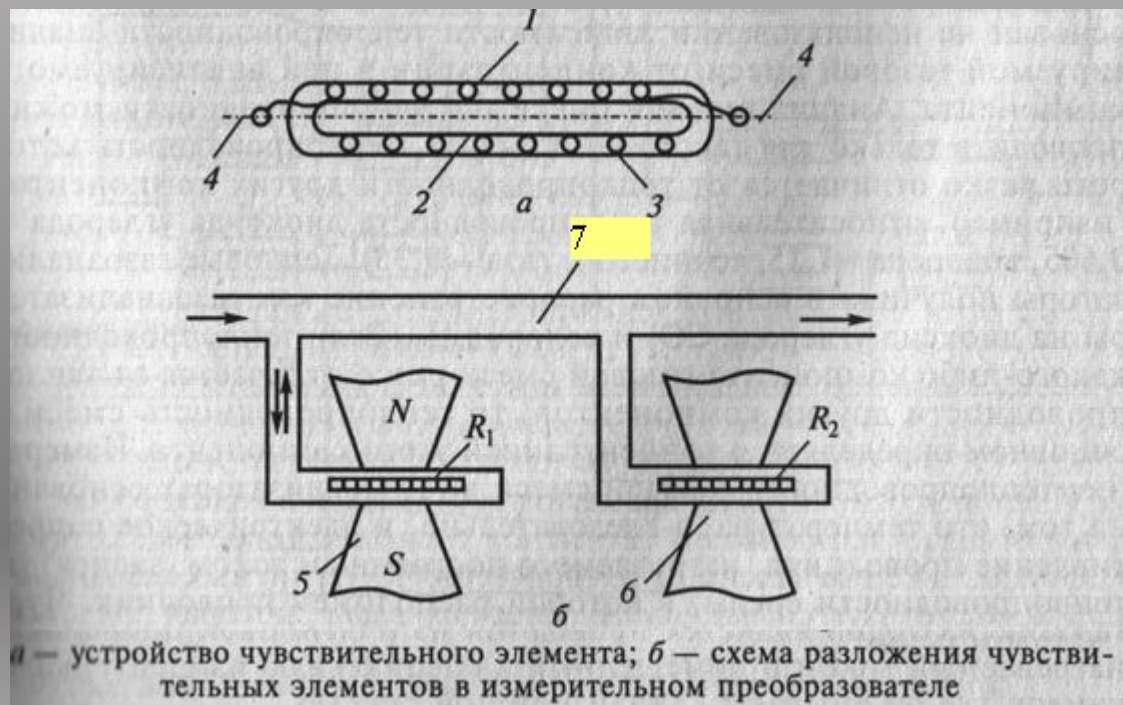
1 – кислород O<sub>2</sub>; 2 – пары воды H<sub>2</sub>O; 3 – озон O<sub>3</sub>; 4 – углекислый газ CO<sub>2</sub>;  
 5 – сернистый газ SO<sub>2</sub>; 6 – монооксид азота NO; 7 – двуокись азота N<sub>2</sub>O

## □ Магнитные свойства газов

Газ	Химическая формула	Магнитная восприимчивость	
		объемная, $\times 10^9$	относительная
Кислород	$O_2$	146	1,0
Воздух (21 % $O_2$ )		30,8	0,21
Монооксид азота	NO	53,0	0,362
Диоксид азота	$NO_2$	9,0	0,0616
Оксид азота	$N_2O$	3,0	0,02



**Кислород относится к парамагнитным газам и в холодном состоянии обладает наибольшей магнитной восприимчивостью, которая уменьшается с повышением температуры.**



*а* — устройство чувствительного элемента; *б* — схема разложения чувствительных элементов в измерительном преобразователе

**1-платиновая проволока, 2-стеклянный капилляр, на который намотана проволока, 3-стеклянная колба, 4-токопровод, 5-постоянный магнит, 6-немагнитный блок, 7- трубка**

Газовая смесь, содержащая кислород, двигается по трубке 7, втягивается в магнитное поле магнита 5, нагревается резистором R1. Магнитная восприимчивость кислорода и газовой смеси уменьшается.



- При работе котла под разрежением, создаваемым дымососами, происходит подсос воздуха в газовый тракт через неплотности (трещины и зазоры в слоях обмуровки, местах прохода через обмуровку труб).
- За счет этого объем продуктов сгорания увеличивается, растет избыток воздуха, снижается температура газов.





- Аналитический блок автоматизированного стационарного поста контроля химического состава выбросов ТЭС: окиси углерода ( $\text{CO}$ ), углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), окислов азота ( $\text{NO}_x$ ), двуокиси серы ( $\text{SO}_2$ ), кислорода ( $\text{O}_2$ ). Дополнительно регистрируются температура и давление.
- ПЭМ-2М - прибор непрерывного действия и может применяться как самостоятельно, так и в автоматизированных системах управления технологическим процессом котлоагрегата в качестве автоматизированного стационарного поста контроля за газовыми выбросами промышленных предприятий.
- В основу принципа измерения положен оптико-абсорбционный метод измерения поглощения инфракрасного излучения анализируемым газовым компонентом смеси.



## *Способы контроля качества воды, можно разделить на*

- - электрохимические, к которым относятся кондуктометрические,
- - потенциометрические и амперометрические;
- -оптические, к которым относятся фотометрические и спектральные;
- - прочие, к которым можно отнести, например, хроматографический анализ.

