

543.272

Ф17

ДОМ ТЕХНИКИ
УРАЛЬСКОГО ИНДУСТРИАЛЬНОГО ИНСТИТУТА
ИМ. С. М. КИРОВА

М. М. ФАЙНБЕРГ

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ

УДК 62-50:62-50:62-50

МЕТАЛЛУРГИЗДАТ 1941

М. М. ФАЙНБЕРГ

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ

РЕПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

44404

Др. 89, 96, 08

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

Деп.



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
СВЕРДЛОВСК 1941 МОСКВА

Редактор В. Е. Кодесс

Техн. редактор Н. П. Вернер

Сдано в набор 28/VI 1940 г.

Подписано к печати 12/XI 1940 г.

Учегн. № 450

Тираж 1650

НС 4234

Формат бумаги 60×92 ¹/₁₆

Бум. л. 4

Печ. знаков в 1 бум. л. 95500

Печ. л. 8

Учегно-авт. листов 9,5

Зак. № 5387

Газ.-журн. типография изд-ва «Ур. рабочий», Свердловск, ул. Ленина, 47.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга представляет собой обработанный и дополненный курс лекций по автоматическому анализу газов, прочитанный автором работникам уральских заводов на курсах, организованных Уральским Домом техники.

Просьба слушателей об издании прослушанного ими цикла лекций и недостаточное освещение в технической литературе принципов действия и расчетов автоматических газоанализаторов побудили Дом техники издать указанные лекции в виде небольшой книги.

В книге описаны химические (газометрические) и электрические (основанные на измерении теплопроводности и теплоты сгорания) газоанализаторы. Частично затронуты также некоторые конструкции газоанализаторов для анализа малых концентраций. Кроме того, включены расчеты элементов конструкций основных приборов, что позволяет определять рациональную область использования различных типов газоанализаторов и погрешность в их показаниях при нормальных условиях эксплуатации.

В книге освещен также ряд вопросов, имеющих прикладное значение и выходящих за пределы описательного курса, однако весьма важных для монтажного и эксплуатационного персонала, — это технические характеристики приборов, типы монтажной арматуры и правила монтажа газоанализаторов.

Книга была закончена обработкой в 1939 г., поэтому в нее не удалось включить данные [о некоторых новых приборах. Из них следует отметить новые модели газоанализаторов фирмы «Термотехник» (в частности газоанализатор триплекс), газоанализаторы фирмы Броун (например новый газоанализатор, названный фирмой «Аналиграфом»), новые модели фирмы Энгельгард, а также некоторые приборы, разработанные в Советском Союзе.

Дом техники надеется, что эта книга окажет помощь работникам промышленности, которым приходится сталкиваться с анализом газов, в применении автоматических газоанализаторов при контроле производства.

Дом техники

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	7
Глава I. Химические газоанализаторы	
1. Основные определения	8
2. Газометрический метод анализа	—
3. Ручные газоанализаторы	9
4. Автоматические газоанализаторы	11
Глава II. Газоанализаторы симплекс (приборы для определения одного компонента абсорбционным методом)	
1. Газоанализатор Адос (старая модель)	13
2. Газоанализатор ГУ-4	14
3. Газоанализатор типа МОНО с водяным приводом	17
4. Газоанализатор типа МОНО с электромеханическим приводом	20
5. Газоанализатор «Термотехник»	—
6. Газоанализатор Фоксборо	23
Глава III. Газоанализаторы симплекс с дожиганием для однократного или двукратного анализа	
1. Газоанализатор типа Адос на кислород (ГК-1)	25
2. Газоанализатор на водород	29
3. Газоанализатор на окись углерода	—
4. Газоанализатор на метан типа МОНО	30
Глава IV. Газоанализаторы для определения двух компонентов (газоанализаторы дуплекс)	
1. Газоанализатор МОНО дуплекс для топочных газов	33
2. Газоанализатор МОНО дуплекс для горючих газов	—
3. Газоанализатор Адос дуплекс	34
4. Газоанализатор МОНО дуплекс для генераторного газа	36
Глава V. Газоанализаторы для определения трех компонентов (газоанализаторы триплекс)	
1. Газоанализатор триплекс типа Адос (ГТ-1)	40
2. Газоанализатор триплекс типа МОНО	47
Глава VI. Расчет газонизмерительных устройств химических газоанализаторов	
1. Сокращение объема при анализе	48
2. Расчет поплавкового газонизмерительного устройства	49
3. Влияние трения в подвижной системе поплавкового газонизмерительного устройства на показания газоанализатора	50
4. Расчет колокольного газонизмерительного устройства	52
5. Изменение шкал газоанализатора	54
6. Обоснование допусков на объем волюметров	55
7. Влияние трения в механической части колокольного газонизмерительного устройства	56
Глава VII. Дистанционная передача показаний химических газоанализаторов	

Глава VIII. Электрические газоанализаторы

1. Условия теплопередачи	61
2. Термические условия	—
3. Электрическая схема	63
4. Конструкция камер	65
5. Расчет газоанализатора на CO_2 со шкалой 0—20%	—
6. Расчет газоанализатора на водород в воздухе со шкалой 0—6%	67
7. Расчет газоанализатора на водород со шкалой 94—100%	68

Глава IX. Источники погрешностей в газоанализаторах, основанных на измерении теплопроводности

1. Колебания температуры окружающей среды	69
2. Колебания напряжения источника питания	70
3. Изменение скорости просасывания газа	71
4. Колебания влажности газа	73
5. Колебания соотношения между компонентами газовой смеси	75
6. Дифференциальное измерение теплопроводности	76
7. Газоанализатор на кислород	77

Глава X. Газоанализаторы, основанные на тепловом эффекте сгорания

1. Теоретическое обоснование метода	80
2. Расчет газоанализатора	81
3. Характеристика конструкции измерительных камер	82

Глава XI. Конструкции электрических газоанализаторов

1. Газоанализатор Сименса	82
2. Основные правила монтажа газоанализаторов Сименса	83
3. Правила включения электрических газоанализаторов Сименса CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$	84
4. Газоанализаторы ГЛ-2	85
5. Газоанализатор ГЭД	87

Глава XII. Монтаж автоматических газоанализаторов

1. Основные правила монтажа	93
2. Арматура газоанализаторов	95
3. Монтажные схемы газоанализаторных установок	104

Глава XIII. Анализ малых концентраций

1. Автоматическое титрование	112
2. Фотокалориметрические приборы	115
3. Кондуктометрические приборы	118

Приложение 1. Обоснование требуемой точности автоматического анализа	122
--	-----

Приложение 2. Техническая характеристика основных типов газоанализаторов	126
Литература	128

ВВЕДЕНИЕ

По характеру использования автоматические газоанализаторы можно разбить на пять основных групп.

1) Контроль процессов горения. Сюда принадлежат газоанализаторы для определения CO_2 , O_2 , а также для одновременного определения CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$.

2) Контроль состава промышленных горючих газов (контроль газификации и газоснабжения). В эту группу входят газоанализаторы для одновременного определения CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$; CO_2 ; CO и H_2 , газоанализаторы на O_2 и на CH_4 .

3) Контроль состава газовых смесей в различных технологических процессах. К этой группе принадлежат разнообразные газоанализаторы например на SO_2 , NH_3 , Cl_2 , C_2H_{2n} , H_2S и др.

4) Контроль отработанных газов на остаточное содержание тех или иных компонентов (контроль полноты химических реакций и степени улавливания). Сюда относятся, например, газоанализаторы для определения остаточного SO_2 в сернокислотном производстве, остаточных окислов азота после абсорбции в производстве азотной кислоты и т. п.

5) Анализ воздуха промышленных помещений на содержание ядовитых и взрывоопасных примесей. В эту группу входят газоанализаторы на Cl_2 , CO , SO_2 , H_2S и др. при их содержании в концентрациях, являющихся опасными для здоровья, и газоанализаторы на CH_4 (рудничный газ), H_2 , C_2H_2 (ацетилен), пары спирта, эфира, бензина и других горючих веществ, в концентрациях, соответствующих нижнему пределу взрывчатости.

Первые три группы обычно связаны с анализом газов в высоких концентрациях, и шкалы газоанализаторов этих групп в большинстве случаев имеют диапазон измерения от 0—10 до 0—100%.

Четвертая и пятая группы связаны с определением газов в малых концентрациях. Шкалы этих газоанализаторов обычно имеют диапазон измерения от 0—2 до 0—0,01%.

Глава I

ХИМИЧЕСКИЕ ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ

1. Основные определения

Газоанализатор — прибор для количественного определения состава газа.

Газоопределитель — прибор для качественного определения того или иного вещества в газовой смеси.

Анализируемый газ — газовая смесь, поступающая для анализа.

Анализируемый компонент — химическое соединение или смесь нескольких химических соединений, подлежащих определению в газоанализаторе. Например, анализируемым компонентом может явиться сумма $\text{CO} + \text{H}_2$, смесь различных непредельных углеводородов и т. д.

2. Газометрический метод анализа

Под химическими газоанализаторами обычно подразумеваются газометрические анализаторы, основанные на газометрическом определении.

Газометрический метод анализа заключается в том, что из газовой смеси удаляется анализируемый компонент и его содержание определяется по сокращению объема анализируемого газа.

Применяются 3 способа газометрического определения.

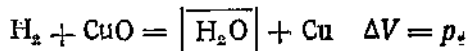
1. Сокращение объема при поглощении (абсорбции). В качестве примера можно привести поглощение CO_2 посредством KOH по реакции



(через ΔV мы обозначаем сокращение объема, через p — концентрацию анализируемого компонента).

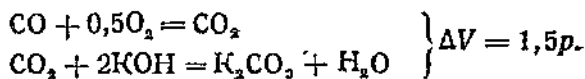
2. Сокращение объема при сжигании. Например:

$\text{H}_2 + 0,5\text{O}_2 = \boxed{\text{H}_2\text{O}} \quad \Delta V = 1,5p$ (при условии конденсации водяных паров).



Рамками обозначаем, что продукт реакции конденсируется или поглощается.

3. Сокращение объема при последовательно проведенном сжигании и поглощении. Например:



3. Ручные газоанализаторы

Ручные газоанализаторы, т. е. приборы, в которых определение состава газа производится вручную, являются прототипом автоматических химических газоанализаторов.

В данной работе они рассматриваются также как средство контроля работы автоматических газоанализаторов.

Наиболее распространенным из всех ручных газоанализаторов является газоанализатор Орса — Фишера (фиг. 1).

Этот газоанализатор обычно предназначается для определения трех анализируемых компонентов: CO_2 , O_2 и CO .

ХОД АНАЛИЗА

При помощи резиновой груши 2 про-

сасывается газопроводящая коммуникация, после чего производится промывание гребенки газоанализатора путем забора газа в бюретку и выдавливания его на выход через линию груши. Перед взятием пробы для анализа поглотительные жидкости в сосудах 3, 4, 5 должны быть подняты до меток под краниками. С целью отбора газа для анализа трехходовой кран 9 сообщается с газовой коммуникацией через фильтр 7 и в измерительной бюретке создается разрежение путем опускания уравнительной склянки 8. В измерительную бюретку забирается 100 см³ газа. Взятая проба приводится к атмосферному давлению.

Для определения CO_2 газ прокачивается несколько (4—5) раз через поглотительный сосуд 5 со щелочью, после чего наблюдается сокращение объема. Затем необходимо произвести несколько контрольных прокачиваний и добиться того, чтобы сокращение объема при двух последовательных отмерах сохранялось неизменным.

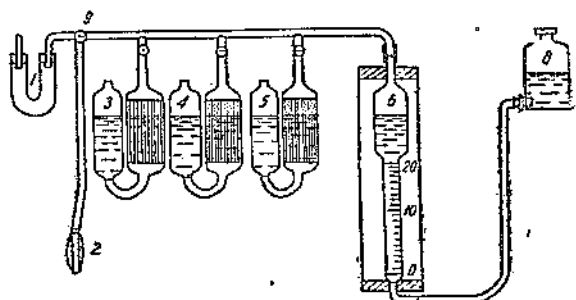
Аналогичным образом в сосуде 4 поглощается O_2 и в сосуде 3 — CO . Заполненный водой кожух измерительной бюретки имеет целью увеличение тепловой инерции прибора с целью сохранения постоянной температуры газа за все время анализа.

ПОГЛОТИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

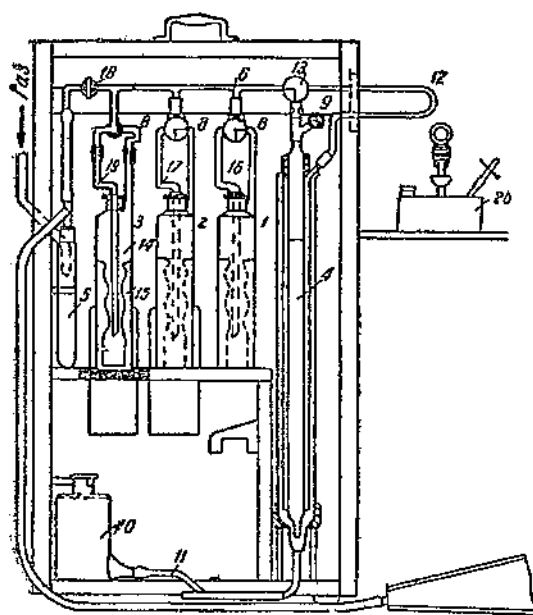
В сосуде 5 поглощается CO_2 . Раствор: 100 г едкого кали в 200 г воды.

В сосуде 4 поглощается O_2 . Раствор: 80 г едкого кали растворяется в 160 г воды и к нагретому до 60° раствору прибавляется 35 г пирогаллола.

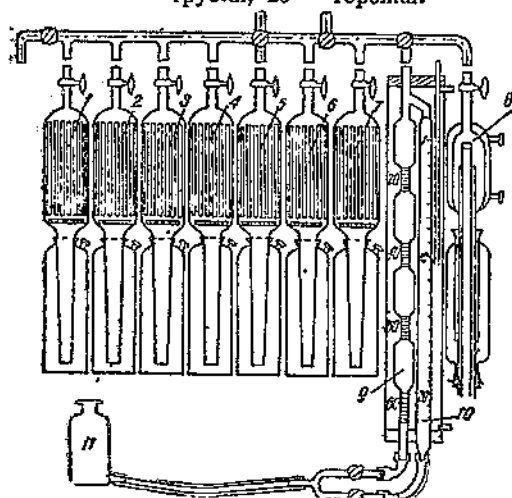
В сосуде 3 поглощается CO . Раствор: 200 г полухлористой меди и 250 г хлористого аммония растворяют в 750 г воды; к этому раствору



Фиг. 1. Схема газоанализатора Орса—Фишера без дожигания. 1 — фильтр; 2 — резиновая груша; 3, 4, 5 — поглотительные сосуды; 6 — измерительная бюретка; 7 — кожух измерительной бюретки; 8 — напорный сосуд; 9 — трехходовой кран.



Фиг. 2. Схема газоанализатора Норзе. 1, 2, 3 — поглотительные сосуды; 4 — измерительная бюретка; 5 — фильтр; 6 — распределительная трубка; 7 — груша; 8, 9, 13, 18 — краны; 10, 11 — напорный сосуд с трубкой; 12 — дожигательная пелля; 14 — рабочая камера; 15 — вспомогательная камера; 16, 17, 19 — капиллярные трубки; 20 — горелка.



Фиг. 3. Схема газоанализатора Теплотехнического института. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 — поглотительные сосуды; 8 — взрывная пипетка для совместного сжигания водорода и метана; 9, 10 — измерительные бюретки; 11 — напорный сосуд.

прибавляют перед заливкой в поглотитель $\frac{1}{2}$ (по объему) 25-проц. аммиака.

Рассмотренный прибор пригоден для определения лишь трех компонентов. Для полного анализа применяются газоанализаторы Норзе (фиг. 2) или Теплотехнического института (фиг. 3).

Газоанализатор Норзе отличается наличием дожигательной трубки из стекла «Пирекс» с катализатором, а также конструкцией измерительной бюретки и поглотительных сосудов. При содержании в газе тяжелых углеводородов они поглощаются в первом сосуде дымящейся серной кислотой, во втором сосуде поглощается CO_2 , в третьем O_2 . В этом случае CO , H_2 и CH_4 определяются сжиганием. При отсутствии тяжелых углеводородов поглощаются CO_2 , O_2 и CO и определяются сжиганием H_2 и CH_4 .

Газоанализатор Теплотехнического института представляет громоздкий лабораторный прибор, анализ в котором требует затраты длительного времени, но дает сравнительно точные результаты. Отличается конструкцией измерительной бюретки и поглотительных сосудов. Последних имеется семь. Первый с дымящейся серной кислотой для поглощения C_nH_m , второй со щелочью для поглощения CO_2 , третий и четвертый для по-

глощения O_2 с пирогаллолом и гидросернистым натром, пятый и шестой для поглощения CO сначала кислым, затем аммиачным растворами полухлористой меди и седьмой со слабой серной кислотой — для улавливания паров аммиака, выделяющегося в шестом сосуде.

Водород и метан определяются совместным сжиганием во взрывной пипетке или фракционированным сжиганием при различных температурах в трубке с катализатором, не показанной на схеме.

Подсчет результатов сжигания. Обозначим через:

Σn — сумму поглощенных компонентов;

V' — объем газа, взятый для сжигания;

ΔV — сокращение объема при сжигании;

O'_2 — объем кислорода, израсходованный на сжигание (определяется по разности между кислородом, взятым для сжигания, и остаточным);

CO'_2 — объем углекислоты, поглощенной после сжигания.

В случае совместного определения сжиганием CO , H_2 и CH_4 ,

$$H_2 = (\Delta V - O'_2) \frac{100 - \Sigma n}{V'}; \quad (1)$$

$$CO = \left(\frac{4}{3} CO'_2 - O'_2 + \frac{\Delta V}{3} \right) \frac{100 - \Sigma n}{V'}; \quad (2)$$

$$CH_4 = CO'_2 \left(\frac{100 - \Sigma n}{V'} \right) - CO. \quad (3)$$

Совместное определение путем сжигания H_2 , CO и CH_4 во многих случаях, по нашим практическим данным, давало неверные результаты. Поэтому мы рекомендуем производить определение CO поглощением, а содержание H_2 и CH_4 в таком случае определять по формулам:

$$CH_4 = CO'_2 \cdot \frac{100 - \Sigma n}{V'}; \quad (4)$$

$$H_2 = \frac{2}{3} (\Delta V - 2CO'_2) \frac{100 - \Sigma n}{V'}. \quad (5)$$

При этом может быть произведена балансовая проверка результатов анализа по уравнению

$$(0,5H_2 + 2CH_4) \frac{V'}{100 - \Sigma n} = O'_2. \quad (6)$$

При правильно выполненном анализе имеет место равенство правой и левой частей уравнения.

Еще более удобно применить фракционированное сжигание H_2 и CO при низкой температуре и CH_4 при высокой. Весьма рационально сконструированный газоанализатор, использующий этот принцип, выпущен в настоящее время ЦКТИН.

4. Автоматические газоанализаторы

По количеству анализируемых компонентов газоанализаторы подразделяются на:

1) симплекс — приборы, определяющие один анализируемый компонент;

2) дуплекс — приборы, определяющие два компонента;

3) триплекс — приборы, определяющие три компонента.

Под «кратностью» анализа в автоматических газоанализаторах под-

разумеваем число циклов, нужных для завершения анализа. Так, например, в газоанализаторе на метан типа МОНО анализ выполняется в течение двух циклов, т. е. анализ двукратный. В то же время это газоанализатор симплекс.

Химические газоанализаторы, основанные на газометрическом принципе, содержат:

а) силовое устройство, вызывающее перемещение анализируемого газа в приборе;

б) волюметр — сосуд для первичного отмеривания анализируемого газа;

в) поглотительный сосуд или сожигательную печь;

г) измерительное устройство (вторичное) и регистратор.

В табл. 1 приведены принципиальные схемы некоторых автоматических химических газоанализаторов.

Таблица 1

Группа	Принципиальная схема	Тип газоанализатора по классификации	Анализируемые компоненты
1		Симплекс с поглощением	CO_2 SO_2 NH_3
2		Симплекс с дожиганием	H_2 O_2
3		Симплекс с поглощением и дожиганием	$\text{CO} + \text{H}_2$
4		Дуплекс с поглощением и дожиганием (по типу Адос)	CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$
5		Дуплекс с поглощением и дожиганием (по типу МОНО)	CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$ CO_2 и O_2

Примечание. На схемах введены следующие обозначения, соответственно условному графическому изображению:

В — волюметр анализируемого газа; В' — волюметр для вспомогательного газа (воздуха, кислорода или водорода); А — поглотительный (абсорбционный) сосуд; П — сожигательная печь; И — измерительное устройство; Г — газовый переключатель.

Эти обозначения употребляются при изложении всего последующего материала.

ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ СИМПЛЕКС

(приборы для определения одного компонента абсорбционным методом)

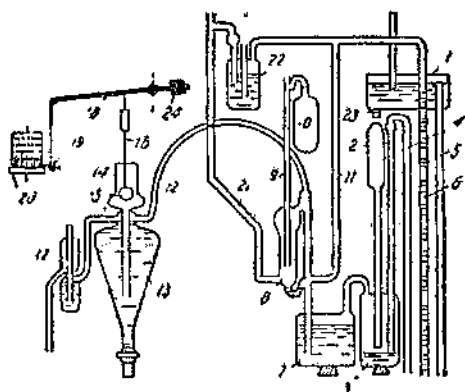
1. Газоанализатор Адос (старая модель)

Одной из первых моделей автоматических газоанализаторов был газоанализатор Адос на CO_2 . На фиг. 4 изображена уже несколько улучшенная конструкция.