Удельная электропроводимость используется для оценки общего количества растворенных в воде твердых веществ. Вода представляет собой растворы смесей сильных и слабых электролитов: минеральную часть воды составляют ионы натрия, калия, кальция, хлора, сульфата, гидрокарбоната,- именно этими ионами обусловлена электропроводность воды. **Кондуктометр** - прибор для измерения проводимости растворов. Электропроводность – способность воды проводить электрический ток, зависит в основном от степени минерализации исследуемого раствора и его температуры.

**pH** - это водородный показатель, характеризующий концентрацию свободных ионов водорода в воде. Для удобства отображения был введен специальный показатель, названный pH и представляющий собой логарифм концентрации ионов водорода, взятый с обратным знаком, т.е  $pH = -\log[H^+]$ . pH определяется соотношением в воде ионов  $H^+$  и  $OH^-$ . Если содержание свободных ионов водорода ( $pH > 7$ ) по сравнению с ионами  $OH^-$ , то вода будет иметь щелочную реакцию, а при повышенном содержании ионов  $H^+$  ( $pH < 7$ )- кислую. В идеально чистой дистиллированной воде эти ионы будут уравновешивать друг друга. В таких случаях вода нейтральна и  $pH = 7$ . При растворении в воде различных химических веществ этот баланс может быть

- Чистая вода имеет удельную электрическую проводимость 0,055 микромо при 25° С, **лабораторная дистиллированная вода — от 0,5 до 5**, дождевая обычно — от 5 до 30, **океаническая — от 45 000 до 55 000**.

Удельная электропроводность  $\lambda$  относится к **единице длины проводника** (или к 1 см слоя воды или раствора). Электропроводность  $S$  измеряется в сименсах (См) или микросименсах (мкСм), а удельная электропроводность  $\lambda$  — в мкСм/см.

## Удельная проводимость некоторых растворов 1000 мг в л.

СОСТАВ	мкС/см при 25 <sup>0</sup> С
Бикарбонат натрия	870
Сульфат натрия	1300
Хлорид натрия	1990
Соляная кислота	11000
Азотная кислота	6380
Серная кислота	6350



- ▣ Удельная электропроводность воды измеряется платиновыми или стальными электродами, через которые пропускается переменный ток и измеряется электрическое сопротивление.

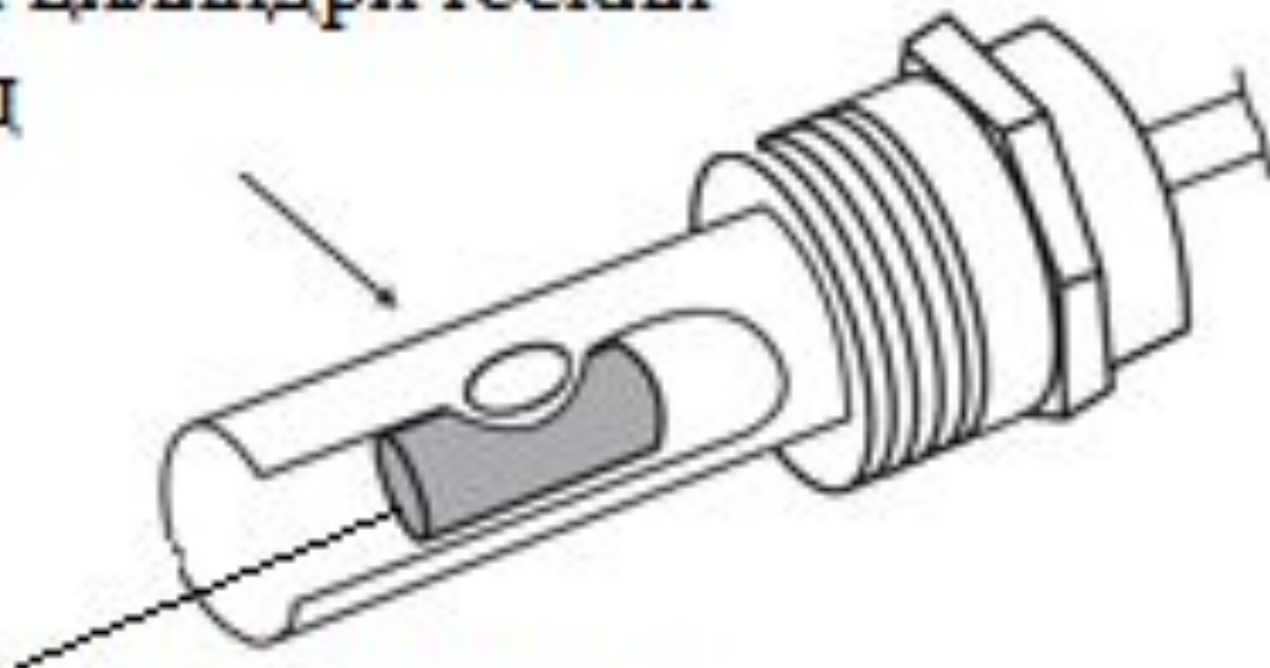
### КОНДУКТОМЕТР

Нажать левую клавишу и запустить гиперссылку

- ▣ Чувствительным элементом при измерении электропроводности воды является кондуктометрическая ячейка. Конструкция ячейки представляет собой два параллельных электрода, погруженных в раствор и расположенных на расстоянии 1 см друг от друга. Материал электрода (нержавеющая сталь, платина, графит).