Силовая часть прибора, создающая импульсы для перемещения газа в газоанализаторе, основана на периодической зарядке сифона 4. Силовая жидкость — вода — поступает в напорный бак 1 в некотором избытке, который удаляется через переливную трубку 5. Из напорного бака через регулировочный кран 23 вода поступает в силовую трубку 2 и силовой сосуд 3. После наполнения силовой трубки до уровня перелива сифоном вся вода из силового сосуда и силовой трубки выливается, так как скорость выливания воды из сифона значительно превышает скорость поступления воды из напорного бака. При заполнении силового сосуда замкнутый в последнем газ передавливается в компрессирующий резервуар 7, выходящая из него замыкающая жидкость (обычно раствор поваренной соли) в волюметр 8 и выхлопную трубку 11; при срабатывании сифона жидкость возвращается в компрессирующий резервуар.

Анализируемый газ непрерывно обновляется в газоподводящей коммуникации при помощи эжектора 6, просасываясь через гидравлический затвор 22. При падении давления в компрессирующем резервуаре анализируемый газ по трубке 27 засасывается в волюметр. При повышении давления анализируемый газ до момента отсечки, т. е. закрытия нижнего конца трубки 9, выдавливается в резиновый мешок 10. Вслед за тем отмеренный в волюметре объем газа передавливается в поглотительный сосуд 13, заполненный щелочью.

Поглощение поверхностное. Остаточный объем газа, собираясь в поглотительном сосуде, выдавливает щелочь в измерительную воронку



Фиг. 4. Схема газоанализатора Адос. 1 — напорный бак; 2 — силовая трубка; 3 — силовой сосуд; 4 — сифон; 5 — переливная трубка; 6 — эжектор; 7 — компрессирующий резервуар; 8 — волюметр; 9 — трубка; 10 — резиновый мешок; 11 — выхлопная трубка; 12 — соединительная трубка; 13 — поглотительный сосуд; 14 — измерительная воронка; 15 — поплавок; 16 — подвесная нить; 17 — затвор для поддержания уровня жидкости в поглотителе; 18 — рычаг; 19 — перо; 20 — часовой механизм с диаграммной лентой; 21 — газоподводящая трубка; 22 — гидравлический затвор; 23 — кран для регулирования подачи воды; 24 — контргруз.

ку 14 с поплавком 15. Воронка состоит из нижней расширенной части, вмещающей объем газа V' ($V' = 100 - P$, где P — значение шкалы прибора в %) и верхней цилиндрической, объем которой в пределах между крайними положениями поплавка равен сокращению объема при максимальном значении шкалы (ΔV).

Поплавок подвешен к рычагу 18, на котором укреплено также перо 19. Вес поплавка в значительной мере уравновешен весом контргруза 24. По достижении зеркалом жидкости поплавок потеря последнего в весе нарушает равновесие подвижной системы и заставляет перо подниматься. При отсутствии в газе анализируемого компонента, в данном случае CO_2 , в измерительную воронку поступает максимальный объем жидкости, и перо записывает на диаграммной ленте штриховую линию, длина которой равна ширине диаграммы. При наличии в газе CO_2 высота подъема поплавка и пропорциональный ей ход пера соответственно уменьшаются. По завершении периода продавливания газа, когда в волюметр поступает новая порция газа, оставшийся в поглотительном сосуде газ получает свободный выход по трубке 12 в выпускную трубку и далее в эжектор.

Рассмотренная схема, в основном соответствующая конструкции газоанализатора ГУ-3, выпускавшегося до 1938 г., обладает рядом существенных дефектов:

- 1) отсутствие барботажа в поглотительном сосуде, затрудняющее абсорбцию углекислоты;
- 2) штриховая запись показаний прибора;
- 3) отсутствие электрической передачи показаний;
- 4) малое разрежение, создаваемое в волюметре при заборе газовой пробы (прибор данной конструкции мог засасывать газ при разрежении в системе, не превышающем 75 мм вод. ст.);
- 5) нерациональная конструкция ряда деталей прибора, в частности выполнение их из тонкостенного стекла.

Для устранения указанных недостатков одним из заводов нашей приборостроительной промышленности была освоена улучшенная конструкция газоанализатора того же типа, выпускаемая в настоящее время, — модель ГУ-4.

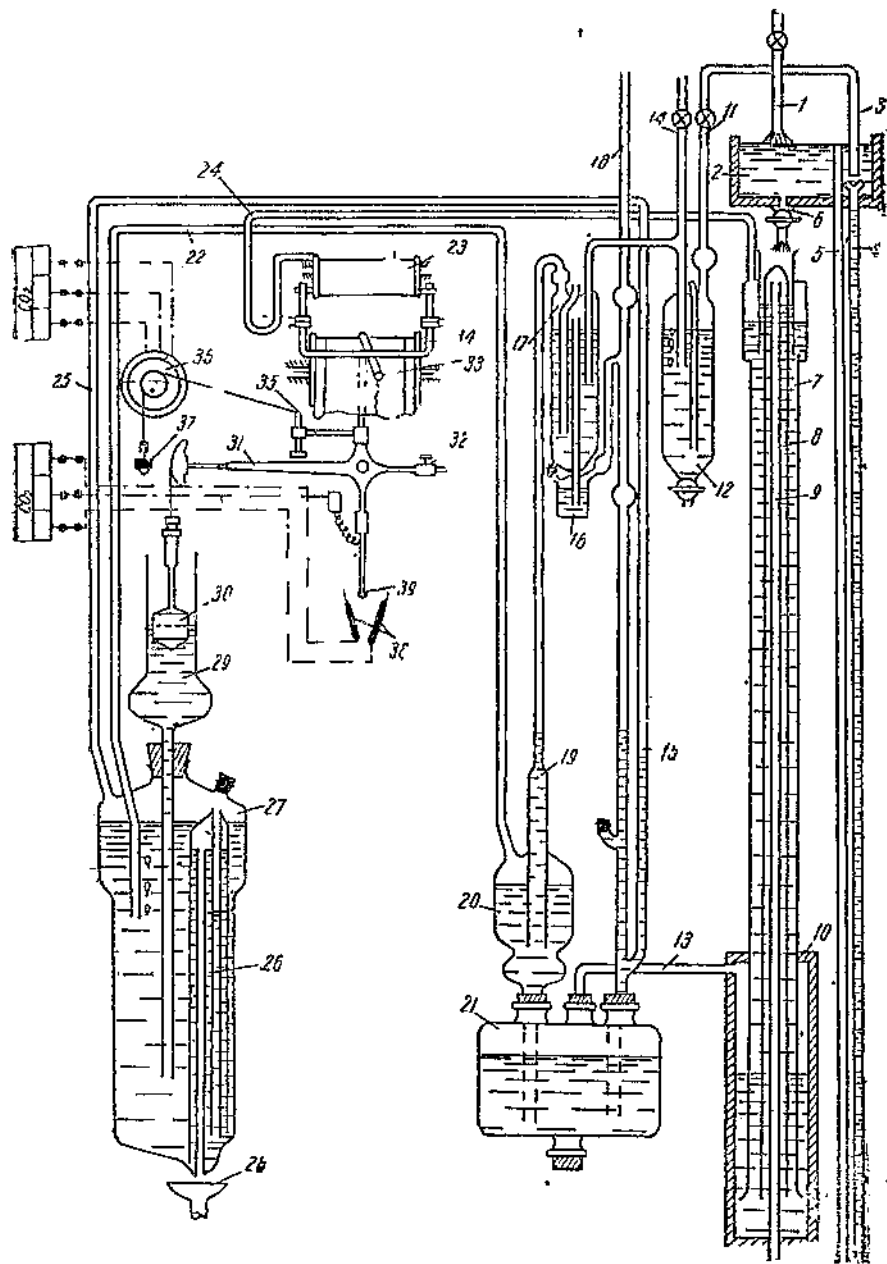
2. Газоанализатор ГУ-4

Действие силовой части прибора (фиг. 5) аналогично описанному выше. В отличие от предыдущего прибора силовая часть сделана из металла. В связи с этим сифон конструктивно выполнен в форме двух концентрических трубок 8 и 9, помещенных в напорной трубе 7 силового сосуда 10.

Под действием сжатого воздуха, заполняющего компрессирующий резервуар 21, замыкающая жидкость поднимается в волюметр 20 и выпускные трубки 15, 18, разбрызгивая, следовательно, газовое пространство поглотительного сосуда 27 с атмосферой.

Отсечка отмеренного объема газа в волюметре происходит в момент перекрытия поднимающейся замыкающей жидкостью нижнего конца трубки 19. Для поддержания постоянного давления отобранной пробы газа излишек газа до отсечки удаляется в атмосферу по трубке 19 через затвор 17 и его нижнюю часть.

Отмеренная проба газа после отсечки передавливается из волю-



Фиг. 5. Схема газоанализатора ГУ-4.

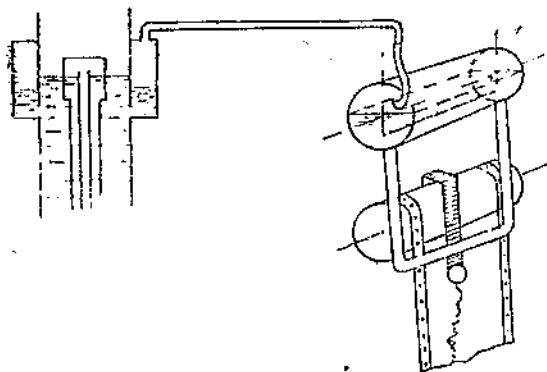
1—труба для подачи воды; 2—напорный бак; 3—засасывающая труба; 4—эжектор; 5—переливная труба; 6—кран для регулирования подачи воды; 7—напорная труба; 8, 9—трубки сифона; 10—сигмовой сосуд; 11—двухходовой кран; 12—гидравлический затвор; 13—соединительная труба; 14—трубка с краном для забора газа; 15, 16, 18, 19, 25—выходные трубы; 16—нижняя часть гидравлического затвора; 17—гидравлический затвор; 20—вольтметр; 21—компрессирующий резервуар; 22—соединительная труба; 23—ртутный манометр (см. фиг. 6); 24—соединительная труба; 25—затвор для поддержания уровня жидкости в поглотителе; 27—поглотительный сосуд; 28—сосуд для стока жидкости; 29—измерительная воронка; 30—поплавок; 31—поромыло; 32—контргруз; 33—перо; 34—дужка; 35—лить; 36—реостат из платино-иридиевой проволоки; 37—противовес; 38—передвижные контакты; 39—замыкающий контакт.

метра в поглотительный сосуд и барботирует через раствор щелочи. Возможность барботажа газа в рассматриваемой конструкции обеспечивается достаточной высотой напорной трубы силового сосуда. С другой стороны, это возрастание высоты напорной трубы позволяет увеличить разрежение, создаваемое волюметром при заборе газа.

Непоглощенный остаток газа, собираясь над поглотительным раствором, вызывает поднятие раствора в измерительной воронке 29. Поплавок 30 в конце периода выдавливания устанавливается на уровне, соответствующем объему поглощенного газа, т. е. содержанию CO_2 в анализируемом газе. Перо 33, жестко скрепленное с коромыслом 31, остается зажатым дужкой 34 на предыдущем аналитическом значении. Перед окончанием аналитического периода, когда жидкость в напорной трубке силового сосуда доходит до крайнего верхнего уровня, воздух, замыкаемый в пальцевом пространстве напорной трубы, сжимается, и его давление передается ртутному манометру 23. Последний выполнен по принципу кольцевых весов. Перемещение ртути в манометре, уравновешенном на осях, вызывая перемещение центра тяжести системы, поворачивает манометр на некоторый небольшой угол, освобождая на несколько секунд перо, которое прижато к диаграммной ленте дужкой, связанной с кольцевыми весами.

Перо получает возможность установиться на новое аналитическое значение, соответствующее конечному положению поплавка в измерительной воронке. Сразу после зарядки сифона давление в манометре падает, и перо вновь зажимается до окончания следующего анализа.

Более наглядно система торможения пера изображена на фиг. 6. При срабатывании сифона давление в компрессирующем резервуаре падает, в волюметр засасывается новая



Фиг. 6. Схема торможения пера.

порция газа, а остаточный газ в поглотительном сосуде 27 получает свободный выход в атмосферу через выпускные трубки 15 и 18. Газоанализатор снабжен устройством для электрической передачи показаний на расстояние (датчиком) и сигнализации предельных аналитических значений.

В описанном газоанализаторе ГУ-4 устранены указанные выше дефекты, относящиеся к предыдущей модели (ГУ-3).

Газоанализатор ГУ-4 выпускается для определения CO_2 со шкалами 0—20%; 0—30% и 0—40%. Шкала 0—20% CO_2 охватывает обычные топочные газы, шкалы 0—30% и 0—40% предназначены для контроля продуктов сгорания некоторых технических горючих газов, обжиговых газов известковых печей, содержания CO_2 в конвертированном газе, процессов газификации (парокислородное дутье, подземная газификация).

Необходимо отметить, что до сего времени не использованы все возможности данной конструкции.

Так, у нас не использована возможность применения газоанализатора типа Адос для анализа ряда агрессивных газов, встречающихся в химической промышленности: SO_2 , NH_3 , Cl_2 , HCl . Ряд работ, проведенных ранее в этом направлении, не дал положительных результатов, что объясняется главным образом значительной растворимостью указанных газов в замыкающих жидкостях — водных растворах. Нам кажется, что при этом не была учтена возможность использования других растворителей. Растворимость этих газов могла бы быть уменьшена применением растворов солей, но при этом нужно иметь в виду, что и те количества газа, которые растворяются, вызывают совершенно недопустимую инерционность показания и выравнивание кратковременных изменений состава.

Широкие возможности для расширения области применения газоанализаторов открывает использование в качестве замыкающих жидкостей органических соединений, например некоторых галоидопроизводных с низкой упругостью пара при комнатных температурах. Помимо этого, можно применять специфические замыкающие жидкости, например концентрированную серную кислоту при анализе Cl_2 и HCl , SO_2 , раствор щелочи при анализе NH_3 .

При анализе указанных газов необходимо учесть адсорбирующие свойства резиновых трубок, а в некоторых случаях и возможность их разрушения, поэтому необходимо обеспечить все соединения стекла виритык, а также устранить возможность коррозии металлических деталей газоанализатора.

3. Газоанализатор типа МОНО с водяным приводом

Силовое устройство. Газоанализатор (фиг. 7) приводится в действие водой под постоянным напором. Замыкающей жидкостью газоанализатора служит ртуть.

Вода поступает в прибор через дроссельный кран 7, степень открытия которого определяет частоту анализов. Нормальное число анализов — от 20 до 30 в час. Перед поступлением в силовое устройство вода проходит через эмеевик-теплообменник 3, расположенный вокруг цилиндра колокола 4.

Назначение теплообменника — выравнивание температуры замыкающей жидкости в цилиндре — глицерина с температурой поступающей воды. Благодаря сравнительно малому теплосодействию газовой пробы, поступающей в волюметр, и высокой теплопроводности замыкающей жидкости в волюметре — ртути, газ в волюметре, т. е. при первом отмере, приобретает температуру воды, поступающей в силовое устройство. Задача заключается в сохранении неизменности температуры при первом и втором отмерах объема газа. С этой целью эмеевик сообщает глицерину, а следовательно, и газу под колоколом 32 температуру близкую к температуре поступающей воды.

Из эмеевика вода поступает в нижнюю часть силовой бюретки 78. Последняя и силовой сосуд 7 заполнены ртутью выше уровня переливного сифона 20. Давление воды, передаваемое как в силовую бюретку, так и через отверстие в ее нижней части в силовой сосуд, заставляет

нием воды выбрасывается из нее в верхнюю часть бюретки. Вода получает свободный выход через силовую трубку в дренаж по трубке 19.

Давление воды в силовом сосуде вследствие этого падает, и уровень ртути в волюметре, выхлопной трубке и сточной трубке опускается до первоначального значения. Ртуть, возвращаясь при этом в силовой сосуд, достигнув уровня переливного сифона, заполняет нижнюю часть силовой бюретки и вновь закрывает выход воде через силовую трубку. Цикл повторяется.

Путь газа. Газ поступает в прибор через трехходовой кран 24. Кран устроен трехходовым для создания возможности проверки газоанализатора воздухом на постоянство нулевой линии без разбора газоподводящей коммуникации.

Через воронку в трехходовом кране, перед пуском прибора, в ртутный затвор 23 заливается вода, образующая слой 1—2 мм, предназначенная для насыщения анализируемого газа до стопроцентной относительной влажности.

Непостоянство влажности газа могло бы внести искажение в показания прибора, так как при втором замере объема (под колоколом) газ приобретает насыщенную влажность, соответствующую упругости водяных паров под поглотительным раствором.

При опускании ртути в волюметре происходит засасывание в него газа через ртутный затвор 23; при подъеме ртути в волюметре газ выдавливается через затвор 27 в поглотительный сосуд 16. До тех пор, пока газ не выйдет из нижнего промывного шара 11 волюметра, из поглотительного сосуда газ имеет свободный выход в атмосферу через выхлопную трубку 13, 14.

Когда ртуть достигает перешейка между нижним и верхним шарами волюметра, ртуть в выхлопной трубке запирает выход в атмосферу, и газ вынужден идти по трубке 22 под колокол 32, заставляя последний подниматься вверх.

При подъеме колокола, благодаря наличию противовеса на колесе 29, оба колеса, 28 и 29, жестко между собой связанные, приходят во вращение. После поворота колеса 28 на некоторый угол, называемый углом холостого хода (φ_2), выступ на колесе 29 захватывает шпильку большого колеса 30, к которому на цепочке подвешено перо 31. Угол поворота колес после момента сцепления называется углом рабочего хода (φ_1). Если содержание анализируемого компонента равно нулю, имеет место соотношение:

$$\frac{\varphi_1}{\varphi_1 + \varphi_2} = \frac{P_{\max}}{100}, \quad (7)$$

где $P_{\max}$ — максимальное значение шкалы.

Во время вращения колес после момента сцепления перо записывает штриховую линию, длина которой определяется величиной угла рабочего хода. При нулевой концентрации анализируемого компонента перемещение колокола, а следовательно, и ход пера имеют максимальное значение, при содержании $P_{\max}$ перо не сдвигается с места. Для отсчета результатов анализа наблюдается ордината незаштрихованной части диаграммы начиная с нижней нулевой линии.

Газоанализаторы, работающие в соответствии с изображенной схемой, применяются для определения углекислоты (поглотитель —

раствор едкого кали), сернистого газа (поглотитель — раствор едкого кали или хромовой кислоты), аммиака (поглотитель — серная кислота). Для определения хлора рассмотренный газоанализатор непригоден, вследствие взаимодействия хлора с ртутью.

4. Газоанализатор типа МОНО с электромеханическим приводом

Неудобства, связанные с применением напора воды как источника энергии для привода в действие газоанализаторов, послужили причиной появления приборов с электромеханическим приводом.

На фиг. 8 представлена схема такого газоанализатора типа МОНО.

Прибор приводится в действие маломощным мотором 1. При помощи эксцентрика, помещенного на валу редуктора, рычаг 2 приводит в поступательно-возвратное движение плунжер 3. Во время подъема плунжера замыкающая жидкость — ртуть перетекает из волюметра 6 и выхлопной трубки 8 в напорный цилиндр 4. При этом анализируемый газ засасывается в волюметр через затвор 5. Во время опускания плунжера ртуть вытесняется в волюметр и выхлопную трубку. Анализируемый газ из волюметра, пройдя через затвор 7, барботирует через поглотительный раствор в абсорбере 9 и выходит до момента отсечки через выхлопную трубку 8, а затем поступает под измерительный колокол 10.

В рассматриваемой конструкции применена бесколесная система передачи хода колокола регистратору. Сцепление штока колокола с рычагом 12 происходит после того, как под колокол поступит объем газа ($100 - P_{\max}$); перо в течение почти всего аналитического цикла заторможено зажимом, прижатым к сектору 18.

В момент завершения анализа замыкается цепь реле 17, зажим освобождает сектор 18, и перо получает возможность установиться на новое аналитическое значение.

Наличие системы торможения позволяет применить в приборе систему электрической передачи показаний.

Диаграммная лента перемещается, так же как в газоанализаторах с водяным приводом, часовым механизмом, либо для перемещения ее используется мотор, приводящий в движение силовое устройство прибора.