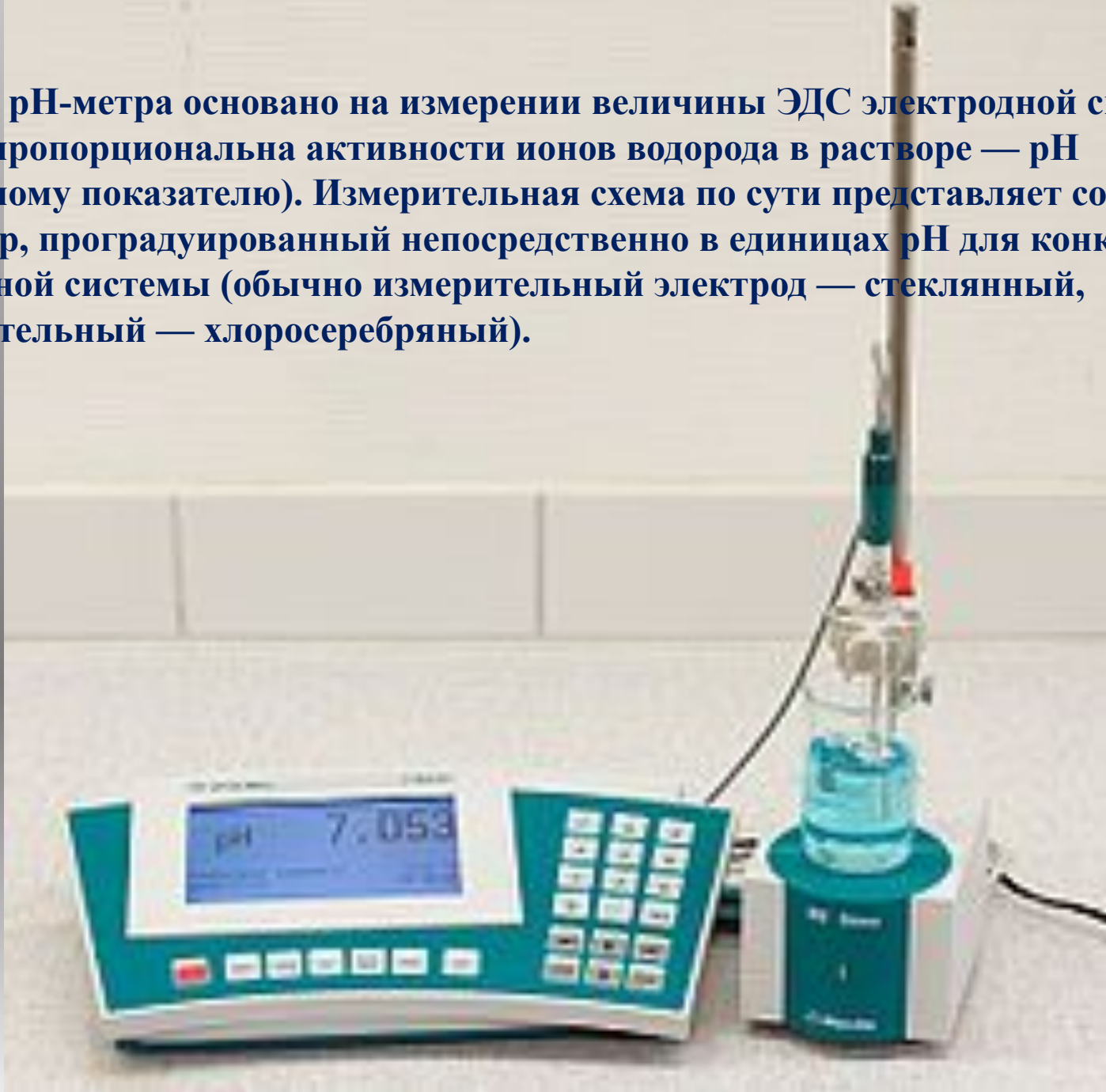
## кондуктометрическая ячейка

внешний цилиндрический  
электрод



внутренний электрод

- Действие рН-метра основано на измерении величины ЭДС электродной системы, которая пропорциональна активности ионов водорода в растворе — рН (водородному показателю). Измерительная схема по сути представляет собой вольтметр, проградуированный непосредственно в единицах рН для конкретной электродной системы (обычно измерительный электрод — стеклянный, вспомогательный — хлоросеребряный).





- - **Оптический метод измерения состава воды по отражению света - отраженный под углом  $180^\circ$  свет регистрируется датчиком, в котором установлен фотодиод, преобразующий световой поток в электрический ток. Величина тока пропорциональна концентрации частиц в воде и отображается на ЖК дисплее в заданных единицах.**
- **Для измерения содержания кремния в воде применяются автоматические анализаторы кремнекислоты в воде, для контроля качества пара в пароводяном контуре энергетических циклов, а также для контроля технологических процессов и качества воды в цикле водоподготовки. В основе принципа измерения концентрации кремневой кислоты лежит фотоколориметрическое измерение кремнемолибденовых комплексов.**
- **Автоматический анализатор растворенного в воде кислорода - измерение кислорода проводится с помощью ячейки Кларка, состоящей из катода, анода, электролита и мембраны. Измеряется ток, пропорциональный концентрации кислорода в пробе.**
- **Автоматический анализатор жесткости воды предназначен для определения остаточной/общей жесткости воды. В анализаторе используется титриметрический метод измерения.**



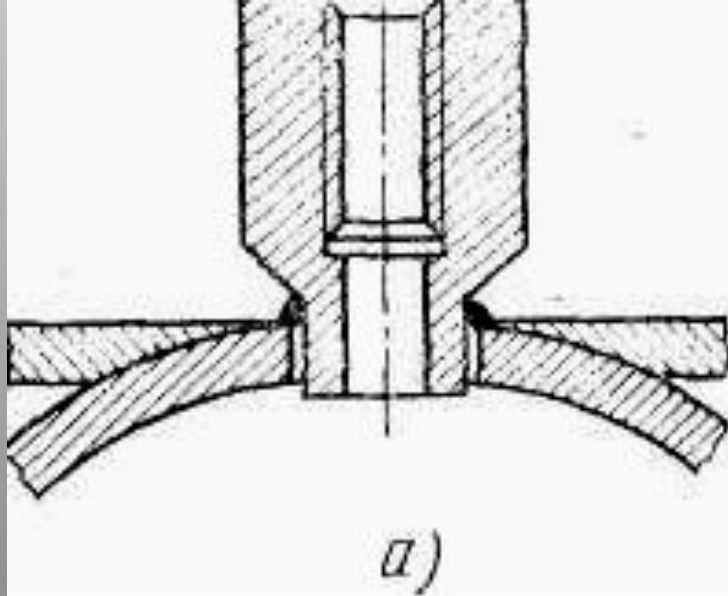
□ Для контроля и ведения водно-химического режима парогенераторов они должны быть оборудованы пробозаборными зондами, пробоотборными трассами, холодильниками, автоматическими контрольными приборами и регуляторами, установками подготовки проб.



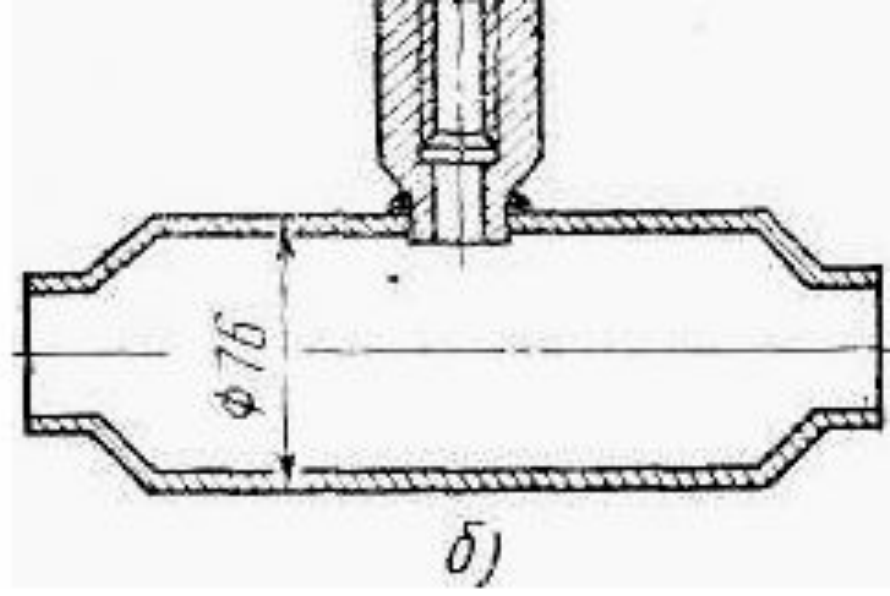
# Водо- и паротворные устройства.

## Монтаж импульсной линии





а)