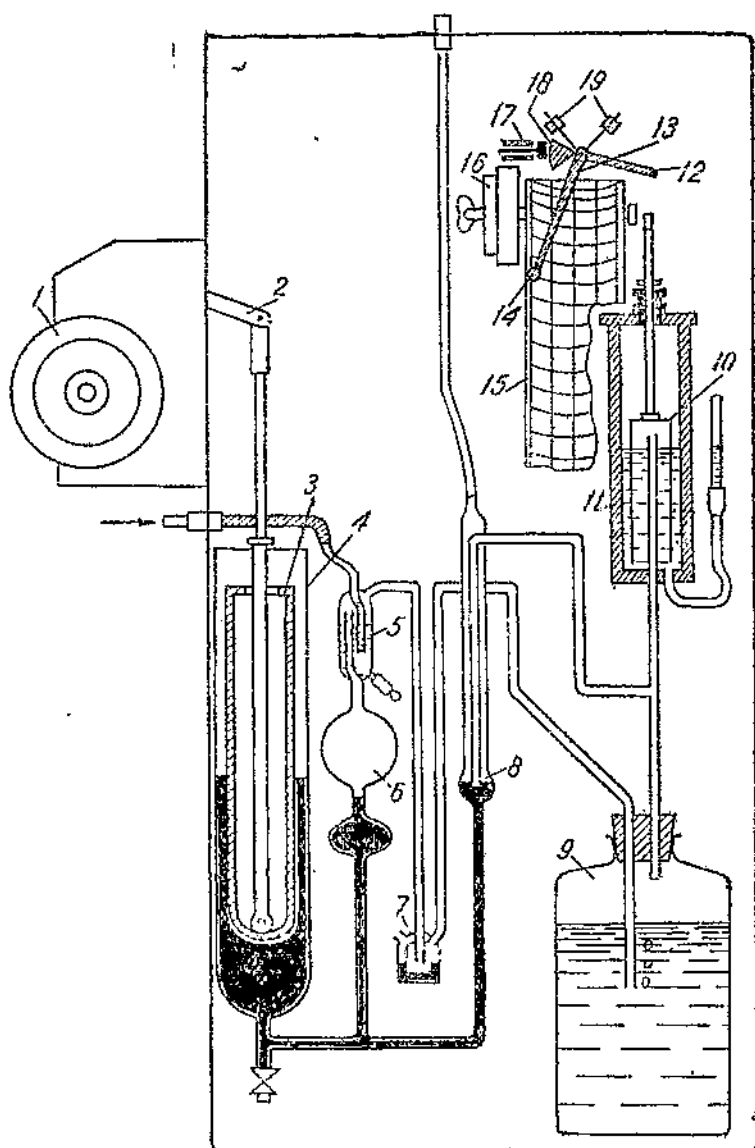
Конструкция газоанализатора позволяет использовать в качестве замыкающей жидкости не только ртуть, но и другие жидкости.

В частности, рассмотренный прибор применяется для определения содержания Cl_2 в хлор-газе. В этом случае замыкающей жидкостью служит концентрированная серная кислота, поглотителем — щелочь. Напорный цилиндр и плунжер при этом выполняются стеклянными.

Газоанализаторы типа МОНО производятся с различными шкалами. Нормально диапазон измерения составляет 20% и выше, но фирмой МОНО выпускаются и приборы со шкалой 0—10% и даже 0—5%. Нужно отметить, что газоанализаторы с малым диапазоном измерения, несмотря на возможность весьма точного отсчета, работают с очень большой погрешностью, что делает их практически неудобными в эксплуатации (см. главу VI—Расчет газоизмерительных устройств).

5. Газоанализатор «Термотехник»

Газоанализаторы фирмы «Термотехник» имеют также электромеханический привод. Существенным отличием их от рассмотренных выше



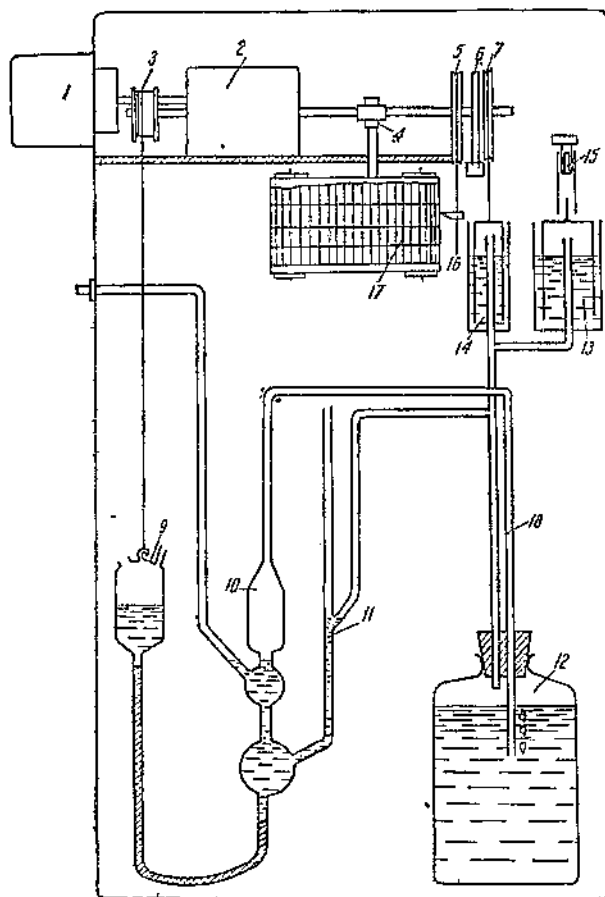
Фиг. 8. Схема газоанализатора МОНО с электромеханическим приводом. 1 — мотор; 2 — рычаг; 3 — плунжер; 4 — напорный цилиндр; 5 — затвор; 6 — волюметр; 7 — затвор; 8 — выпускная трубка; 9 — абсорбер (поглотительный сосуд); 10 — колокол; 11 — цилиндр колокола; 12 — рычаг; 13, 14 — рычаг с пером; 15 — часовой механизм с диаграммной лентой; 16 — заводное устройство часового механизма; 17 — реле; 18 — сектор для торможения; 19 — балансы.

газоанализаторов МОНО является своеобразная система записи с механическим усилением.

Другая особенность, характерная для приборов этой фирмы, вызвана, повидимому, только патентными мотивами. Это касается си-

лового устройства, выполненного в виде напорного сосуда, периодически поднимающегося для выдавливания анализируемого газа через абсорбер в газонизмерительное устройство¹. Схема прибора представлена на фиг. 9. Электромотор 1 через редуктор приводит в поступательно-возвратное движение напорный сосуд 9, распределительный механизм газонизмерительного устройства 2 и диаграммную ленту 17.

При опускании напорного сосуда анализируемый газ засасывается в волюметр 10 по трубке 8. Во время подъема напорного сосуда газ



Фиг. 9. Схема газоанализатора «Термотехнику». 1 — электромотор; 2 — распределительный механизм газонизмерительного устройства; 3 — редуктор; 4 — устройство для вращения диаграммной ленты; 5, 7 — колеса; 6 — рычаг и тормозное устройство; 8 — трубка для забора газа; 9 — напорный сосуд; 10 — волюметр; 11 — выхлопная трубка; 12 — абсорбер; 13, 14 — цилиндры колоколов с замыкающей жидкостью; 15 — упор; 16 — перо; 17 — диаграммная лента; 18 — соединительная трубка.

¹ В последних моделях напорные сосуды заменены плунжерами.

проходит по трубке 18 в абсорбер 12, затем до момента отсечки — в выхлопную трубку 11, а после отсечки — в газонизмерительное устройство.

Как видно из схемы, в данном газоанализаторе, в отличие от предыдущего, совершенно отсутствуют затворы: газ засасывается в нижнюю часть волюметра, чем устраняется надобность во всасывающем затворе. а нагнетательный затвор заменяет барботажная трубка абсорбера. Газонизмерительное устройство прибора изображено на фиг. 10. Оно состоит из холостого колокола 11 и рабочего колокола 10. Последний начинает подниматься тогда, когда колокол 11, дойдя до упора 12, вместит в себя объем газа ($100 - P_{\max}$).

В течение аналитического цикла распределительный механизм в определенной последовательности включает и выключает тормозные колодки 5 и 6, а также отводит рычаг 3.

Во время нагнетательного периода, когда газ поступает под колокола 10 и 11, рычаг отведен в крайнее верхнее положение, тормозная колодка 5 отведена от колеса 1, а колодка 6 прижата к колесу 2. По окончании подъема колоколов колесо 1 зажимается, а колесо 2 и рычаг освобождаются.

Под действием усилия, создаваемого пружиной 4, рычаг опускается до упора, создаваемого шпилькой 14 или 15, в зависимости от их взаимного расположения. Вслед за этим на короткий отрезок времени колодка 6 освобождает колесо 2. Если последующий аналитический результат оказывается меньше предыдущего, то рычаг, лежащий на шпильке 14, под действием пружины доходит до упорной шпильки 15, и перо 8 продвигается по диаграмме вниз. Если же последующий результат оказывается больше предыдущего, то при отведении тормозной колодки 6 колесо 2 под действием противовеса 7 поворачивается против часовой стрелки до соприкосновения шпильки 14 с рычагом. Перо перемещается при этом по диаграмме вверх.

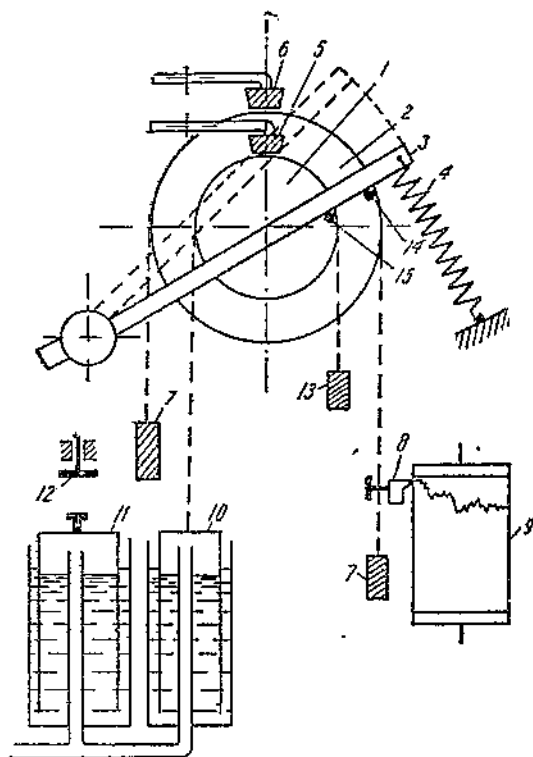
После перемещения пера колодка 6 вновь зажимает колесо 2 до окончания следующего анализа, тормозная колодка 5 освобождает колесо 1, и рычаг отводится в крайнее верхнее положение.

В рассмотренной системе записи, основанной на действии значительных усилий, создаваемых пружиной, при ходе пера вниз, и противовесом, при ходе пера вверх, трение практически влияния не оказывает, что обуславливает надежность действия.

Недостатком этой системы является кинематическая сложность распределительного устройства.

6. Газоанализатор Фоксборо

Газоанализатор американской приборостроительной фирмы Фоксборо представляет интерес как рационально сконструированный цельнометаллический прибор. Особым достоинством его является

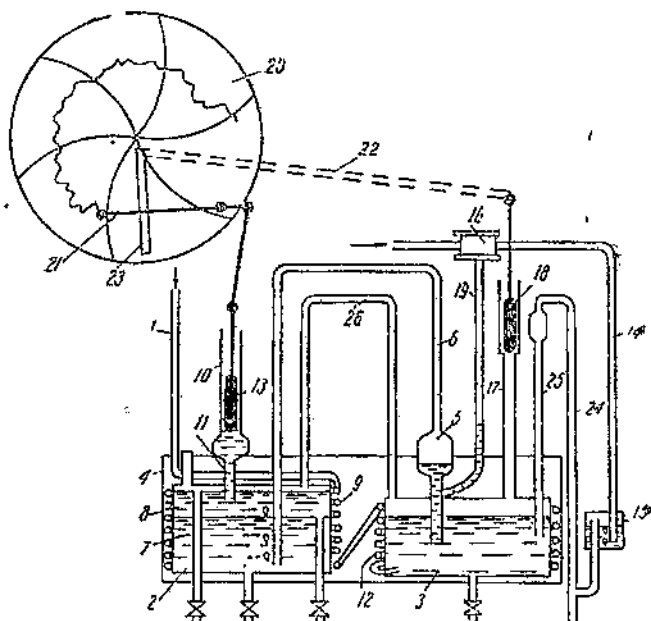


Фиг. 10. Схема записи. 1, 2 — колеса; 3 — рычаг; 4 — пружина; 5, 6 — тормозные колодки; 7, 13 — противовесы; 8 — перо; 9 — диаграммная лента; 10 — рабочий колокол; 11 — холостой колокол; 12 — упор; 14, 15 — упорные шпильки.

весьма совершенное выравнивание температуры при первом и втором отмерах объема газа, так как весь газоанализатор помещен в общем баке, заполненном жидкостью.

Недостатком конструкции является возможность использования ее только для газовых смесей, не содержащих легко растворимых в воде компонентов, так как замыкающей жидкостью служит вода.

Описываемый ниже прибор (фиг. 11) предназначен для анализа дымовых газов на CO_2 .



Фиг. 11. Схема газоанализатора Фоксборо. 1 — впускная трубка; 2 — поглощительный сосуд; 3 — силовой сосуд; 4 — бак; 5 — волюметр; 6 — соединительная трубка; 7 — щелочь; 8 — масло; 9, 12 — эжекторы; 10 — измерительная воронка; 11 — соединительная трубка; 13 — поплавок; 14 — трубка; 15 — контрольный затвор; 16 — фильтр; 17 — соединительная трубка; 18 — поплавок; 19 — трубка; 20 — часовой механизм с диаграммной бумагой; 21 — система рычагов с пером; 22, 23 — устройство для торможения пера; 24, 25 — сифон; 26 — выхлопная трубка.

Вода входит через впускную трубку 1 и проходит по эжекторам 9 и 12, расположенным вокруг поглощительного и силового сосудов, полностью погруженных в бак 4, залитый минеральным маслом, благодаря чему во время анализа поддерживается равномерная температура газа.

Вода поступает в силовой сосуд 3 через отверстие в его нижней части, выталкивает газ в волюметр 5 и заставляет газ барботировать через слой щелочи 7 в сосуде 2. Находящееся над слоем щелочи масло 8 по трубке 11 выжимается в измерительную воронку 10 с поплавком 13. Последний поднимается на определенную высоту, в зависимости от содержания CO_2 в анализируемом газе. При помощи системы рыча-

гов поплавков связан с пером, движущимся радиально вдоль поля круглой диаграммы.

Вода, поднимающаяся в трубке 17, в момент завершения анализа заставляет всплыть поплавок 18, кинематически связанный с дужкой, прижимающей перо к диаграмме. Одновременно с заполнением волюметра и трубки 17, вода, поднимаясь по трубке сифона 25, достигает уровня перелива и загружает сифон. Вследствие быстрого выливания воды, уровень в трубке 17 и волюметре падает. В последний по трубке 19 через фильтр 16 засасывается новая порция газа. В период засасывания газа используется эжектирующее действие воды, сливающейся по трубке сифона 24, для промывания газоподводящей коммуникации. Газ засасывается по трубке 14 и проходит через контрольный затвор 15.

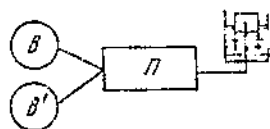
Отработанные газы по окончании анализа удаляются из поглощающего сосуда 2 по трубке 26 и далее через верхнюю часть сосуда 3 по трубке 17 в атмосферу.

Глава III

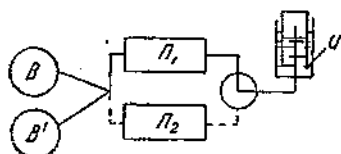
ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ СИМПЛЕКС С ДОЖИГАНИЕМ ДЛЯ ОДНОКРАТНОГО ИЛИ ДВУКРАТНОГО АНАЛИЗА

К первой группе относятся газоанализаторы на водород, кислород, сумму $\text{CO} + \text{H}_2$, пары горючих органических веществ. Принципиальная схема анализа приведена на фиг. 12.

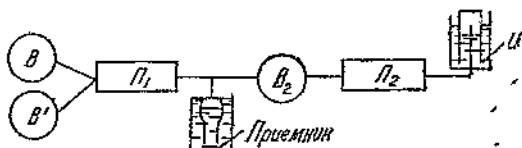
Ко второй группе относятся газоанализаторы с фракционированным сжиганием, например газоанализаторы на метан. Определение метана в присутствии других горючих компонентов, например CO и H_2 , основывается на том, что сгорание метана в каталитической печи происходит при более высокой температуре, чем сгорание CO и H_2 . Принципиальные схемы газоанализаторов этой группы приведены на фиг. 13 (по типу МОНО) и 14 (по типу Адос).



Фиг. 12. Принципиальная схема газоанализатора симплекс с дожиганием.



Фиг. 13. Принципиальная схема газоанализатора с фракционированным сжиганием — типа МОНО.



Фиг. 14. Принципиальная схема газоанализатора с фракционированным сжиганием — типа Адос.

В качестве примеров газоанализаторов обеих групп приводим описание газоанализаторов типа Адос на кислород и типа МОНО (с водяным приводом) на метан.

1. Газоанализатор типа Адос на кислород (ГК-1)

Данный прибор (тип ГК-1) выпускается в Союзе с различными шкалами.

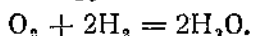
Схема прибора изображена на фиг. 15. Прибор приводится в действие водой. Силовое устройство его совершенно аналогично силовому устройству газоанализатора ГУ-4; поэтому его здесь не рассматриваем.

Анализируемый газ поступает в прибор через кран 40 и масляный затвор 42. Отсюда в период засасывания газ направляется по трубке 35 в волюметр анализируемого газа 32. Одновременно через кран 52, дожигательную трубку электропечи и затвор 38 в волюметр вспомогательного газа 37 поступает водород. Предварительное пропускание через печь водорода имеет целью освобождение его от следов кислорода, которые обычно содержатся в техническом водороде и могут исказить результаты анализа.

После заполнения волюметров наступает вторая часть аналитического цикла — период нагнетания. В этот период замыкающая жидкость вытесняет из обоих волюметров заключенные в них газы. В начале периода анализируемый газ по трубке 35 поступает в затвор 42 и через его нижнюю часть удаляется в атмосферу. Одновременно в атмосферу направляется водород по трубке 33 через нижнюю часть затвора 38. Выход газов в атмосферу продолжается до тех пор, пока замыкающая жидкость не перекроет нижние концы трубок 33 и 35; в момент перекрытия (отсечки) оставшиеся в волюметрах газы имеют точно отмеренные объемы и находятся под определенными избыточными давлениями.

При дальнейшем повышении уровня замыкающей жидкости находящиеся в волюметре 32 анализируемый газ и в волюметре 37 водород поступают по трубкам 34 и 36 в смеситель 45, где газы перемешиваются путем одновременного барботажа (пробулькивания) через слой воды.

Далее газовая смесь проходит через электрическую печь 46 по трубке 47, заполненной катализатором, где происходит сгорание водорода в кислороде анализируемого газа по реакции

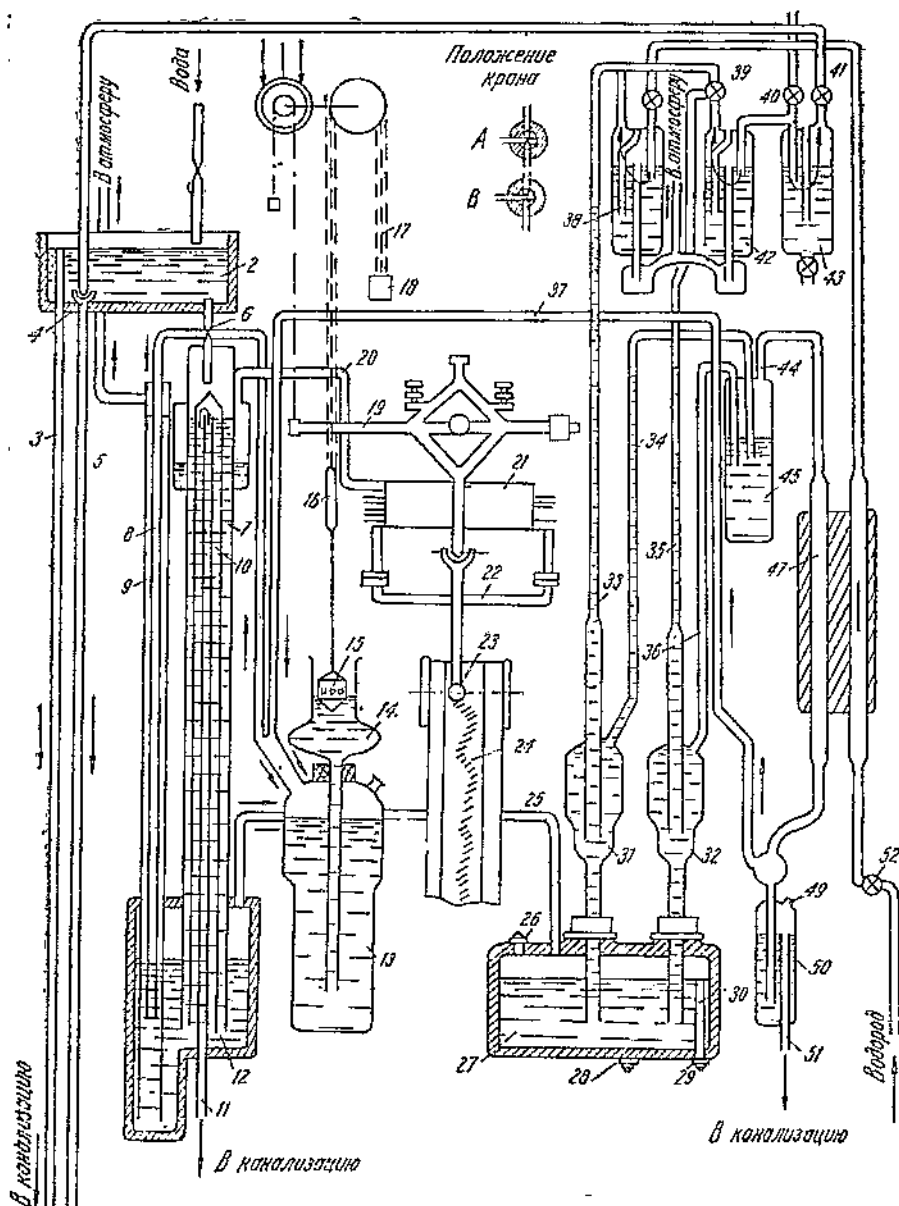


Так как водород поступает в избытке, то весь кислород анализируемого газа полностью переходит в воду. Сокращение объема равно трехкратному содержанию кислорода ($\Delta V = 3p$). Образующиеся при сгорании водяные пары конденсируются, а конденсат стекает через водоотделитель 50. Оставшаяся после прохождения через печь газовая смесь поступает по трубке 37 в сосуд 13 с инертной жидкостью (раствором поваренной соли), вытесняя последнюю в измерительную воронку 14.