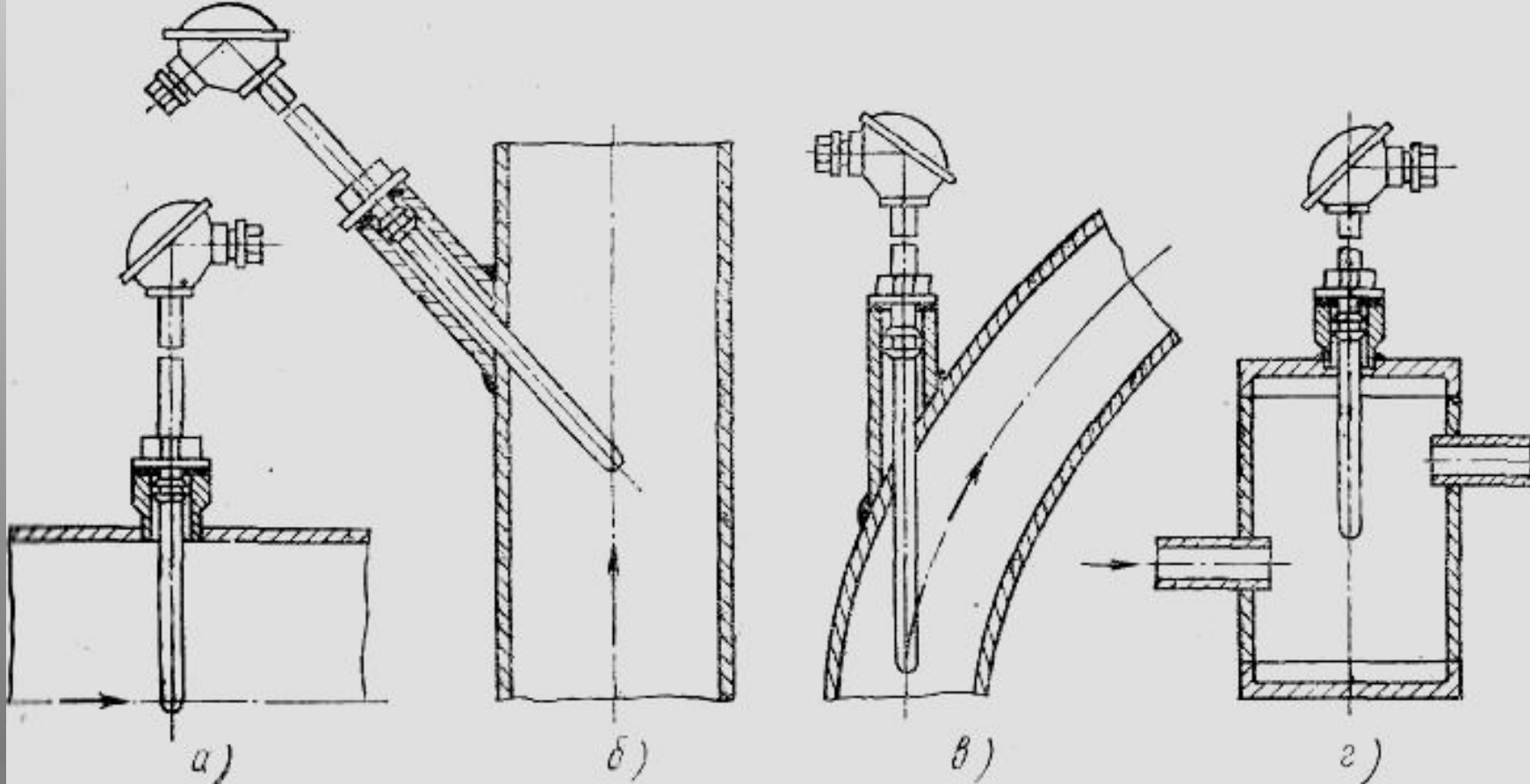
б)

Установка бобышек:

а — на трубопроводе  $D_H \gg 76$  мм и металлической стенке,  
б — на трубопроводе  $D_H 45$  и  $57$  мм с расширителем.

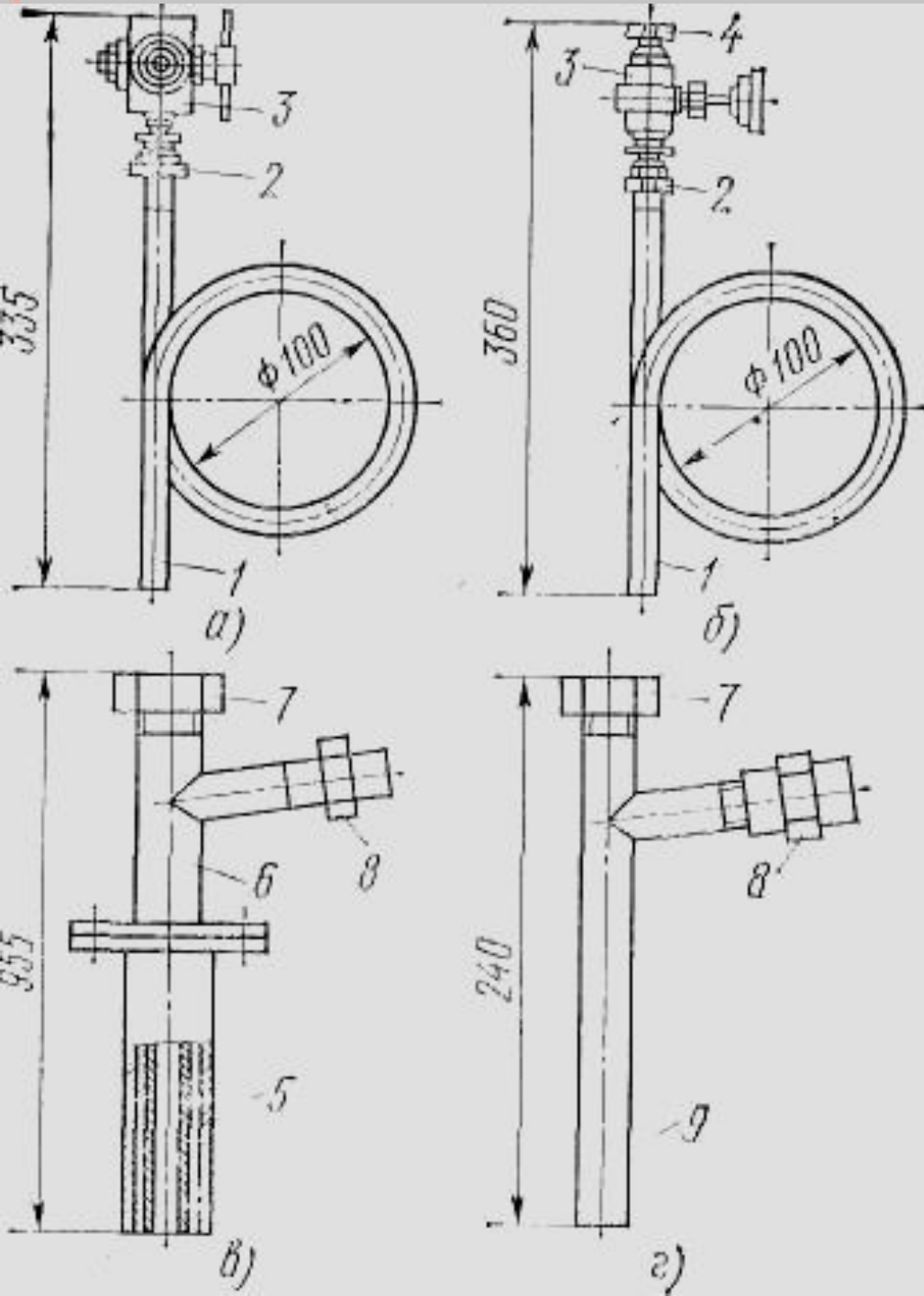
Термометр должен находиться в центре потока или против движения потока под углом  $30$  или  $45^\circ$  к оси трубопровод, на расстоянии от задвижек, вентилях и сужающих устройств, равном не менее  $20$  диаметров трубопровода, где нет завихрения или возмущения потока.

- Должен быть исключен нагрев от посторонних источников тепла. Не рекомендуется располагать термосопротивления и термопары в нишах, углублениях стен и в других местах, где затруднена циркуляция воздуха.
- Термометры закрепляют в измеряемую среду бобышками на трубопроводах (рис.б) и технологическом оборудовании (рис. а).



- Установка термосопротивления на трубопроводах:
- а, б — на горизонтальном и вертикальном участках,
- в — на колене,
- г — с помощью расширителя





- Отборные устройства давления и разрежения:
- а — отборное устройство давления  $P_y = 1,6$  МПа, температура  $225^\circ \text{C}$ , б — отборное устройство давления  $P_y = 10$  МПа, температура  $200^\circ \text{C}$ , в, г — отборные устройства для запыленных сред и чистых газов;
- 1 — кольцеобразная трубка,
- 2 — ниппельный соединитель,
- 3 — запорный орган,
- 4 — футорка,
- 5 — защитная труба,
- 6 — отвод,
- 7 — колпачок-заглушка,
- 8 — гайка,
- 9 — отбор
- Отборные устройства давления (рис. а и б) состоят из кольцеобразной трубки 1, соединителя 2, запорного органа (вентили или трехходового крана) 3 и футорки 4 с резьбой  $M20 \times 1\frac{1}{2}''$  для присоединения манометра или вакуумметра.
- Кольцеобразная трубка необходима для защиты при измерении давления горячей жидкости (температура более  $70^\circ \text{C}$ ) и пара.

## Установка отборных устройств для измерения разрежения:

а, б — на вертикальном и горизонтальном газоходе с металлической обшивкой,

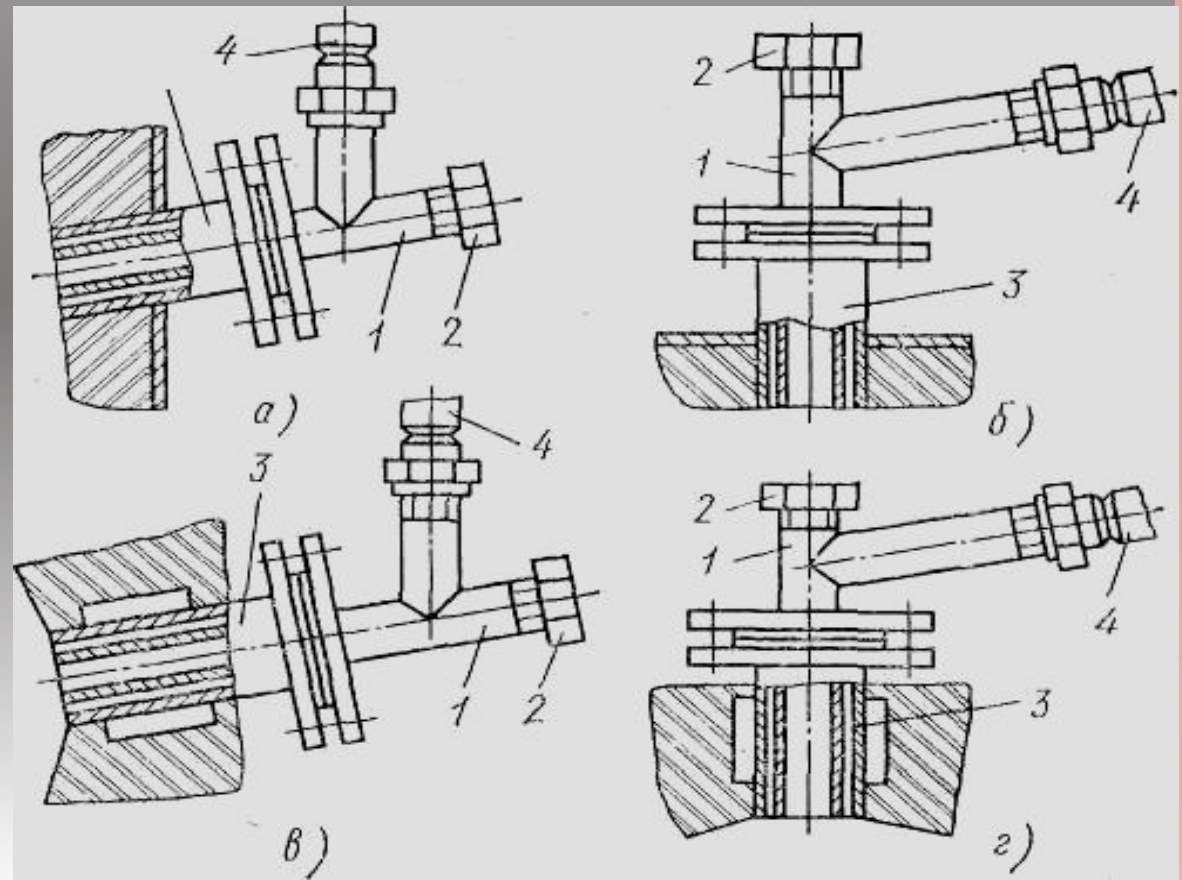
в, е — на вертикальном и горизонтальном участках кирпичного газохода;