Регистрирующее устройство работает так же, как у газоанализатора ГУ-4, и потому здесь не описывается.

Рассмотренная схема предназначена для анализа газовых смесей, не содержащих водорода. В тех случаях, когда анализируемый газ сам содержит водород в концентрации, заведомо достаточной для связывания всего кислорода, нет надобности в волюметре вспомогательного газа. Последний должен быть изъят, а расширенная часть измерительной воронки должна быть уменьшена на величину объема водородного волюметра.

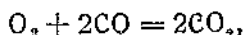
Необходимо отметить, что наличие в анализируемом газе CO вносит в показания газоанализатора погрешность, так как при этом, на-



Фиг. 15. Схема газоанализатора ГК-1.

1 — трубка для подачи воды; 2 — напорный бак; 3 — переливная трубка; 4, 5 — эжектор; 6 — край для регулирования подачи воды; 7 — напорная трубка; 8, 9 — выхлопная трубка; 10, 11 — сифон; 12 — силовой сосуд; 13 — сосуд с инертной жидкостью; 14 — измерительная воронка; 15 — поплавок; 16, 17, 18 — детали регистрирующего устройства; 19 — рычаг; 20 — соединительная трубка; 21, 22 — манометр и дупка для торможения пера; 23 — перо; 24 — диаграммная лента; 25 — соединительная трубка; 26, 28 — отверстия для наполнения компрессирующего резервуара; 27 — компрессирующий резервуар; 29, 30 — трубка для регулирования уровня жидкости в сосуде; 31, 32 — волюметры; 33, 34, 35, 36, 37 — соединительные трубки; 38, 42 — масляные ватворы; 39, 40, 41 — краны; 43 — ватвор; 44, 45 — смеситель; 46 — электрическая печь; 47 — трубка с катализатором; 48 — дожимательная трубка электроналич; 49, 50, 51 — ватвор, сборник и удалитель воды; 52 — край для подачи водорода.

ряду с приведенной реакцией кислорода с водородом, протекает вторая:



для которой $\Delta V = 1,5p$.

Если обозначить долю кислорода, сжигаемого по реакции с водородом, через x , то измеренное сокращение объема

$$\Delta V = p[3x + 1,5(1 - x)],$$

или

$$\Delta V = 1,5p(1 + x) \quad (8)$$

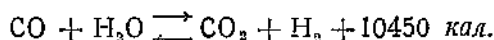
Значение x неопределенно и зависит от соотношения между H_2 и CO , а также от температуры в каталитической сожигательной печи, поэтому и результат анализа оказывается неопределенным.

Для устранения этой неопределенности можно принять следующие меры.

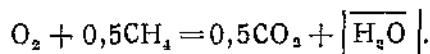
1. Установить щелочной поглотитель после сожигательной печи. Тогда сокращение объема в результате реакции с CO и поглощении образующейся углекислоты будет равно $3p$, так же как по реакции с водородом. Метод применим при отсутствии CO_2 в анализируемом газе. При наличии в газе CO_2 в небольших или мало колеблющихся концентрациях может быть установлен предварительный щелочной фильтр. В этом случае показания прибора должны быть умножены на коэффициент

$$k = \frac{100 - \text{CO}_2}{100}. \quad (9)$$

2. Повысить температуру сожигательной печи и увеличить объем водородного волюметра. Величина x в уравнении (8) определяется так называемым равновесием водяного газа:



Знак теплового эффекта реакции указывает на то, что при повышении температуры равновесие сдвигается влево, т. е. в продуктах сгорания мы будем иметь главным образом H_2O , а не CO_2 . То же влияние будет оказывать на процесс повышение концентрации H_2 в смеси, что связано с увеличением объема волюметра вспомогательного газа. Применение указанного приема возможно лишь для газов, не содержащих метана. При повышении температуры печи с катализатором создаются условия, способствующие сгоранию кислорода также за счет метана, по уравнению:



В этом случае $\Delta V = p$, вместо $\Delta V = 3p$ по реакции с водородом.

Анализируя условия применения рассматриваемого прибора, можно считать его пригодным для определения O_2 : а) в топочных газах, б) в отходящих газах металлургических печей, например мартеновских, в) в отходящих газах в сернокислотном и азотнокислотном производствах, г) в обогащенном воздухе и техническом кислороде.

Недостатками прибора являются:

а) применение водорода, обуславливающее необходимость спец-

ального электролизера с устройством для питания переменным током или в баллонах с сжатым водородом;

б) взрывоопасность установки.

Указанные недостатки, наряду с отмеченными выше ограничениями, вызвали в некоторых случаях тенденцию к анализу кислорода абсорбционными методами с применением достаточно интенсивно работающих поглотительных растворов или твердых, легко окисляющихся веществ, например желтого фосфора.

2. Газоанализатор на водород

Рассмотренный выше газоанализатор может быть применен для анализа газовых смесей на водород.

Так как в этом случае $\Delta V = 1,5 p$, вместо $\Delta V = 3 p$ в предыдущем, то шкала газоанализатора будет иметь вдвое большее значение. Таким образом, газоанализатор на кислород со шкалой 0—10% может служить газоанализатором на водород со шкалой 0—20%.

Волюметр вспомогательного газа должен обеспечить поступление кислорода для сжигания в нужном количестве. Принимая минимальный избыток кислорода равным 25% теоретически необходимого количества, объем волюметра вспомогательного газа можно вычислить по формуле:

$$V' \geq 1,25 \frac{100}{20,9} \cdot 2V \frac{P_{\max}}{100},$$

т. е.

$$V' \geq 0,12V \cdot P_{\max}, \quad (10)$$

где V — объем волюметра анализируемого газа.

В этом случае в волюметр вспомогательного газа может засасываться атмосферный воздух.

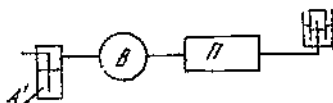
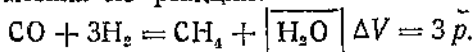
Если почему-либо волюметр вспомогательного газа нельзя увеличить до указанных значений, то вместо воздуха в него следует подавать кислород.

Естественно, анализ на водород по указанной схеме возможен только для газовых смесей, не содержащих CO.

3. Газоанализатор на окись углерода (фиг. 16)

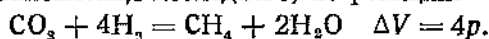
Иногда оказывается необходимым анализировать газ на CO в присутствии водорода в значительных концентрациях. Это имеет место, например, при контроле полноты конверсии окиси углерода в производстве синтетического аммиака.

Для осуществления раздельного определения CO используется, вместо окисления, реакция восстановления. В присутствии катализатора при температуре около 600° происходит восстановление CO до метана по реакции:



Фиг. 16. Принципиальная схема газоанализатора на окись углерода. A' — поглотитель для очистки газа от CO_2 .

Анализируемый газ должен быть полностью освобожден от CO_2 , во избежание восстановления последнего, по реакции:

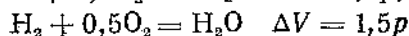
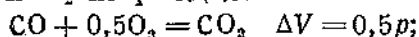


При наличии CO_2 в газе (до очистки) показания газоанализатора должны быть умножены на коэффициент:

$$k = \frac{100 - \text{CO}_2}{100}$$

4. Газоанализатор на метан типа МОНО

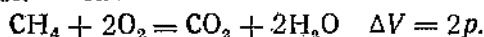
Определение метана CH_4 в присутствии других горючих компонентов (CO и H_2) основано на фракционированном (раздельном) сжигании анализируемого газа в двух каталитических печах с разной температурой (см. фиг. 13). При температуре около 260° происходит сгорание CO и H_2 по реакциям:



Сокращение объема после первого цикла

$$\Delta V_1 = 0,5\text{CO} + 1,5\text{H}_2.$$

В печи с более высокой температурой (около 800°), кроме CO и H_2 , сгорает также метан:



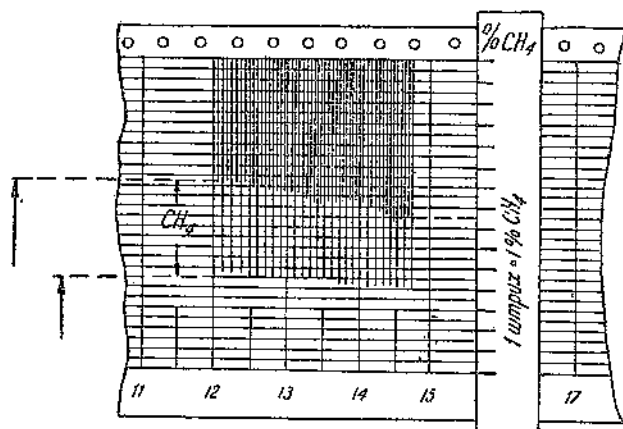
Сокращение объема после второго цикла

$$\Delta V_2 = 0,5\text{CO} + 1,5\text{H}_2 + 2\text{CH}_4.$$

Следовательно, содержание метана

$$\text{CH}_4 = 0,5(\Delta V_2 - \Delta V_1).$$

Таким образом, содержание метана может быть определено наблюдением разности между двумя последовательными анализами (характер



Фиг. 17. Характер записи на диаграммной ленте газоанализатора на метан.

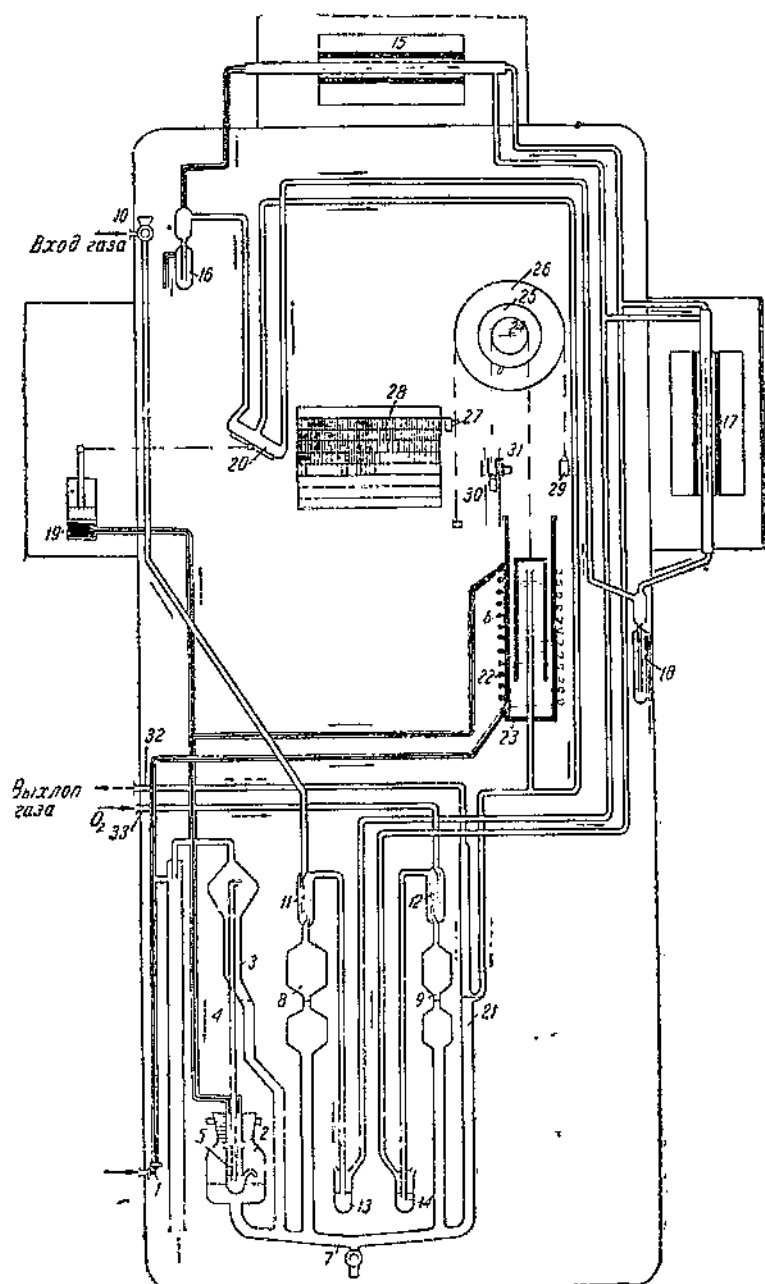
записи на диаграммной ленте показан на фиг. 17).

Схема газоанализатора изображена на фиг. 18.

СПОСОБ ДЕЙСТВИЯ ПРИБОРА

Под действием силового устройства, рассмотренного уже при описании газоанализатора МОНО симплекс, происходит попеременное опускание и поднятие уровня ртути

в волюметрах 8 и 9 и в выхлопной трубке 27. Одновременно вода, поступающая в цилиндр 19, поднимает поршень. При падении давления воды



Фиг. 18. Схема газоанализатора на метан.

1 — дроссельный кран; 2 — силовой сосуд; 3 — верхняя часть силовой бюретки; 4 — скользящая трубка; 5 — нижняя часть силовой бюретки; 6 — смешивающий теплообменник; 7 — соединительная трубка; 8, 9 — вентили; 10 — кран для ввода газа; 11, 12, 13, 14 — вентили; 15 — электрическая печь; 16 — вентиль; 17 — боковая электрическая печь; 18 — вентиль и слив конденсата; 19 — цилиндр; 20 — переключатель; 21 — выпускная трубка; 22 — колокол; 23 — цилиндр колокола; 24, 25, 26 — колеса регистрирующей части; 27 — перо; 28 — диаграммная лента; 29, 30 — противовесы; 31 — ограничитель; 32 — выпускная трубка; 33 — вход кислорода.

поршень опускается, приводя в действие газовый переключатель 20. Кинематическая схема работы газового переключателя приведена в главе IV при описании газоанализатора МОНО дуплекс.

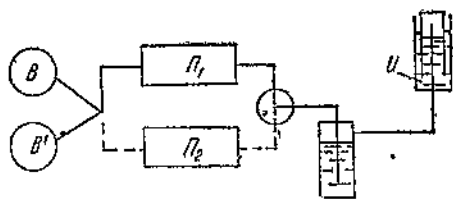
Период всасывания. Ртуть в волюметрах опускается до конца нижнего шара. Анализируемый газ засасывается через входной кран 10 в волюметр 8, а кислород или воздух для сжигания по линии 33 в волюметр 9.

Период давления. 1. Анализ на $0,5\text{CO} + 1,5\text{H}_2$. Поднимающаяся ртуть передавливает анализируемый газ из волюметра 8 через затвор 13 в верхнюю электрическую печь 15. Кислород из волюметра 9 одновременно поступает в печь через затвор 14. Сжигание газов производится в самой трубке печи во избежание возможности взрыва смеси во внутренней газовой коммуникации прибора. Из печи 15 продукты сгорания проходят через затвор 16 для удаления конденсата, переключатель 20 и выхлопную трубку 21 в атмосферу до тех пор, пока ртуть не перекроет выхода в выхлопной трубке. После отсечки, когда в печь начинают поступать отмеренные в верхних шарах волюметров объемы газа и кислорода, продукты сгорания направляются под колокол 22. Газоизмерительное устройство регистрирует сокращение объема $\Delta V_1 = 0,5\text{CO} + 1,5\text{H}_2$.

2. Анализ на $0,5\text{CO} + 1,5\text{H}_2 + 2\text{CH}_4$. Во время второго цикла переключающее устройство направляет анализируемый газ и кислород в боковую электрическую печь 17, где поддерживается температура около 800° .

Из печи продукты сгорания поступают через затвор 18 для удаления конденсата и газовый переключатель под колокол. Газоизмерительное устройство регистрирует сокращение объема $\Delta V_2 = 0,5\text{CO} + 1,5\text{H}_2$.

Результаты обоих анализов записываются на одной диаграмме. Характер диаграммы (см. фиг. 17) позволяет непосредственно отсчитывать содержание CH_4 .

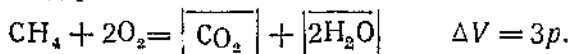


Фиг. 19. Принципиальная схема газоанализатора на CH_4 с поглощением CO_2 .

пазы направляющей трубки контргруза колокола.

Во многих случаях для увеличения чувствительности газоанализатора на метан, перед газоизмерительным устройством целесообразно установить поглотительный сосуд для CO_2 . Принципиальная схема такого газоанализатора приведена на фиг. 19.

В этом случае при сгорании CH_4 сокращение объема будет равно трехкратному содержанию метана:



Для увеличения цены деления прибора и для создания возможности анализа при произвольно колеблющихся содержаниях CO и H_2 в анализируемом газе, в регистраторе имеется устройство для смещения (подавления) нулевой точки. Это достигается перестановкой ограничителя 31 в нижние

ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДВУХ КОМПОНЕНТОВ

(газоанализаторы дуплексы)

Газоанализаторы дуплексы обычно представляют комбинированные приборы с совместным использованием методов абсорбции и сжигания анализируемых компонентов. Наиболее распространены газоанализаторы дуплексы для определения CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$ в горючих газах и продуктах сгорания. Анализ может быть осуществлен с параллельным или последовательным прохождением газа.

Рассмотрим сначала принципиальные схемы приборов с параллельным прохождением газа (по типу МОНО), затем схемы с последовательным прохождением (по типу Адос).

1. Газоанализатор МОНО дуплекс для топочных газов

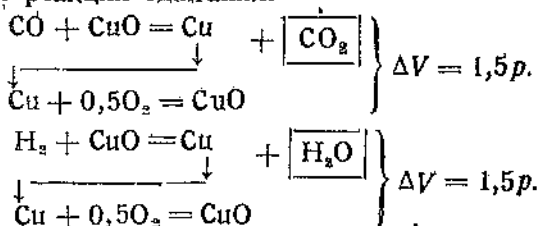
Прибор предназначен для смесей, содержащих кислород в количестве, достаточном для окисления содержащихся в газе CO и H_2 .

Условия применимости:

$$\text{O}_2 \geq 0,5 (\text{CO} + \text{H}_2).$$

В печи помещена реакционная масса — окись меди.

Уравнение реакции сжигания:



Принципиальная схема прибора изображена на фиг. 20.

Результаты обоих анализов фиксируются одним регистрирующим устройством.

Сокращение объема:

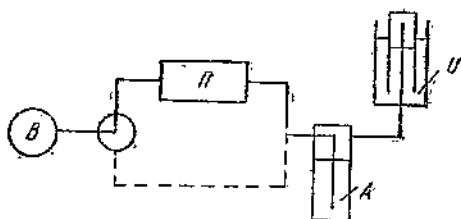
$$\Delta V_1 = \text{CO}_2;$$

$$\Delta V_2 = \text{CO}_2 + 1,5(\text{CO} + \text{H}_2).$$

Следовательно,

$$\text{CO}_2 = \Delta V_1;$$

$$\text{CO} + \text{H}_2 = \frac{2}{3}(\Delta V_2 - \Delta V_1).$$

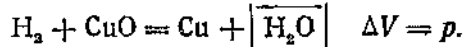
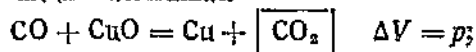


Фиг. 20. Принципиальная схема газоанализатора МОНО дуплекс для топочных газов.

2. Газоанализатор МОНО дуплекс для горючих газов

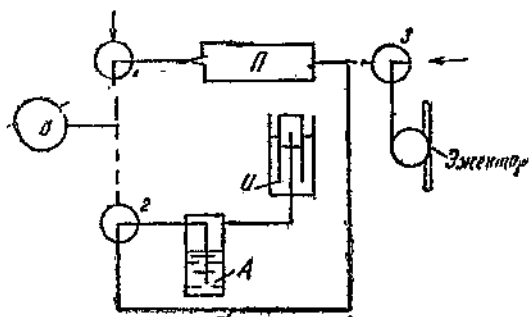
Прибор предназначен для газовых смесей, не содержащих кислорода или содержащих его в незначительных концентрациях. В печи имеется окись меди, которая, в отличие от предыдущего прибора, регенерируется после каждого анализа путем просасывания через печь атмосферного воздуха.

Уравнение реакции сжигания:



Принципиальная схема прибора показана на фиг. 21.

Положение газовых переключателей на схеме соответствует циклу, в течение которого газ сжигается. В этом случае путь газа из волюметра: переключатель 1 — печь — переключатель 2 — абсорбер — колокол. При этом через переключатель 3 воздух идет непосредственно в эжектор.



Фиг. 21. Принципиальная схема газоанализатора МОНО дуплекс для генераторного газа.
1, 2, 3 — переключатели.

В течение другого периода газ из волюметра идет через переключатель 2, абсорбер под колокол газомизмерительного устройства. При этом через переключатель 1 атмосферный воздух поступает в печь, где регенерирует восстановившуюся часть окиси меди. Из печи воздух через переключатель 3 идет к эжектору.

Сокращение объема:

$$\Delta V_1 = \text{CO}_2;$$

$$\Delta V_2 = \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2.$$

Следовательно,

$$\text{CO}_2 = \Delta V_1;$$

$$\text{CO} + \text{H}_2 = \Delta V_2 - \Delta V_1.$$

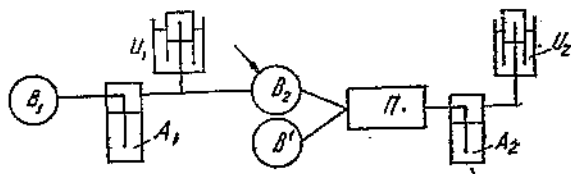
При наличии в анализируемом газе свободного кислорода последний будет связываться с восстановившейся медью, за счет чего произойдет дополнительное сокращение объема.

В этом случае $\Delta V_2 = \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2 + \text{O}_2$.

3. Газоанализатор Адос дуплекс .

Благодаря тому, что сжигание производится с добавочным воздухом (в присутствии катализатора — платины или палладия) для газоанализатора Адос (фиг. 22) схема остается одинаковой как для топочных, так и для горючих газов.

В отличие от схем с параллельным ходом газа здесь весь анализ осуществляется из одной и той же газовой пробы. Результаты анализа фиксируются двумя независимыми газоизмерительными устройствами I_1 и I_2 . Первое

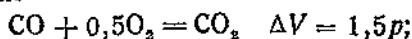


Фиг. 22. Принципиальная схема газоанализатора Адос дуплекс.

газоизмерительное устройство записывает сокращение объема при абсорбции CO_2 ; $\Delta V_1 = \text{CO}_2$.

Второе газоизмерительное устройство записывает сокращение объема в результате сжигания H_2 и CO и последующего поглощения образовавшейся CO_2 .

Реакция в печи:



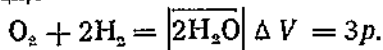
Следовательно,

$$\Delta V_2 = 1,5(\text{CO} + \text{H}_2).$$

Так как регистрация результатов анализа раздельная, обе диаграммы проградуированы непосредственно в процентах CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$.

Наряду с рассмотренными приборами следует отметить газоанализатор дуплекс на CO_2 и O_2 , выпускаемый фирмой МОНО. Этот газоанализатор имеет принципиальную схему, изображенную на фиг. 23.

В качестве вспомогательного газа применяется водород. В печи происходит реакция:



Фиг. 23. Принципиальная схема газоанализатора МОНО дуплекс на CO_2 и O_2 .

Таким образом,

$$\Delta V_1 = \text{CO}_2$$

$$\Delta V_2 = \text{CO}_2 + 3\text{O}_2.$$

Следовательно,

$$\text{CO}_2 = \Delta V_1,$$

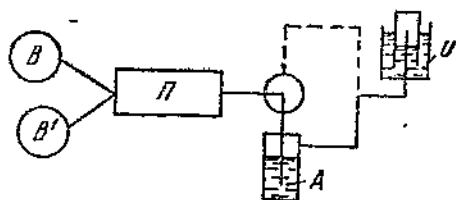
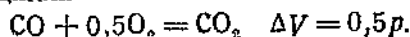
$$\text{O}_2 = \frac{1}{3}(\Delta V_2 - \Delta V_1).$$

Из специфичных газоанализаторов дуплекс отметим освоенный в Союзе прибор для раздельного определения CO и H_2 . Принципиальная схема газоанализатора показана на фиг. 24.

В печи происходит каталитическое окисление CO и H_2 . Условие применимости газоанализатора — отсутствие в анализируемом газе углекислоты.

Так как углекислота, образующаяся при сгорании, в течение одного цикла остается в газовой смеси, а в течение другого поглощается, то сокращение объема за счет сгорания CO будет неодинаково.

Для первого цикла



Фиг. 24. Принципиальная схема газоанализатора дуплекс для раздельного определения CO и H_2 .

Для второго цикла

$$\text{CO} + 0,5\text{O}_2 = \boxed{\text{CO}_2} \quad \Delta V = 1,5p.$$

Следовательно, для первого цикла

$$\Delta V_1 = 1,5\text{H}_2 + 0,5\text{CO},$$

для второго цикла

$$\Delta V_2 = 1,5\text{H}_2 + 1,5\text{CO}.$$

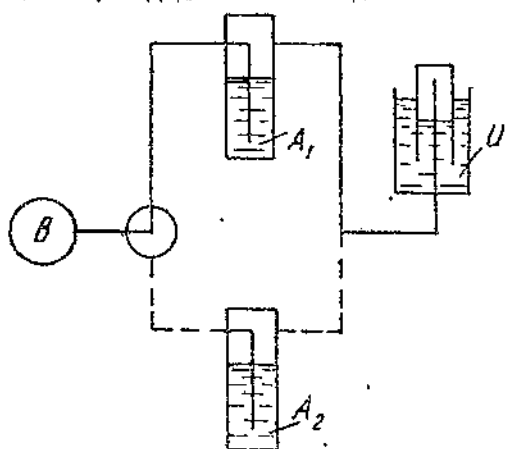
Отсюда

$$\begin{aligned} \text{CO} &= \Delta V_2 - \Delta V_1; \\ \text{H}_2 &= \frac{2}{3}(\Delta V_1 - 0,5\text{CO}) \end{aligned}$$

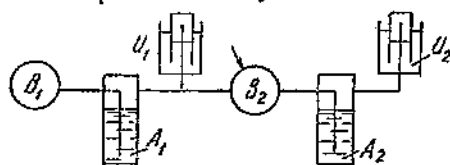
или

$$\text{H}_2 = \Delta V_1 - \frac{1}{3} \Delta V_2.$$

Газоанализаторы дуплекс могут быть выполнены чисто абсорбционного типа. На практике эти приборы до сего времени не применялись, но для изготовления их мы не видим никаких препятствий. Абсорбционные газоанализаторы дуплекс могут быть легко изготовлены путем незначительной переделки любого газоанализатора дуплекс типа МОНО или Адос.



Фиг. 25. Принципиальная схема абсорбционного газоанализатора дуплекс для параллельного пути газа.



Фиг. 26. Принципиальная схема абсорбционного газоанализатора дуплекс для последовательного пути газа.

Принципиальные схемы этих газоанализаторов изображены на фиг. 25 и 26.

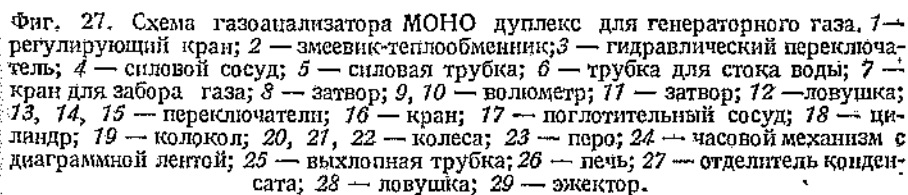
Указанные приборы могут быть применены для раздельного определения SO_2 и CO_2 при сжигании углистых колчеданов или высокосернистых углей. Используя в качестве поглотителей в одном случае хромовую кислоту, в другом — раствор щелочи, мы будем иметь:

для первой схемы
 $\Delta V_1 = \text{SO}_2; \Delta V_2 = \text{SO}_2 + \text{CO}_2;$
 для второй схемы
 $\Delta V_1 = \text{SO}_2; \Delta V_2 = \text{CO}_2.$

В качестве примера газоанализатора дуплекс ниже приводим краткое описание и рабочую схему газоанализатора типа МОНО на CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$ (для генераторного газа).

4. Газоанализатор МОНО дуплекс для генераторного газа (фиг. 27)

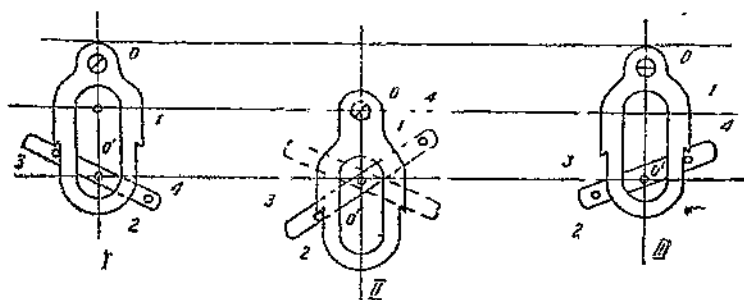
Способ действия прибора: вода перед поступлением в регулирующий кран 1 направляется через отросток в эжектор 29, производящий



непрерывно засасывание воздуха. Перед поступлением в силовую бюретку вода направляется под поршень гидравлического переключателя 3, который при поднятии давления воды в силовой бюретке поднимается вверх, при падении давления опускается вниз. С поршнем связаны три ртутных газовых переключателя 13, 14, 15, меняющих направление газа.

В течение одного цикла ртуть закрывает левый отросток переключателей, в течение последующего — правый отросток.

Принцип работы переключателя изображен на кинематической схеме (фиг. 28).



Фиг. 28. Кинематическая схема переключателя. O — ось серги; 1 — серга; 2 — рычаг; O' — ось рычага; 3, 4 — шпильки рычага.

Ось O серги 1 связана с поршнем гидравлического переключателя. На ось O' рычага 2 посажены ртутные переключатели газоанализатора. При создании давления под поршнем гидравлического переключателя, серга поднимается кверху, не вызывая поворота рычага, и занимает положение I.

При падении давления воды под поршнем, благодаря действию пружины, помещенной под поршнем, последний вместе с сергой опускается вниз. При этом серга зацепляет шпильку 3 рычага и, поворачивая последний (вместе с ртутными переключателями), сообщает ему положение II.

При следующем поднятии поршня серга занимает положение III. При опускании поршня серга, нажимая на шпильку 4, возвращает рычаг в положение I, после чего цикл повторяется.

Силовая часть газоанализатора описана в главе II, п. 3.

Анализируемый газ засасывается через кран 7 и затвор 8 в волюметр 9, 10 (см. фиг. 27).

Первый цикл. Газ из волюметра через затвор 11 и ловушку 12 поступает в переключатель 13 и оттуда в поглотительный сосуд 17. Далее газ поступает в выпускную трубку 25, а после отсечки — под колокол 19. Перо записывает содержание CO_2 . В течение этого цикла в печь 26 через ртутный переключатель 14 поступает воздух, окисляющий образовавшуюся в течение предыдущего цикла медь до окиси меди. Из печи воздух проходит через отделитель конденсата 27, ловушку 28 и газовый переключатель 15 в эжектор.

Второй цикл. Открыты левые отростки газовых переключателей, правые закрыты ртутью. Газ из волюметра 9, 10 через затвор 11, ловушку 12, газовый переключатель 14 поступает в печь, где про-

исходит сгорание CO и H_2 . Пройдя затем через сосуд 27, в котором удаляется образовавшаяся влага, в ловушку 28 и газовый переключатель 13 газ поступает в поглотительный сосуд 17.

В течение этого цикла через переключатель 15 в эжектор поступает атмосферный воздух.

Схема газоанализатора позволяет в случае надобности определять также отдельно содержание водорода в анализируемом газе. Для этого открывают кран 16, который нормально закрыт, и газ начинает поступать под колокол, минуя поглотительный сосуд со щелочью 17. Тогда сокращение объема составит: $\Delta V_1 = 0$; $\Delta V_2 = \text{H}_2$.

Глава V

ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕХ КОМПОНЕНТОВ

(газоанализаторы триплекс)

Газоанализаторы триплекс обычно изготавливаются для раздельного определения CO_2 , CO и H_2 . Однако в некоторых случаях возможно и целесообразно определять в анализируемом газе, например в горючем газе, другую группу компонентов, например CO_2 , O_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$ или CO_2 , $\text{CO} + \text{H}_2$ и CH_4 .

Целесообразность применения газоанализаторов триплекс вообще неоднократно бралась под сомнение, которое однако надо отнести не к методам многократного анализа, а к конструктивной сложности или громоздкости отдельных приборов. В тех случаях, когда технологический процесс действительно требует непрерывного контроля содержания трех компонентов в газовой смеси, вряд ли можно оправдать увеличение числа устанавливаемых приборов путем применения газоанализаторов симплекс или дуплекс.

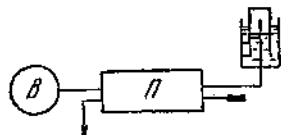
Раздельное определение CO_2 , CO и H_2 может быть решено путем применения двух газоанализаторов дуплекс, из которых один анализирует газ на CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$, а второй с выключенным абсорбером (см. главу IV, описание газоанализатора МОНО дуплекс) анализирует газ только на H_2 . CO в этом случае определяется подсчетом по разности.

В принципе возможно также определение указанных трех компонентов при помощи трех газоанализаторов симплекс. Первый газоанализатор определяет обычным путем CO_2 . Второй газоанализатор определяет водород по схеме, изображенной на фиг. 29.

В газоанализаторе, выполненном по данной схеме, H_2 и CO сгорают в печи с окисью меди. Так как образующаяся углекислота не поглощается, сокращение объема $\Delta V = \text{H}_2$.

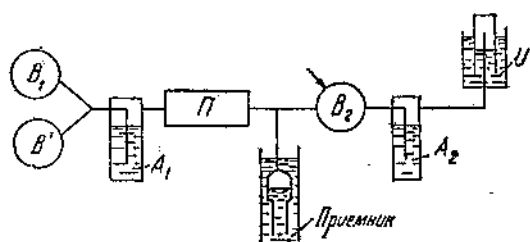
Основная трудность конструирования прибора заключается в осуществлении регенерации окиси меди воздухом за период всасывания анализируемого газа.

Третий газоанализатор определяет CO по схеме, приведенной на фиг. 30.



Фиг. 29. Принципиальная схема газоанализатора на водород.

Здесь использована система многократного анализа Адос, но с одним газоизмерительным устройством. Смесь анализируемого газа и воздуха проходит через поглотитель для CO и печь, где сжигаются H_2 и CO . Продукты сгорания поступают под колокол приемника. При



Фиг. 30. Принципиальная схема газоанализатора на CO .

следующем цикле продукты сгорания засасываются в волюметр B_2 . Недостающий объем газа, представляющий $\Delta V_1 = \text{CO}_2 + 0,5\text{CO} + 1,5\text{H}_2$, заменяется воздухом, засасываемым в волюметре B_2 . Из этого волюметра газовая смесь, содержащая CO_2 в объеме равном объему CO в пробе

анализируемого газа, проходит через абсорбер A_2 , где CO_2 поглощается и поступает в газоизмерительное устройство.

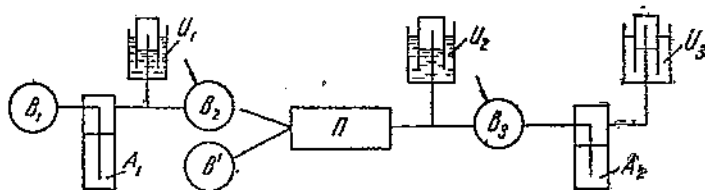
Вместо описанного прибора, для отдельного определения CO можно применить газоанализатор с метанированием, рассмотренный выше. Преимуществом газоанализатора, основанного на сжигании, является отсутствие необходимости внесения поправки $k = \frac{100 - \text{CO}_2}{100}$,

что неудобно при колеблющихся концентрациях CO_2 . Вторым достоинством метода сжигания является устранение погрешности за счет содержания кислорода в анализируемом газе. Зато метод метанирования предоставляет возможность уменьшения диапазона измерения, ибо там $\Delta V = 3p$, в то время как при сжигании $\Delta V = p$.

1. Газоанализатор триплекс типа Адос (ГТ-1)

Данный прибор предназначен для раздельного анализа на CO_2 , CO и H_2 , причем CO_2 и CO определяются непосредственно, а H_2 — путем соответствующего пересчета.

Принципиальная схема газоанализатора представлена на фиг. 31. Анализируемый газ из волюметра B_1 проходит через абсорбер A_1 ,



Фиг. 31. Принципиальная схема газоанализатора триплекс типа Адос (ГТ-1).

где поглощается CO_2 , и поступает в газоизмерительное устройство H_1 . При следующем цикле анализируемый газ из газоизмерительного устройства H_1 засасывается в волюметр B_2 . Недостающий объем газа

ΔV_1 заменяется атмосферным воздухом, засасываемым непосредственно в волюметр B_2 . Газ из волюметра B_2 и воздух из волюметра B_1 поступают в сжигательную печь и далее в газонизмерительное устройство H_2 . Сокращение объема в результате сгорания (после конденсации влаги) $\Delta V_2 = 1,5H_2 + 0,5CO$. Обычно сокращение объема ΔV_2 обозначается K_0 (Kontraction).

В начале третьего цикла продукты сгорания из газонизмерительного устройства H_2 поступают в волюметр B_3 . Недостающий объем газа (ΔV_3) дополняется воздухом.

Из волюметра B_3 газ, содержащий CO_2 в объеме равном объему CO , проходит через абсорбер A_2 в газонизмерительное устройство H_2 . Сокращение объема $\Delta V_3 = CO$.

Как мы упоминали выше, содержание H_2 определяется пересчетом. Из полученных значений ΔV_2 и ΔV_3 можно вывести, что

$$H_2 = \frac{2}{3} (\Delta V_2 - 0,5\Delta V_3),$$

или

$$H_2 = \frac{2}{3} (K_0 - 0,5CO).$$

Для упрощения пересчета на практике рекомендуется пользоваться номограммой (фиг. 32).

Газоанализаторы триплекс типа Адос в настоящее время выпускаются у нас в двух модификациях: ГТ-1-1 и ГТ-1-2. Приборы имеют следующие шкалы и соответствующие им диапазоны измерения:

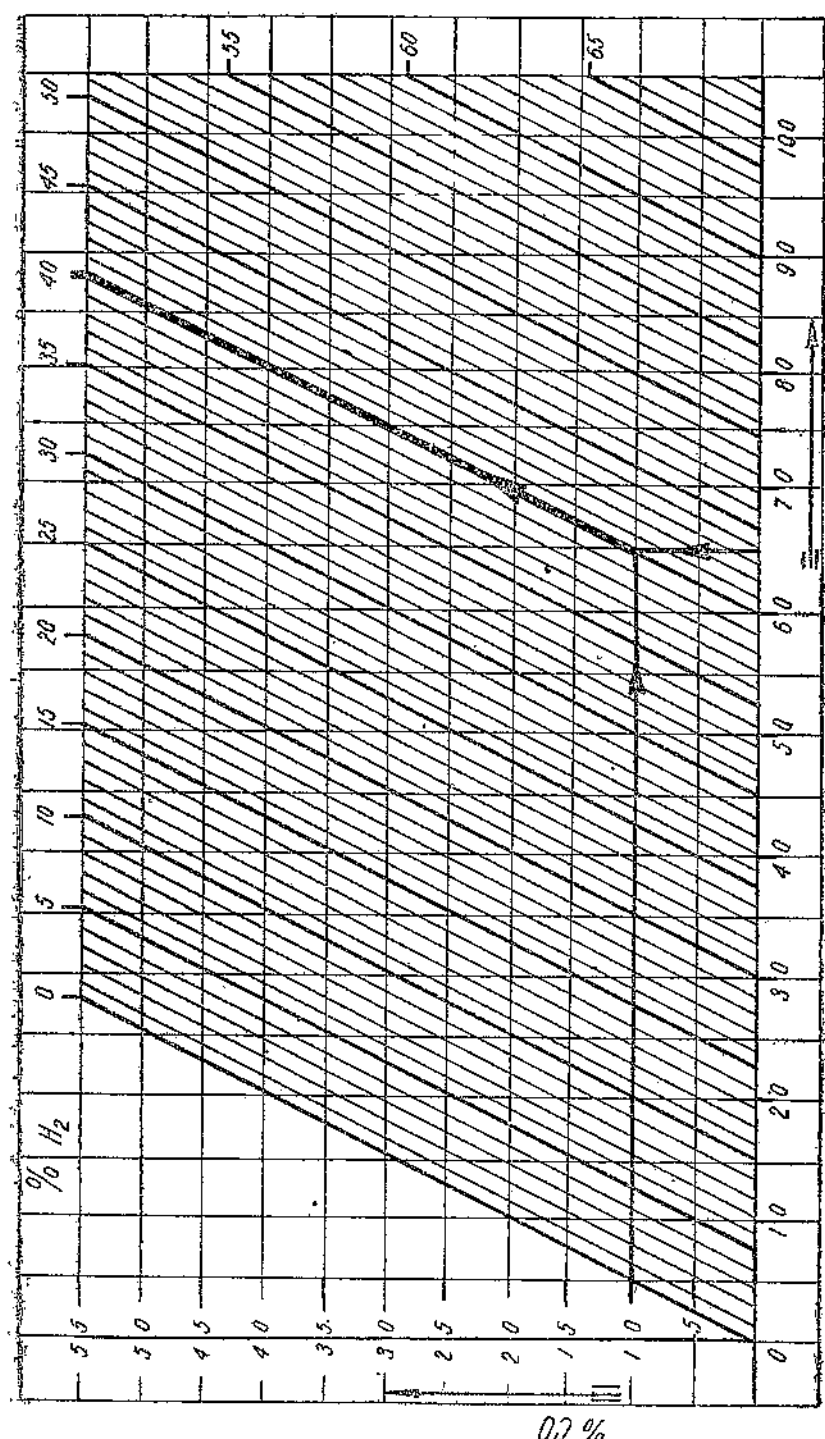
	Пределы измерения		Шкалы	
ГТ-1-1	0—20%	CO_2	0—20%	CO_2
	40—60%	H_2	60—100%	K_0
	0—20%	CO	0—20%	CO
ГТ-1-2	0—20%	CO_2	0—20%	CO_2
	0—13%	H_2	0—40%	K_0
	0—40%	CO	0—40%	CO

В приведенных значениях даны минимальные диапазоны измерения H_2 . Максимальные диапазоны составляют: для ГТ-1-1 33,3—66,7%, для ГТ-1-2 0—26,7%. В действительности приходится иметь дело с промежуточными величинами, значения которых определяются характером контролируемого технологического процесса.