1 — отборное устройство разрежения,

2 — заглушка,

3 — обсадная труба,

4 — импульсный трубопровод



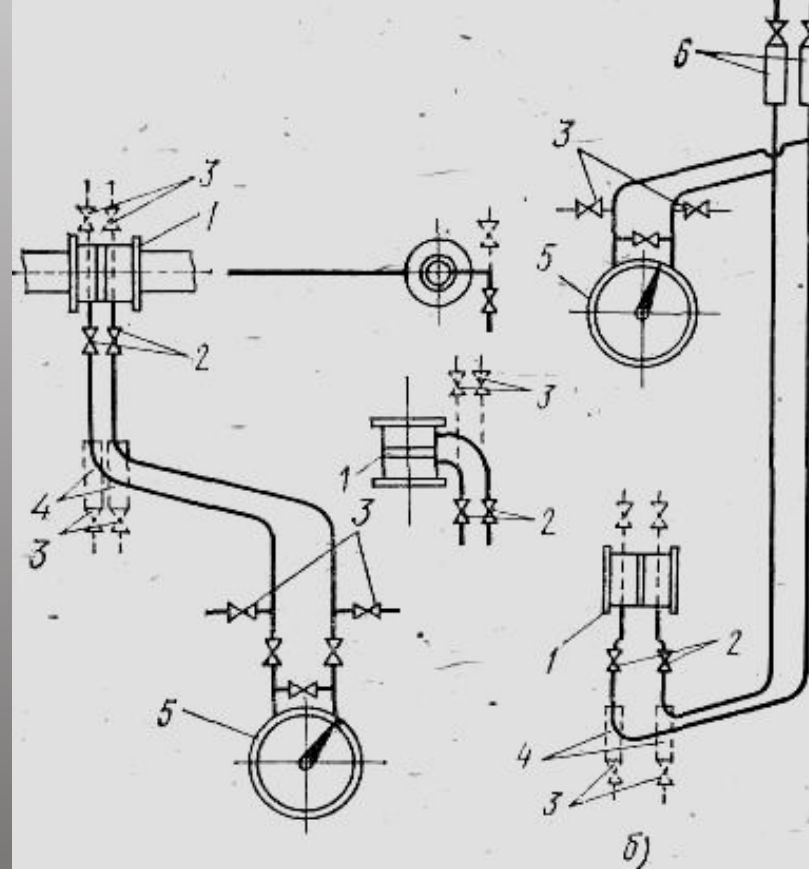
- **Отборные устройства приборов-анализаторов**
- **1) Для контроля состава чистого газа с температурой не выше  $500^{\circ}\text{C}$  применяют газоотборные устройства без фильтра и водяного охлаждения.**
- **2) Для запыленного газа с температурой в пределах  $200\text{—}500^{\circ}\text{C}$  используют керамические фильтры.**
- **3) Для контроля газа, имеющего высокую температуру используют водяное охлаждение.**
- **4) В месте отбора не должно быть застоя газа или подсоса наружного воздуха. Разрежение в газоходе должно быть не выше 150 мм вод. ст., содержание пыли — не более 5 г/м<sup>3</sup>.**
- **4) Трубку отборного устройства погружают в поток на  $1\frac{1}{3}$  диаметра газохода под углом  $20\text{—}30^{\circ}$ . Место вывода трубки герметизируют.**





- **Дифманометры-расходомеры при измерении расхода жидкости**
- **располагают ниже сужающего устройства 1 (рис. а). Соединительные линии между дифманометром 5 и сужающим устройством на всем протяжении прокладывают с уклоном в одну сторону. Перед дифманометром устанавливают отстойные сосуды 4 с продувочными вентилями 3. Непосредственно у отборного устройства каждую соединительную линию оборудуют вентилем 2 для перекрытия отборного устройства в случае ремонта дифманометра. При таком размещении дифманометра выделяющиеся из жидкости конденсат или газы уходят в технологический трубопровод, в котором измеряется расход жидкости (не требуется устанавливать газосборные емкости и устройства для выпуска газов в атмосферу).**