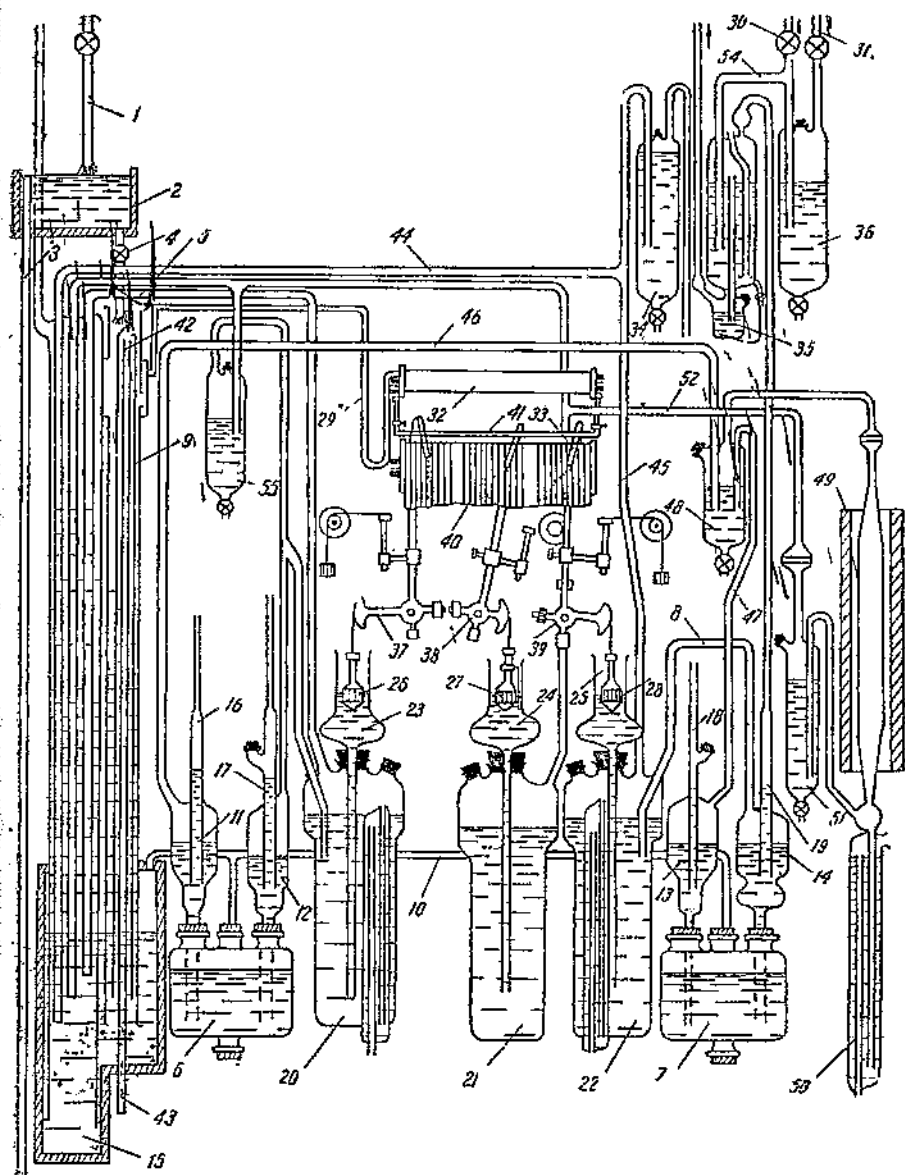
Газоанализаторы ГТ-1-1 предназначены для анализа коксового газа, газоанализаторы ГТ-1-2 соответствуют по своему диапазону измерения доменному и некоторым видам генераторных газов.

Принцип действия (фиг. 33). Анализируемая газовая смесь под давлением 40—50 мм вод. ст. непрерывно протекает через прибор путем прохождения через кран 30, затворный сосуд 36 с вазелиновым маслом и по трубке 37 уходит в атмосферу.

Прибор приводится в действие водой, поступающей в него из водопроводной магистрали. Вода поступает через трубку 1 в напорный бак 2, в котором поддерживается постоянный уровень воды при помощи запорной трубки 3.



Фиг. 32. Номограмма для определения содержания H₂.



Фиг. 33. Схема газоанализатора Адос триплекс. 1 — трубка для подачи воды; 2 — напорный бак; 3 — запорная трубка; 4, 5 — трубки с краном для регулирования подачи воды; 6, 7 — компрессирующие сосуды; 8 — трубка; 9 — силовая трубка; 10 — трубка; 11, 12, 13, 14 — волюметры; 15 — силовой сосуд; 16, 17, 18, 19 — замыкающие трубки; 20, 21, 22 — поглотительные сосуды; 23, 24, 25 — измерительные воронки; 26, 27, 28 — поплавки; 29 — соединительная трубка; 30 — кран; 31 — трубка; 32 — ртутный манометр; 33 — перо; 34, 35, 36 — затворные сосуды; 37, 38, 39 — рычаги; 40 — часовой механизм с диаграммной лентой; 41 — душка; 42, 43 — сифон; 44, 45, 46, 47 — соединительные трубки; 48 — смеситель; 49 — сжигательная печь; 50 — водоотделитель; 51 — затвор; 52, 53, 54 — трубки; 55 — затворный сосуд.

Из напорного бака через кран 4 по трубке 5 вода поступает в силовой сосуд 15, где нижние отверстия всех трубок, входящих в резервуар, перекрываются водой, в силу чего при дальнейшем повышении уровня воды находящийся в резервуаре воздух подвергается сжатию.

Сжатый воздух через трубку 10 вытесняет находящуюся в сосудах 6 и 7 замыкающую жидкость (раствор поваренной соли) в волюметры 11, 12, 13 и 14. Отмер определенных объемов газовой смеси производится одновременно всеми волюметрами в тот момент, когда замыкающая жидкость перекроет нижние концы трубок 16, 17, 18 и 19.

Сохранение постоянного давления, необходимого при отмере волюметрами определенных объемов газовой смеси, достигается тем, что до того момента, когда замыкающая жидкость подойдет к нижним концам трубок 16, 17, 18 и 19, излишек газовой смеси соответственно по трубкам 16, 17 и 18, а из волюметра 14 — по трубке 19 (через нижнюю часть сосуда 35) уходит в атмосферу.

Поднимающаяся в волюметре 14 замыкающая жидкость вытесняет заключенную в нем газовую смесь по трубке 19 в затворный сосуд 35 и затем через нижнюю часть этого сосуда — в атмосферу. Выход газа в атмосферу продолжается до тех пор, пока замыкающая жидкость не перекроет нижний конец трубки 19. При дальнейшем повышении уровня замыкающей жидкости, находящийся в волюметре 14 анализируемый газ по трубке 8 поступает в поглотительный сосуд 22, в который налит раствор едкого кали, и барботирует через него. При этом происходит полное поглощение CO_2 , содержащегося в анализируемом газе.

Непоглощенный объем газовой смеси вытесняет абсорбент из поглотительного сосуда в воронку 25 с цилиндром постоянного сечения. При подъеме абсорбента в цилиндрической части воронки, поднимается поплавок 28, соединенный с рычагом 39.

Перед концом анализа, под действием поднимающейся в верхней расширенной части трубки 9 воды, заключенный в ней воздух подвергается сжатию. Давление воздуха по трубке 29 передается в ртутный манометр 32, предназначенный для прижима пера 33 и других перьев к диаграммной ленте 40. В момент максимального подъема абсорбента в воронке ртуть в манометре перемещается и тем самым поднимает дужку 41, освобождая перо 33, которое устанавливается в соответствии с положением рычага 39. Угол поворота рычага определяется высотой подъема поплавка, который в свою очередь определяет высоту подъема (уровень) абсорбента в воронке. Наивысший уровень абсорбента в воронке устанавливается в момент максимального подъема замыкающей жидкости в волюметре 14. Максимальная высота подъема жидкости в этом волюметре является определенной и постоянной, что обуславливает отмер волюметром определенных и постоянных объемов газовой смеси. Следовательно, уровень абсорбента в воронке линейно и однозначно определяет процентное содержание CO_2 в анализируемой газовой смеси.

Когда уровень воды в силовом устройстве поднимется настолько, что достигнет вершины сифона 42, что будет соответствовать максимальному подъему замыкающей жидкости в волюметре 14 и воронке 25, вода начнет выливаться из силового сосуда 15 через сливную сифонную трубку 43, вследствие чего в напорном резервуаре давление воздуха начнет падать и в результате сравняется с атмосферным.

С падением давления в напорном резервуаре ртуть в манометре примет первоначальное положение и перо будет прижато бугелем к диаграммной ленте на делении, соответствующем положению рычага 39. Как только трубка 44 сообщится с атмосферой, в поглотительном сосуде 22 уровень абсорбента также примет первоначальное положение. Когда же в силовом сосуде 15 давление сравняется с атмосферным и нижние концы всех входящих в него трубок также сообщатся с атмосферой, из волюметра 14 замыкающая жидкость будет сливаться в сосуд 7, вследствие чего в волюметре создается разрежение и произойдет забор новой порции анализируемого газа через затворные сосуды 35 и 36.

Одновременно с забором новой порции газа в волюметр 14, в силу наличия разрежения и в остальных волюметрах, производится забор освобожденной от CO_2 газовой смеси из поглотительного сосуда 22 в волюметр 11 по трубке 45 и через затворный сосуд 34, забор воздуха из атмосферы в волюметр 13 по трубке 18; забираемая в волюметр 11 газовая смесь по трубке 16 также пополняется до первоначального объема воздухом из атмосферы.

При следующем подъеме уровня замыкающей жидкости в волюметрах 11 и 13 и перекрытии нижних концов трубок 16 и 18, газовая смесь из волюметра 11 по трубке 46 и воздух из волюметра 13 по трубке 47 вытесняются в смеситель 48 с дистиллированной водой. Получившаяся в результате барботажка через слой воды хорошо перемешанная газо-воздушная смесь поступает в сжигательную печь 49, где в присутствии катализатора происходит сгорание CO в CO_2 и H_2 в H_2O . Образовавшаяся в результате горения H_2 вода стекает в водоотделитель 50, а оставшаяся газовая смесь через затворный сосуд 51 по трубке 52 поступает в сосуд 21 с раствором поваренной соли и вытесняет последний в измерительную воронку 24.

При подъеме жидкости в цилиндрической части воронки поднимается поплавок 27, соединенный с рычагом 38. Регистрация положения рычага производится аналогично вышеуказанной регистрации содержания CO_2 в анализируемом газе. Таким образом, высота подъема поплавка, а следовательно, и положение рычага определяют величину сокращения объема газовой смеси в результате ее сжигания.

В соответствии с этим средняя шкала прибора проградуирована на проценты сокращения объема — контракции (K_o). Содержание же водорода H_2 в анализируемой газовой смеси определяется по формуле:

$$\text{H}_2 = \frac{2}{3} (K_o - 0,5\text{CO}),$$

где CO — содержание окиси углерода в анализируемой газовой смеси.

Помимо этого, содержание H_2 может быть определено по номограмме (фиг. 32).

Определение содержания CO — см. ниже.

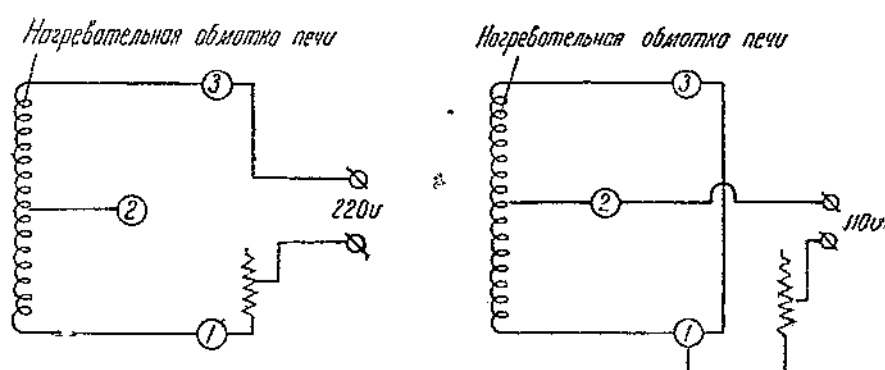
Одновременно с забором газа в волюметрах 14, 11 и 13 производится забор газовой смеси из сосуда 21 через затворный сосуд 55 в волюметр 12; забираемая в этот волюметр газовая смесь по трубке 17 пополняется до определенного объема воздухом из атмосферы.

При следующем подъеме уровня замыкающей жидкости в волюметрах и перекрытии нижнего конца трубки 17, заключенная в волюметре 12 газовая смесь по трубке 53 вытесняется в поглотительный сосуд 20, в который налит раствор едкого кали, и барботирует через него. В результате барботажа через раствор едкого кали происходит полное поглощение заключенного в газовой смеси CO_2 , образовавшегося в результате сжигания CO .

Непоглощенный объем газовой смеси вытесняет абсорбент из поглотительного сосуда 20 в измерительную воронку 23 с цилиндром постоянного сечения. Уровень абсорбента в воронке определяет содержание CO_2 в данной газовой смеси, соответствующее содержанию CO в анализируемом газе.

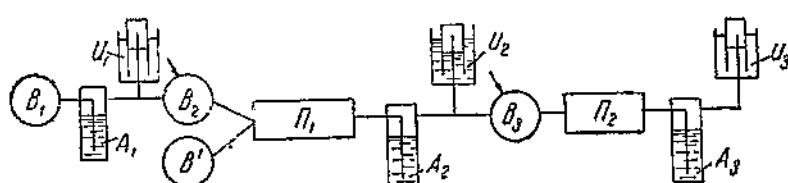
При подъеме абсорбента в цилиндрической части воронки 23, поднимается поплавок 26, соединенный с рычагом 37. Регистрация положения рычага производится аналогично указанной выше регистрации содержания CO_2 в анализируемой газовой смеси.

Последующие анализы производятся аналогично описанному. Сожигательная печь питается от сети переменного тока 110 или 220 в. На фиг. 34 показаны схемы включения печи в зависимости от напряжения питания.



Фиг. 34. Схема соединения нагревательных обмоток печи. 1, 2, 3 — клеммы.

Выше мы указывали на целесообразность применения газоанализаторов триплекс на CO_2 , $\text{CO} + \text{H}_2$ и CH_4 .



Фиг. 35. Принципиальная схема газоанализатора триплекс на CO_2 , $\text{CO} + \text{H}_2$ и CH_4 .

Газоанализатор ГТ-1 сравнительно простым путем может быть превращен в триплекс на CO_2 , $\text{CO} + \text{H}_2$ и CH_4 . На фиг. 35 приведена принципиальная схема такого газоанализатора.

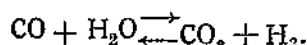
Изменение заключается в добавке одного поглотителя A_2 и одной печи Π_2 для сжигания метана. По существу поглотитель уже имеется. Это сосуд 21 на фиг. 33, в который надо налить щелочь и ввести газоподводящую трубку с погружением. Сокращение + объема по данной схеме составит:

$$\begin{aligned}\Delta V_1 &= CO_2; \\ \Delta V_2 &= 1,5(CO + H_2); \\ \Delta V_3 &= 3CH_4.\end{aligned}$$

Таким образом, показания газоанализатора не нуждаются в каком-либо пересчете и дают непосредственно содержание анализируемых компонентов, что является преимуществом по сравнению с предыдущим прибором (ГТ-1).

Для генераторного двойного водяного, коксового и подземного газов определение указанных компонентов во многих случаях окажется более целесообразным, чем определение CO_2 , CO и H_2 .

Отношение $CO : H_2$ в продуктах газификации обычно характеризуется содержанием CO_2 , так как содержания CO_2 , CO и H_2 определяются равновесием водяного газа



Увеличение содержания CO_2 указывает на уменьшение отношения $CO : H_2$.

С другой стороны, образование метана происходит в результате термического разложения — пиролиза летучих, содержащихся в топливе. Этот процесс протекает совершенно независимо, и поэтому содержание метана является важным показателем, характеризующим течение процесса в верхней части шахты газогенератора. Кроме того, высокая теплотворная способность метана делает нужным контроль его содержания.

2. Газоанализатор триплекс типа МОНО

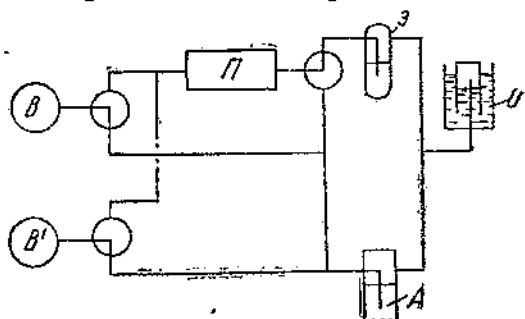
В газоанализаторе триплекс типа МОНО полный анализ осуществляется при помощи трех газовых переключателей за 4 рабочих цикла.

Газоанализатор имеет принципиальную схему, изображенную на фиг. 36.

На фиг. 37 изображено положение газовых переключателей во время всех циклов.

В течение первого цикла газ и воздух проходят через абсорбер, где поглощается CO_2 ; $\Delta V_1 = CO_2$.

Во время второго цикла газ и воздух проходят через печь, где сгорают CO и H_2 , и затем через абсорбер; $\Delta V_2 = CO_2 + 1,5CO + 1,5H_2$.



Фиг. 36. Принципиальная схема газоанализатора триплекс типа МОНО. 3 — затвор.

Третий цикл повторяет первый; $\Delta V_3 = \text{CO}_2$.

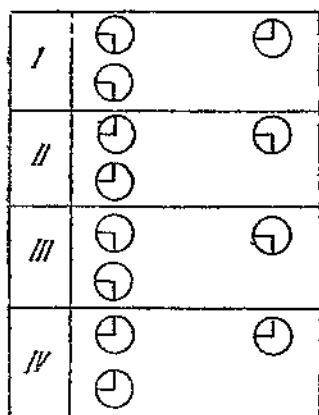
Во время четвертого цикла газ и воздух проходят через печь и продукты сгорания через гидравлический затвор 3 (фиг. 36) поступают в газоизмерительное устройство; $\Delta V_4 = 0,5\text{CO} + 1,5\text{H}_2$.

Состав газа определяется следующим образом:

$$\text{CO}_2 = \Delta V_1 = \Delta V_3;$$

$$\text{CO} = \Delta V_2 (\Delta V_3 + \Delta V_4);$$

$$\text{H}_2 = \frac{2}{3} (\Delta V_4 - 0,5\text{CO}).$$



Фиг. 37. Изображение положения газовых переключателей.

Осуществление полного анализа в течение четырех циклов является серьезным принципиальным недостатком прибора. При частоте определения, равной 24 циклам, газоанализатор будет делать в час только 6 полных анализов. Кроме того, колебания в составе газа в течение одного полного аналитического цикла могут вызвать значительную погрешность. Поэтому для данного газоанализатора в некоторых случаях (при резких колебаниях состава в месте за-

бора газа) целесообразно вызвать искусственную инерцию, увеличивая объем газоподводящей коммуникации или устанавливая перед прибором буферный сосуд, имеющий объем, в 2—3 раза превышающий объем газового волюметра.

Глава VI

РАСЧЕТ ГАЗОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ХИМИЧЕСКИХ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ

1. Сокращение объема при анализе

Расчет газоизмерительных устройств основан на анализе процессов, происходящих в газоанализаторе в результате сокращения объема газовой пробы. В абсорбционных устройствах газоанализаторов относительная величина сокращения объема совпадает с содержанием анализируемого компонента:

$$\Delta V = p.$$

Для газоанализаторов с дожиганием действительно другое выражение:

$$\Delta V = Kp.$$

Значение коэффициента K мы уже проследили на ряде примеров. Приведем таблицу значений K для некоторых реакций (табл. 2).

У р а в н е н и е р е а к ц и и	К
$\text{CO} + 0,5\text{O}_2 = \text{CO}_2$	0,5
$\text{CO} + \text{CuO} = \boxed{\text{CO}_2} + \text{Cu}$	1,0
$\text{H}_2 + \text{CuO} = \boxed{\text{H}_2\text{O}} + \text{Cu}$	1,0
$\text{CO} + 0,5\text{O}_2 = \boxed{\text{CO}_2}$	1,5
$\text{H}_2 + 0,5\text{O}_2 = \boxed{\text{H}_2\text{O}}$	1,5
$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + \boxed{2\text{H}_2\text{O}}$	2,0
$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \boxed{\text{CO}_2} + \boxed{2\text{H}_2\text{O}}$	3,0
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2 = \boxed{2\text{H}_2\text{O}}$	3,0
$\text{CO} + 3\text{H}_2 = \text{CH}_4 + \boxed{\text{H}_2\text{O}}$	3,0

2. Расчет поплавкового газоизмерительного устройства

Обозначим через:

v —объем волюметра (в см^3);
 p —диапазон измерения (в %);
 K —коэффициент сокращения объема;
 l —ширину диаграммы (в см);
 h_1 —максимальный ход поплавка

(в см);
 H —максимальный подъем щелочи (в см);

V —мертвый объем (объем коммуникации плюс объем наджидкостного пространства абсорбера) (в см^3);

d_1 —диаметр поплавка (в см);

d_2 —диаметр цилиндра (в см);

γ —удельный вес щелочи (в $\text{г}/\text{см}^3$);

Определим объем волюметра исходя из данных размеров газоизмерительного устройства (фиг. 38).

Полный ход поплавка (при $p=0$)

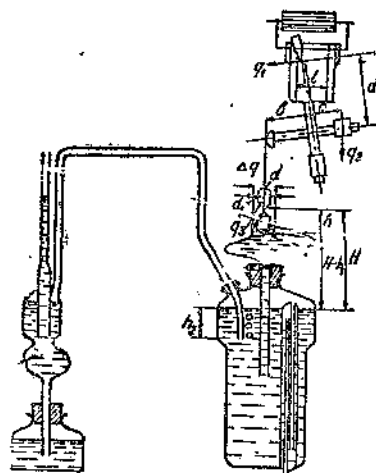
$$h = \frac{l}{n}, \quad (11)$$

где

$$n = \frac{a}{b}.$$

Объем газа в волюметре, вызывающий перемещение поплавка на величину полного хода, будет:

$$v_p = v \frac{Kp}{100} \quad (12)$$



Фиг. 38. Поплавковое газоизмерительное устройство.

Объем вытесненной в измерительный цилиндр щелочи, необходимый для полного перемещения поплавка, будет:

$$v_1 = \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot h_1 \quad (13)$$

Для вытеснения в измерительный цилиндр объема щелочи v_1 в наджидкостное пространство абсорбера должен поступить газ, имеющий объем (приведенный к атмосферному давлению):

$$v_2 = v_1 (1 + 0,001 H \gamma) \quad (14)$$

Одновременно нужно учесть, что во время хода поплавка давление всего объема газа ($V + v$), заключенного в системе, изменится на величину $H \gamma$. Это требует дополнительного увеличения рабочей части волюметра на величину

$$\Delta v = 0,001 (V + v) h_1 \gamma \quad (15)$$

Таким образом имеем:

$$v_p = v_2 + \Delta v \quad (16)$$

Подставляя величину v_2 и Δv из уравнений (14) и (15) и заменяя v_1 в уравнении (14) его значением из уравнения (13), получим:

$$v_p = \frac{\pi d_2^2}{4} h_1 (1 + 0,001 H \gamma) + 0,001 (V + v) h_1 \gamma \quad (17)$$

Объем волюметра составит (см. уравнение 12):

$$v = \frac{100}{K p} \left[\frac{\pi d_2^2}{4} h_1 (1 + 0,001 H \gamma) + 0,001 (V + v) h_1 \gamma \right] \quad (18)$$

Для упрощения расчета значение v в правой части уравнения (18) может быть принято приближенно, так как несоответствие между заданным и истинным значениями v практически не отразится на результате подсчета.

В некоторых случаях приходится ориентироваться на заданный объем волюметра (например, при многократном анализе) и определять необходимый диаметр измерительной воронки.

Диаметр воронки определится из уравнения:

$$d_2 = \sqrt{\beta \frac{4 K p v}{100 \pi h_1}} \quad (19)$$

где

$$\beta = 1 - 0,1 \frac{\gamma}{K p v} (H - V h_1 - v h_1)$$

3. Влияние трения в подвижной системе поплавкового газонизмерительного устройства на показания газанализатора

Силы трения в регистраторе складываются из трения в осях, скользящих контактах электропередатчиков и трения пера о диаграммную

ленту (при штриховой и ступенчатой записи). Эти силы трения, являясь источником погрешности, определяют также чувствительность газоанализатора, т. е. способность его реагировать на небольшие изменения состава газа.

Рассмотрим погрешность, которая может иметь место в случае возникновения силы трения q_1 между пером и бумагой или момента трения aq_1 (см. фиг. 4). Для компенсации последнего необходимо создать равный противодействующий момент cq_2 , приложенный к контргрузу поплавка. Чтобы создать такой момент, нужно облегчить поплавок на величину

$$q_3 = q_2 \frac{c}{b};$$

так как

$$q_2 = q_1 \frac{a}{c},$$

то

$$q_3 = \frac{a}{c} q_1 = n q_1.$$

Источником силы q_3 является дополнительное поднятие жидкости в кольцевом зазоре между измерительным цилиндром и поплавком, увеличивающее пловучесть последнего.

Для создания усилия q_3 щелочь в кольцевом зазоре должна подниматься на высоту

$$\Delta h = \frac{4q_3}{\pi d_1^2 \gamma} = \frac{4nq_1}{\pi d_1^2 \gamma}, \quad (20)$$

что соответствует объему газа

$$\Delta v' = \frac{\pi}{4} \Delta h (d_2^2 - d_1^2). \quad (21)$$

Подставляя из уравнения (20) величину Δh , определим абсолютную погрешность за счет трения:

$$f_a = \Delta v' = \frac{nq_1}{\gamma} \cdot \frac{d_2^2 - d_1^2}{d_1^2}. \quad (22)$$

Относительная погрешность составляет:

$$f_r = \frac{\Delta v'}{v_p} 100\%. \quad (23)$$

Определим величину погрешности при $q_1 = 1$, для газоанализатора со шкалой 0—20%, имеющего волпометр объемом 150 см. Здесь

$$v_p = \frac{150 \cdot 20}{100} = 30 \text{ см}^3;$$

$$d_1 = 4,65 \text{ см};$$

$$d_2 = 5,0 \text{ см};$$

$$n = 3;$$

$$\gamma = 1,27.$$

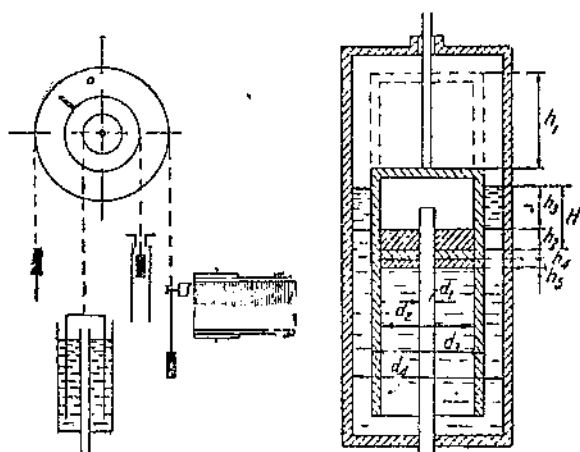
$$\Delta v' = \frac{3 \cdot 1}{1,27} \cdot \frac{5^2 - 4,65^2}{4,65^2} = 0,4 \text{ см}^3;$$

$$f_r = \frac{0,4}{30} \cdot 100 = 1,33\%.$$

4. Расчет колокольного газонизмерительного устройства (фиг. 39)

Обозначим через:

- v — объем волметра (в см^3);
- p — диапазон измерения (в %);
- K — коэффициент сокращения объема;
- l — ширину диаграммы (в см);



Фиг. 39. Колокольное газонизмерительное устройство.

h_1 — ход колокола в диапазоне измерения (в см);

h_2 — опускание жидкости внутри колокола за счет начального давления, уравновешивающего подвижную систему (в см);

h_3 — подъем жидкости в кольцевом пространстве, соответствующий опусканию ее внутри колокола на h_1 (в см);

h_4 — понижение уровня жидкости под колоколом за счет выхода последнего из

жидкости при подъеме в диапазоне измерения (в см);

h_5 — понижение уровня жидкости под колоколом в результате возрастания веса колокола при подъеме его в диапазоне измерения (в см);

d_1 — диаметр газоподводящей трубки (в см);

d_2 — внутренний диаметр колокола (в см);

d_3 — внешний диаметр колокола (в см);

d_4 — внутренний диаметр цилиндра (в см);

F_1, F_2, F_3, F_4 — соответствующие сечения (в см^2).

При замыкающей жидкости с $\gamma = 1$ давление под колоколом перед началом перемещения пера

$$H = h_2 + h_3.$$

В свою очередь

$$h_2 = \frac{H}{1 + \frac{F_2 - F_1}{F_4 - F_3}}. \quad (24)$$

В схеме газоизмерительного устройства с двумя колоколами объем газа $v' = h_2(F_3 - F_1)$, поступающий под рабочий колокол до начала его перемещения, вызывает необходимость соответственно уменьшить ход холостого колокола. В газоизмерительных устройствах, в которых применен метод сцепления колес, поступление дополнительного объема под колокол вызывает необходимость соответствующего уменьшения холостого хода. При конструировании газоанализаторов с конечным значением шкалы $P_{\max} = 100\%$, когда отпадает необходимость во втором колоколе или холостом ходе колес до сцепления, объем жидкости, вытесняемой из-под колокола, должен быть компенсирован равным объемом инертного газа, добавляемого к анализируемому. Обычно в таких случаях добавляется воздух путем устройства расширения в выхлопной трубке.

При расчете волюметра объем v' не учитывается.

Полный ход колокола в диапазоне измерения составляет

$$h_1 = \frac{l}{n}, \quad (25)$$

где n — передаточное число от колокола к диаграмме.

При перемещении колокола в пределах диапазона измерения имеют место два явления: 1) понижение уровня замыкающей жидкости за счет выхода колокола из жидкости и 2) понижение уровня жидкости под колоколом за счет повышения давления при поднятии колокола.

Понижение уровня за счет выхода колокола из жидкости

$$h_4 = \frac{F_3 - F_2}{F_4 - F_1 - (F_3 - F_2)} h_1 = \frac{f}{F_4 - F_1 - f} h_1, \quad (26)$$

где $f = (F_3 - F_2)$ — сечение стенок колокола.

Повышение давления за счет прироста веса колокола

$$\Delta h = \frac{F_3 - F_2}{F_2} h_1 = \frac{f}{F_2} h_1. \quad (27)$$

Понижение уровня под колоколом вследствие этого повышения давления

$$h_5 = \Delta h \cdot \frac{1}{1 + \frac{F_3 - F_1}{F_4 - F_3}}. \quad (28)$$

Подставляя значение Δh из уравнения (27), получаем:

$$h_5 = \frac{f h_1}{F_2 \left(1 + \frac{F_3 - F_1}{F_4 - F_3} \right)}. \quad (29)$$

Перемещение колокола на высоту h_1 вызывается поступлением под колокол газа в объеме

$$v_p = \frac{Kp}{100} v. \quad (30)$$

Объем газа, поступающий под колокол во время перемещения пера с учетом изменения уровня жидкости под колоколом, может быть выражен уравнением:

$$v_p = F_2 h_1 + (F_2 - F_1)(h_4 + h_5). \quad (31)$$

Объем волюметра с учетом изменения давления при переходе газа из волюметра под колокол будет:

$$v = \frac{1000 + H}{1000 + H_s} \cdot \frac{100}{Kp} [F_2 h_1 + (F_2 - F_1)(h_4 + h_s)], \quad (32)$$

где H —давление под колоколом (в см вод. ст.);

H_s —давление в волюметре, равное сопротивлению затворов и поглотительного сосуда плюс давление под колоколом (в см вод. ст.).

Подставив в уравнение (32) значения h_1 , h_4 и h_s из уравнений (25), (26) и (28) и произведя некоторые преобразования, получим расчетное уравнение для объема волюметра:

$$v = \frac{1000 + H}{1000 + H_s} \cdot \frac{100 l}{Kpn} \times \left[F_2 + f \frac{F_2 - F_1}{F_2} \left(\frac{F_2}{F_4 - F_1 - f} + \frac{1}{1 + \frac{F_2 - F_1}{F_4 - F_2}} \right) \right]. \quad (33)$$

На основании выведенного уравнения производим примерный расчет волюметра для газоанализатора на CO_2 со шкалой 0—20%. Имеем $H_s = 24$ см; $\frac{1}{2} H = 2,5$ см; $p = 20\%$ ($K = 1$); $l = 6,3$ см; $n = 4$.

$d_1 = 0,8$ см; $d_2 = 4,0$ см; $d_3 = 4,1$ см; $d_4 = 4,4$ см.

Следовательно, $F_1 = 0,30$ см²; $F_2 = 12,56$ см²; $F_3 = 13,19$ см²;

$F_4 = 15,20$ см; $f = 13,19 - 12,56 = 0,63$ см².

Подставляя приведенные значения в уравнение (33), получим

$$v = \frac{1002,5}{1024} \cdot \frac{100 \cdot 6,3}{20 \cdot 4} \left[12,56 + 0,63 \frac{12,06}{12,56} \left(\frac{12,56}{14,27} + \frac{1}{7} \right) \right] = 103 \text{ см}^3.$$

В некоторых источниках для аналогичного случая приводится расчетный объем волюметра 100 см³, причем указывается, что, якобы, для компенсации трения подвижной системы, объем волюметра увеличивается на 3—4%. Совершенно очевидно, что это утверждение неверно, так как увеличение объема волюметра не может компенсировать трение в системе.

5. Изменение шкалы газоанализатора

При конструировании газоанализаторов могут встретиться случаи, когда необходимо заранее предусмотреть возможность изменений шкалы газоанализатора при его эксплуатации. Для этого могут быть использованы два метода: изменение величины диапазона измерения или подавления нуля прибора, т. е. смещение диапазона с сохранением величины его неизменной.

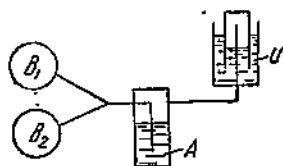
Наиболее простым выходом будет пересчет и замена волюметра. Однако иногда при контроле процессов с меняющимся заданным ре-

жимом (например в опытных установках) целесообразно использовать схему, изображенную на фиг. 40.

Газоанализатор имеет два параллельно работающих волюметра B_1 и B_2 различных объемов (v_1 и v_2). Применяются три способа включения волюметров (табл. 3).

Значение коэффициента a см. ниже, в уравнении (35). Так, при $v_1 = 100 \text{ см}^3$ и $v_2 = 200 \text{ см}^3$ будем иметь шкалы: $P_I = 20\%$; $P_{II} = 10\%$; $P_{III} = 6,7\%$.

Однако в большинстве случаев целесообразнее использовать метод подавления нуля. Если начальное положение колокола перед поступлением газа сместить на высоту Δh_1 , равную высоте рабочего хода h_1 , то угол холостого хода φ уменьшится на величину $\Delta\varphi$, а так как $\Delta h = h_1$, то $\Delta\varphi = \varphi_1$.



Фиг. 40. Принципиальная схема включения волюметров.

Таблица 3

Волюметры	С п о с о б в к л ю ч е н и я		
	I	II	III
B_1	Газ	Воздух	Газ
B_2	Воздух	Газ	Газ
Шкала прибора P	$\frac{a}{v_1}$	$\frac{a}{v_2}$	$\frac{a}{v_1 + v_2}$

Максимальное значение шкалы станет равным $2P$ при минимальном равном P , т. е. диапазон измерения останется неизменным.

Для измерения начального положения колокола, ограничитель контргруза колокола должен быть опущен на высоту

Δh_2 , при чем

$$\Delta h_2 = \Delta h_1 \frac{d_2}{d_1} = \frac{l}{n} \cdot \frac{d_2}{d_1}. \quad (34)$$

6. Обоснование допусков на объем волюметров

Из уравнения (33) определяем фиксируемую концентрацию анализируемого компонента как функцию объема волюметра:

$$p = \frac{1000 + H}{1000 + H_s} \cdot \frac{100l}{Kn} \cdot \frac{1}{v} \times \\ \times \left[F_2 + f \frac{F_2 - F_1}{F_2} \left(\frac{F_2}{F_2 - F_1 - f} + \frac{1}{1 + \frac{F_2 - F_1}{F_2 - F_2}} \right) \right]$$

Заменяем постоянные величины коэффициентом

$$a = \frac{1000 + H}{1000 + H_0} \cdot \frac{100 l}{Kn} \times \left[F_2 + f \frac{F_2 - F_1}{F_2} \left(\frac{F_2}{F_4 - F_1 - f} + \frac{1}{1 + \frac{F_2 - F_1}{F_4 - F_3}} \right) \right]$$

тогда:

$$p = a \frac{1}{v}. \quad (35)$$

Дифференцируя уравнение (34), получим:

$$dp = a \frac{dv}{v^2}. \quad (36)$$

Для содержания анализируемого компонента $P = 20\%$ и объема волюметра $v = 100 \text{ см}^3$, при отклонениях объема волюметра от заданного значения на 1 см^3 , отклонение показаний прибора составит $0,2\%$ (при максимальном значении шкалы).

7. Влияние трения в механической части колокольного газокиммерительного устройства

Силы трения в регистраторе складываются из трения в осях и трения пера по диаграммной ленте. Рассмотрим погрешность, которая может иметь место при возникновении между пером и бумагой силы трения q_1 .

Сохраняем принятые выше обозначения. Сила трения, приложенная к перу и направленная против его движения, может быть заменена равной силой, приложенной к контргрузу большого колеса. В свою очередь q_1 может быть заменено силой q_2 , приложенной к малому колесу, при чем $q_2 = n q_1$. (Здесь, как и выше, передаточное число — отношение диаметров большого колеса к малому.)

Для компенсации силы q_1 к контргрузу колокола должно быть приложено дополнительное усилие $q_3 = q_2$. Последнее может быть создано за счет увеличения давления под колоколом. Следовательно,

$$\begin{aligned} q_3 &= \Delta p F_2, \\ a \quad q_1 &= \frac{\Delta p}{n} F_2. \end{aligned} \quad (37)$$

Для того чтобы было создано дополнительное давление, под колокол должно поступить дополнительное количество газа $\Delta v'$, причем

$$\Delta v' = \frac{\Delta p}{\frac{1}{F_2 - F_1} + \frac{1}{F_4 - F_3}}. \quad (38)$$

Подставляя значение Δp , подсчитанное по уравнению (36), получим:

$$\Delta v' = \frac{q_1 n}{F_2} \left(\frac{1}{\frac{1}{F_2 - F_1} + \frac{1}{F_4 - F_3}} \right). \quad (39)$$

Из уравнения (38) следует, что величина $\Delta v'$ в большой степени определяется сечением кольцевого зазора между колоколом и цилиндром, а также сечением $F_2 - F_1$.

Определим возможные цифровые значения. Задаемся силой трения $f_1 = 1$ г и подставляем значения остальных величин для рассмотренного выше газоанализатора МОНО со шкалой 20%:

$$\Delta v' = \frac{1 \cdot 4}{12,56} \cdot \frac{1}{\frac{1}{12,56 - 0,30} + \frac{1}{15,20 - 13,19}} = 0,65 \text{ см}^3.$$

Следовательно, относительная погрешность за счет трения составляет в данном случае

$$f_2 = \frac{\Delta v'}{v_p} \cdot 100 = \frac{0,65}{20} \cdot 100 = 3,25\%.$$

Отсюда можно заключить, что хорошее качество диаграммной бумаги, особенно отсутствие ворсистости, является неременным условием безупречной работы прибора.

Абсорбционные газоанализаторы типа МОНО со шкалой 0—10% отличаются от газоанализаторов со шкалой 0—20% лишь передаточным числом. Для них $n = 8$. В этом случае $\Delta v' = 1,3 \text{ см}^3$, а приведенная погрешность составляет $f_r = \frac{1,3}{10} 100 = 13\%$.

Наблюдение за находящимися в эксплуатации газоанализаторами с такой шкалой показывает, что перо обычно движется по диаграмме рывками, по мере накопления под колоколом давления достаточного для преодоления трения в регистраторе.

Не нужно специальных расчетов для доказательства эксплуатационной непригодности абсорбционных газоанализаторов с диапазоном измерения менее 10%, хотя бы только в силу недостаточной их механической независимости.

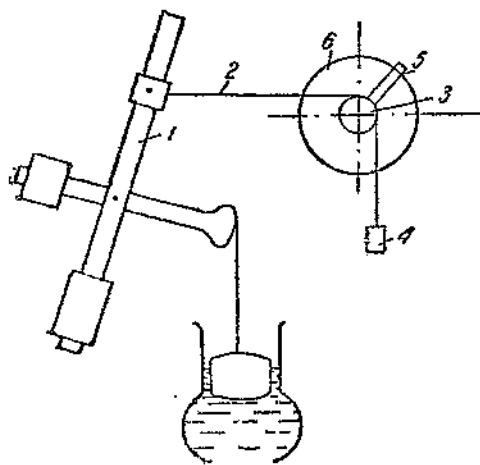
При рассмотрении основного источника погрешности, заключающегося непосредственно в газоизмерительном устройстве, необходимо отметить влияние вязкости жидкости, замыкающей газ под колоколом. Вязкая замыкающая жидкость, задерживаясь на стенках колокола при его подъеме и затем постепенно стекая, вызывает погрешность, особенно заметную при изменении частоты анализов. Обычно в колокольных газоизмерительных устройствах в качестве замыкающей жидкости применяется 25—30-проц. водный раствор глицерина. Из приведенных выше соображений следует, что целесообразно применять менее вязкие жидкости, например более разбавленные растворы глицерина.

Г л а в а VII

ДИСТАНЦИОННАЯ ПЕРЕДАЧА ПОКАЗАНИЙ ХИМИЧЕСКИХ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ

На практике обычно применяются датчики реостатного типа. Введенные в свое время фирмой МОНО импульсные датчики оказались мало рациональными из-за быстрого срабатывания первичного контактного устройства, и сама фирма отказалась от этих датчиков.

На фиг. 41 изображена схема установки реостатного датчика типа Адос. Рычаг 1 пера газоанализатора связан посредством нити 2 с коле-



Фиг. 41. Кинематическая схема установки датчика. 1 — рычаг; 2 — нить; 3 — колесо; 4 — противовес; 5 — ползунок; 6 — реостат.

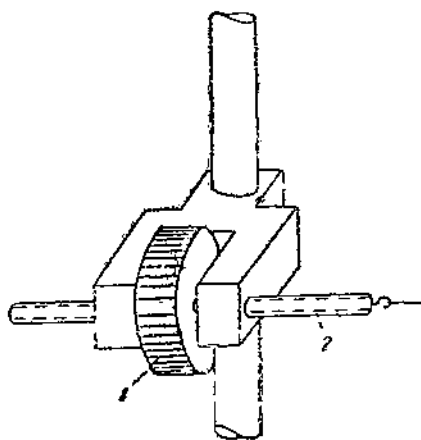
ние ползунка на реостате посредством изменения длины нити.