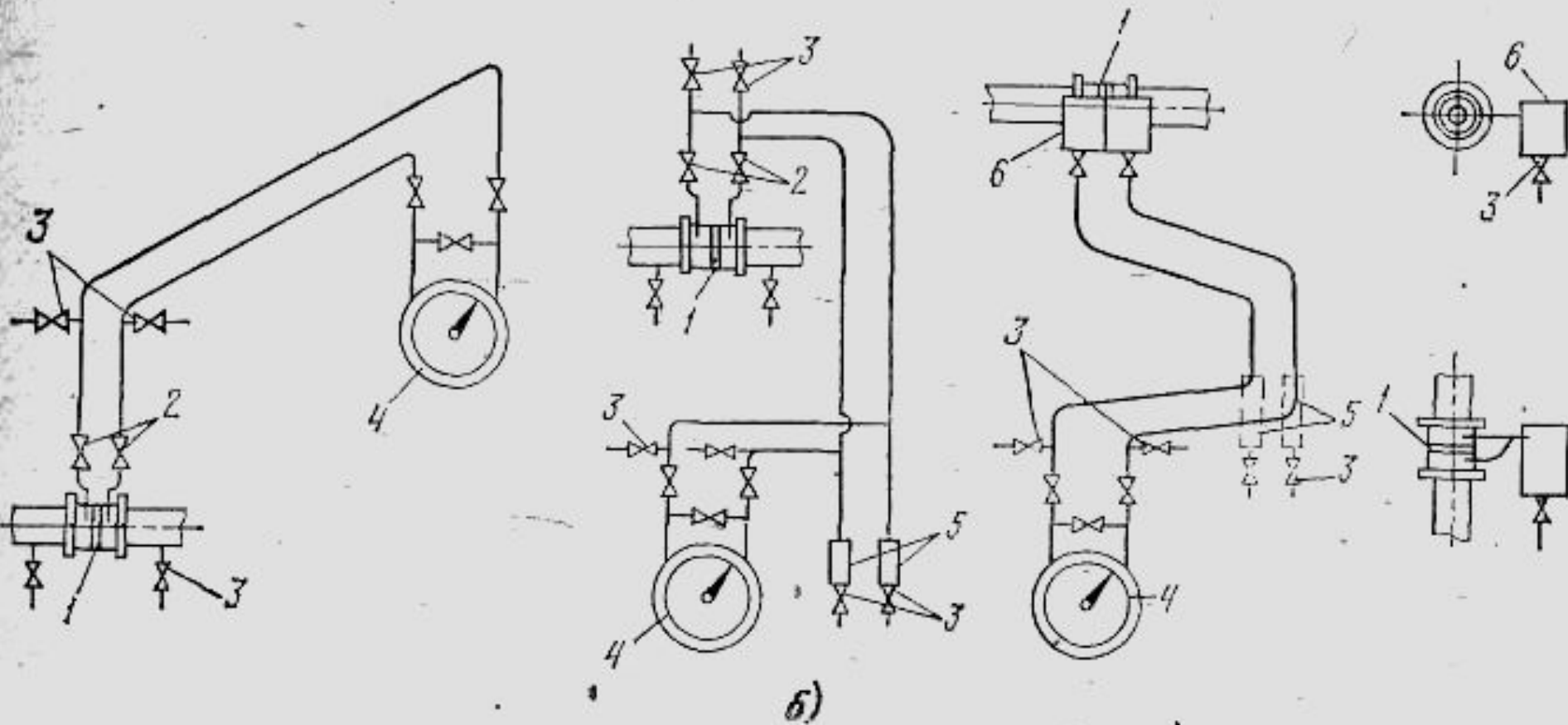
Схемы установки дифманометров-расходомеров ниже сужающего устройства (а) и выше (б):

- 1 — сужающее устройство,
- 2, 3 — вентили, 4 — отстойные сосуды,
- 5 — дифманометр,
- 6 — газосборник



- **Дифманометры-расходомеры при измерении расхода газа**
- **располагают выше сужающего устройства 1 (рис. а). Если по условиям размещения технологических трубопроводов это невозможно, в низших точках соединительных линий устанавливают отстойные сосуды 5 (рис. б) для улавливания конденсата. Для продувки соединительных линий используют вентили 5.**





**Схема установки дифманометров для измерения расхода газа (а и б) и пара (в):**

**а — дифманометр расположен выше сужающего устройства,**

**б — то же, ниже;**

**1 — сужающее устройство, 2, 3 — вентили, 4 — дифманометр,**

**5 — отстойный сосуд, 6 — уравнительный сосуд**



- **Для измерения скорости оборотов (частоты вращения) и линейной скорости применяются в тахометры, обеспечивающие режимы контактного и бесконтактного измерения:**
- **- механический - контактный , основан на механическом воздействии вращающегося вала с приемной частью тахометра, приборы этой группы обеспечивают измерения скоростей в диапазоне до (10000...20000) оборотов в минуту;**
- **- оптический (фото) – бесконтактный - основан на подсчете числа отраженных объектом импульсов светового потока (до 1 000 000 об./мин);**
- **- стробоскопический - бесконтактный - использован стробоскопический эффект, заключающийся в следующем: прибор постоянно излучает короткие вспышки света, частота которых может регулироваться в достаточно широких пределах, пользователь регулированием частоты добивается синхронности вспышек с вращением исследуемого объекта. Если частота совпадает (равна или кратна) со скоростью (частотой) вращения объекта, то наблюдателю будет казаться, что объект неподвижен. Максимальная из всех подобных частот и будет характеризовать скорость вращения. Стробоскопы обеспечивают измерение скоростей в диапазоне от 100 об./мин до 20000 об./мин.**



# КРОНА-ДАТЧИК ЧИСЛА ОБОРОТОВ

*оптический  
датчик оборотов*