Это осуществляется устройством, изображенным на фиг. 42. Вращая гайку 1 в ту или другую сторону, вызывают перемещение нарезной шпильки 2, к которой крепится нить.

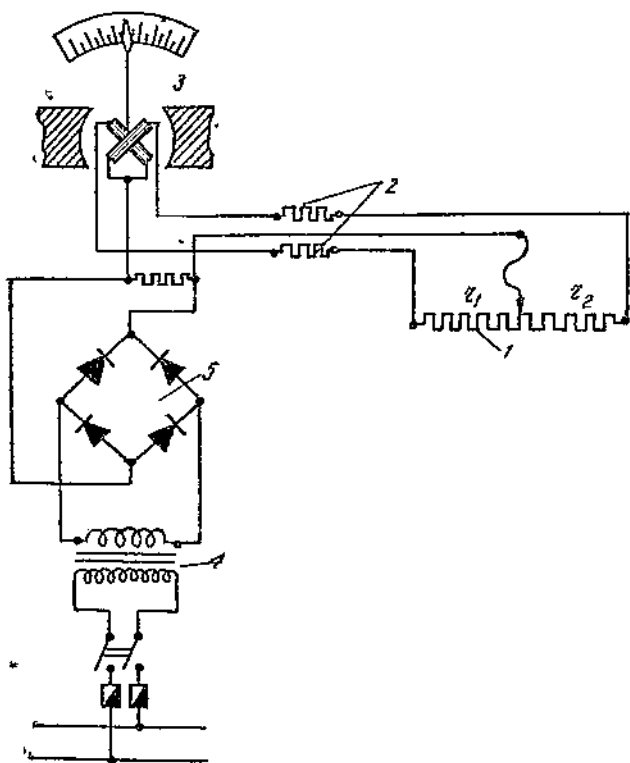
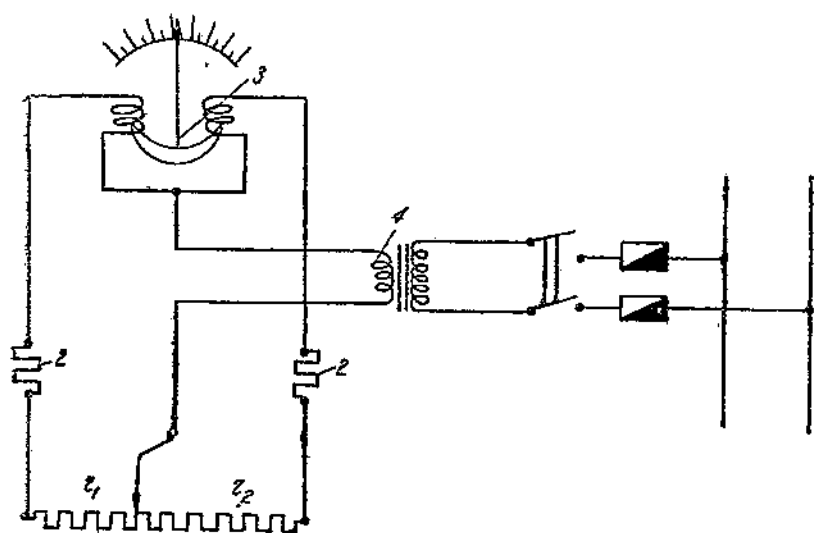
Электрическая схема передачи на расстояние выполняется на переменном или на постоянном токе. Схема на переменном токе изображена на фиг. 43, схема на постоянном токе — на фиг. 44.

На фиг. 45 изображена монтажная схема датчика для переменного тока. Схема на постоянном токе будет отличаться лишь добавкой купроксного выпрямителя.

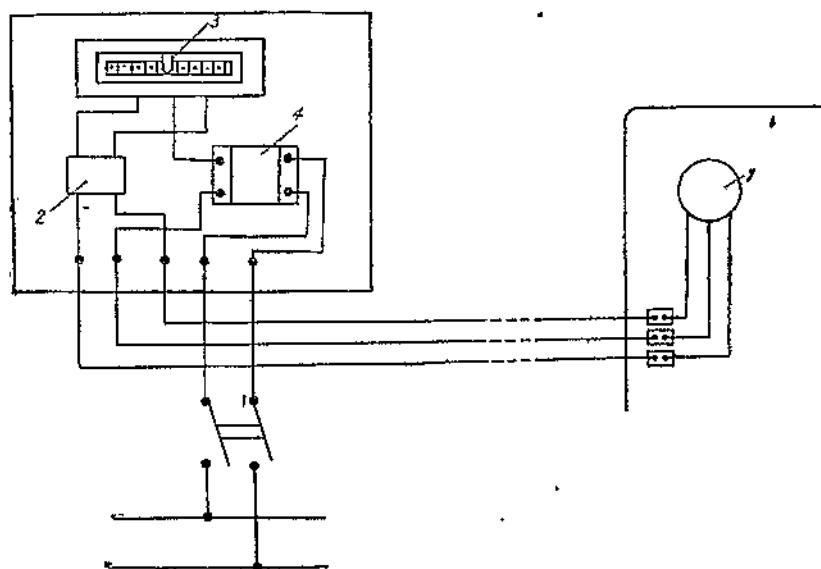
В последнее время наша приборостроительная промышленность перешла на передачу показаний исключительно на постоянном токе. Это вызвано главным образом малой чувствительностью электромагнитных логометров. Кроме того, применение схем на постоянном токе позволяет применить дистанционную регистрацию показаний газоанализаторов, используя самопишущие логометры.



Фиг. 42. Схема устройства для установки ползунка. 1 — гайка; 2 — нарезная шпилька.



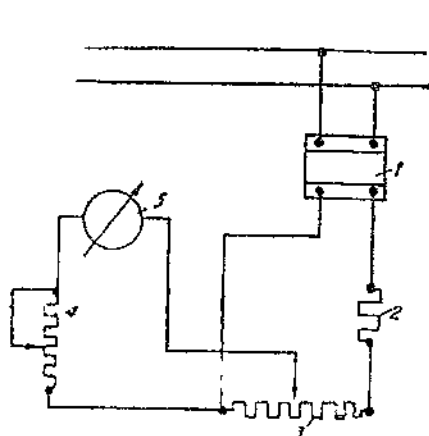
Фиг. 43, 44. Схемы датчиков на переменном и постоянном токах. 1 — реостат; 2 — подгоночные катушки; 3 — логометр; 4 — понижающий трансформатор; 5 — купроксный выпрямитель.



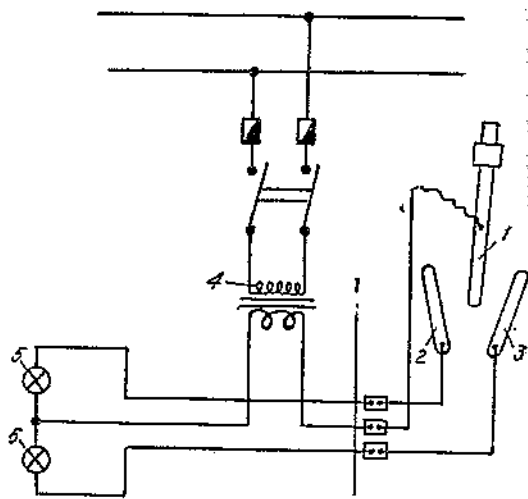
Фиг. 45. Монтажная схема датчика на переменном токе. 1—реостат; 2—подгоночные катушки; 3—[логометр; 4]—понижающий трансформатор.

Фирма «Термотехник» для передачи показаний применяет схему, изображенную на фиг. 46.

Работа схемы основана на измерении падения напряжения в датчике при помощи сравнительно грубого прибора. Так как напряжение



Фиг. 46. Схема передачи «Термотехника». 1—купроксный выпрямитель с трансформатором; 2 — подгоночная катушка; 3 — реостатный датчик; 4 — регулировочный реостат для компенсации колебаний напряжения сети; 5—вольтметр.



Фиг. 47. Схема сигнализации предельных значений. 1 — нижняя часть рычага пера; 2, 3 — передвижные контакты; 4 — трансформатор; 5, 6 — сигнальные лампы.

на зажимах выпрямителя составит около 2 в, то такого же порядка, за вычетом сопротивлений 2 и 4, должна быть шкала вольтметра 5.

На фиг. 47 изображена схема сигнализации предельных значений содержания анализируемого компонента.

Контакты 2 и 3 выполняются передвижными, так что их можно устанавливать на произвольных заданных значениях концентраций.

Глава VIII

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ

Термин «электрический газоанализатор» неточен, так как во многих типах автоматических газоанализаторов, не включенных в данную группу, результат анализа преобразуется также в ту или иную электрическую величину.

Под электрическими газоанализаторами в непосредственном смысле слова обычно подразумеваются газоанализаторы, основанные на измерении теплопроводности газовой смеси и на определении теплового эффекта сгорания анализируемого компонента.

1. Условия теплопередачи

Передача тепла через газовую среду происходит посредством теплопроводности, конвекции и лучеиспускания.

Долю тепла, передаваемую путем конвекции и лучеиспускания, в газоанализаторах стремятся уменьшить, так как только теплопроводность закономерно связана с составом газовой смеси.

Конвекция — перенос тепла газовыми потоками — обуславливается разностью удельных весов газа у источника нагрева и у холодной стенки. Для понижения теплопередачи путем конвекции при конструировании цилиндрических измерительных ячеек уменьшают диаметр последних.

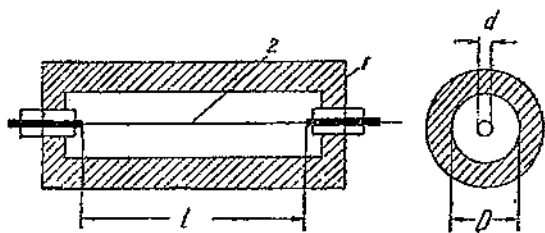
Как известно, количество тепла, передаваемое лучеиспусканием, пропорционально четвертой степени абсолютной температуры (закон Стефана Больцмана):

$$Q = \alpha C \left(\frac{T}{100} \right)^4 K/m^2. \quad (40)$$

Для уменьшения теплопередачи за счет лучеиспускания в газоанализаторах избегают высоких температур нагревательного элемента.

2. Термические условия

Измерительная ячейка газоанализатора (фиг. 48) представляет цилиндрическую камеру из хорошо проводящего тепло материала (металлическую), заполненную газом. По оси цилиндра протянута металлическая нить, нагреваемая электрическим током. Нить служит одновременно нагревательным элементом и термометром сопротивления.



Фиг. 48. Принципиальная схема измерительной ячейки газоанализатора. 1 — цилиндрическая камера; 2 — нить.

Области равных температур относительно воздуха имеют:

H_2O	при	200°C
NH_3	»	63°C
C_2H_2	»	100°C
C_2H_4	»	120°C
SO_2	»	450°C

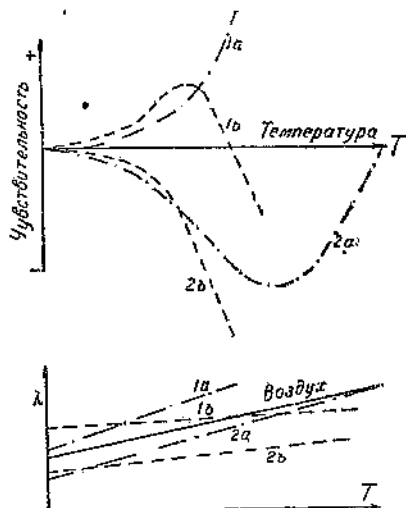
Естественно, что при указанных температурах анализ смесей соответствующих компонентов с воздухом методом теплопроводности не возможен. С другой стороны, при приведенных температурах возможен анализ тройных смесей, например при средней температуре газа 200°C можно анализировать различные газо-воздушные смеси независимо от их влажности.

Различие в температурных коэффициентах теплопроводности газов определяет в некоторых случаях оптимальное значение разности температур ΔT . Рассмотрим бинарные смеси газа с воздухом.

Если отношение $\frac{\lambda_{газа}}{\lambda_{возд}}$ не изменялось

бы с температурой, то чувствительность прибора выросла бы с увеличением ΔT . В некоторых случаях с увеличением температуры разность между теплопроводностями газа и воздуха уменьшается, и при $\lambda_{газа} = \lambda_{возд}$ чувствительность прибора окажется равной нулю.

На фиг. 50 представлены возможные случаи:



Фиг. 50. Кривая чувствительности как функция температуры.

$$1a) \lambda_{газа} > \lambda_{возд}; \quad \frac{d\lambda_{газа}}{dT} > \frac{d\lambda_{возд}}{dT}; \quad (\text{пример } CH_4)$$

$$1b) \lambda_{газа} > \lambda_{возд}; \quad \frac{d\lambda_{газа}}{dT} < \frac{d\lambda_{возд}}{dT};$$

$$2a) \lambda_{газа} < \lambda_{возд}; \quad \frac{d\lambda_{газа}}{dT} > \frac{d\lambda_{возд}}{dT}; \quad (CO_2, H_2O, SO_2, NH_3)$$

$$2b) \lambda_{газа} < \lambda_{возд}; \quad \frac{d\lambda_{газа}}{dT} < \frac{d\lambda_{возд}}{dT}.$$

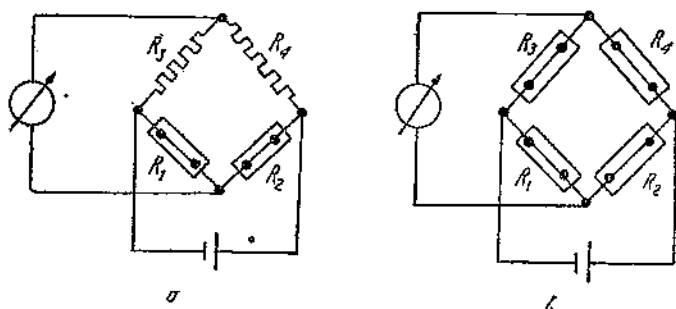
На нижней диаграмме представлены изменения теплопроводности газов; на верхней — чувствительность прибора или соответствующие отклонения гальванометра.

3. Электрическая схема

Анализ газа методом теплопроводности сводится к измерению разности температур нагревательных элементов, помещенных в анализируемом и эталонном газе. Это неравенство температур приводит к

неравенству сопротивлений и разбалансировке моста Уитстона, плечами которого служат нагревательные элементы.

На фиг. 51 изображены две схемы измерительных мостов. В схеме *a* два плеча R_1 и R_2 камеры — рабочая и эталонная; плечи R_3 и R_4



Фиг. 51. Схемы мостов.

представляют постоянные металлические сопротивления. В схеме *в* все плечи моста представляют камеры R_1 и R_4 — рабочие, R_2 и R_3 — эталонные.

Для равновесного моста, т. е. при компенсации изменившегося сопротивления и диагональным токе, равном нулю, действительно соотношение:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}. \quad (43)$$

Для неравновесного моста, по схеме которого выполняются электрические газоанализаторы, при нарушении приведенного равенства, в диагонали моста возникает ток. Величина диагонального тока быть может выражена формулой:

$$i_F = E \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_1 R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_1 + R_2) + R_F (R_1 + R_2) (R_3 + R_4)} \quad (44)$$

где E — напряжение питания;

R_F — сопротивление гальванометра.

При условии равенства сопротивлений плеч моста, т. е. при $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ (что фактически имеет место в рассматриваемом случае), и если изменение плечевого сопротивления ΔR невелико, по сравнению с R , то для схемы *a* диагональный ток составит:

$$i_F = \frac{i_0}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R + R_F}, \quad (45)$$

а для схемы *в*:

$$i_F = \frac{i_0}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R + R_F}, \quad (46)$$

где i_0 — сила тока, питающего схему.

Как видно из приведенных формул, схема *в* обладает вдвое большей чувствительностью, поэтому этой схемой всегда пользуются при определении теплопроводности. Схема *a* применяется в рассматриваемых далее газоанализаторах, основанных на измерении теплоты сгорания

4. Конструкция камер

На фиг. 52 изображена конструкция камер газоанализатора Сименса, применяемая с некоторыми изменениями в большинстве выпускаемых сейчас газоанализаторов.

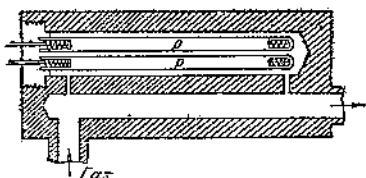
Характеристика конструкции:

1. Нагревательные элементы — платиновые нити диаметром около 0,04 мм.

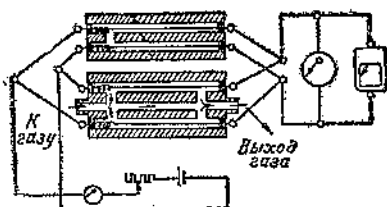
2. Поток анализируемого газа проходит, минуя измерительные камеры. С последними газовый канал сообщается четырьмя отверстиями. Газообмен в измерительных камерах осуществляется за счет диффузии.

3. Эталонный газ — воздух замкнут в эталонных камерах.

От рассмотренных камер принципиально отличны камеры, применяемые фирмой Энгельгард; измерительная камера этого типа изображена на фиг. 53.



Фиг. 53. Камеры газоанализатора Энгельгард.



Фиг. 52. Камеры газоанализатора Сименса.

Характеристика конструкции:

1. Нагревательные плечи представляют платиновые спирали, заключенные в кварцевые гильзы.

2. Газообмен осуществляется также за счет диффузии.

Преимущества камер, применяемых фирмой Энгельгард:

1) устранена возможность коррозии нагревательных элементов;

2) невозможно провисание нагревательного элемента. Изменение положения платиновой нити относительно стенок камеры в предыдущем случае может изменить условия теплопередачи.

К числу недостатков этих камер следует отнести следующие:

1) наличие кварцевых гильз увеличивает инерцию в показаниях прибора;

2) вследствие увеличения сечения камеры возможно возникновение конвекционных потоков в ней.

5. Расчет газоанализатора на CO_2 со шкалой 0—20 проц.

Определяем температуру платиновой нити в воздушной камере. Из уравнения (42) можем написать:

$$\Delta T = \frac{Q \ln \frac{D}{d}}{2\pi l \lambda}.$$

Для воздуха $\lambda = 56,8 \cdot 10^6 \text{ кал/см сек}^\circ \text{С}$. Задаемся геометрическими размерами элементов камеры:

$$D = 1,0 \text{ см}; d = 0,004 \text{ см}; l = 12,0 \text{ см}.$$

Определяем количество тепла Q , выделяемого проволокой в секунду.

При напряжении питания моста $E = 4$ в и плечевых сопротивлениях $R = 10$ ом при 0°C ток, проходящий через схему, составит:

$$i_0 = \frac{4}{R_{\text{моста}}}.$$

Сопротивление моста по закону Кирхгоффа:

$$R_{\text{моста}} = \frac{1}{\frac{1}{2R} + \frac{1}{2R}} = R.$$

Следовательно, при 0°C мы имели бы в схеме силу тока

$$i_0 = \frac{4}{10} = 0,4 \text{ а.}$$

В действительности сила тока будет меньше, так как за счет повышения температуры плечевые сопротивления возрастут.

Задаемся температурой плеч 100°C .

Для платины температурный коэффициент сопротивления $\rho = 0,0035$. Следовательно, при 100°C :

$$R' = R(1 + \rho t) = 10(1 + 0,0035 \cdot 100) = 13,5 \text{ ом.}$$

А ток в схеме:

$$i_0 = \frac{4}{13,5} = 0,296 \text{ а.}$$

Электрическая мощность, выделяемая в одной камере, составит:

$$\frac{i_0 E}{4} = \frac{4 \cdot 0,296}{4} = 0,296 \text{ ат.}$$

Так как один джоуль равен $0,239$ кал, то количество тепла, выделяемое нагревательным элементом, составит:

$$Q = 0,296 \cdot 0,239 = 0,07 \text{ кал/сек.}$$

Определяем разность температур между нитью и стенками в воздушной камере:

$$\Delta T_1 = \frac{0,07 \cdot \ln \frac{1,0}{0,004}}{2 \cdot 3,14 \cdot 12 \cdot 56,8 \cdot 10^{-8}} = 90^\circ\text{C.}$$

Следовательно, при окружающей температуре 20°C температура нити в воздушной камере будет:

$$90 + 20 = 110^\circ\text{C.}$$

Перепиывая выражение для ΔT_1 в виде

$$\Delta T_1 = \frac{K}{\lambda_{\text{возд}}} \quad (47)$$

и пользуясь для удобства дальнейшего расчета значениями, отнесенными к воздуху, можем определить значение K (при $\lambda_{\text{возд}} = 1$, $\Delta T_1 = 90^\circ$):

$$K = \lambda_{\text{возд}} \Delta T_1 = 1 \cdot 90 = 90.$$

Теплопроводность смеси при 20-проц. содержании CO_2 составит: (смесь воздух—углекислота подчиняется правилу аддитивности).

$$\lambda_{см} = 1 \frac{80}{100} + 0,59 \frac{20}{100} = 0,92.$$

Определяем ΔT_2 при максимальном значении шкалы в рабочей камере:

$$\Delta T_2 = \frac{K}{\lambda_{см}} = \frac{90}{0,92} = 98^\circ.$$

Повышение температуры в рабочей камере по сравнению с эталонной:

$$\tau = \Delta T_2 - \Delta T_1 = 98 - 90 = 8^\circ.$$

Изменение сопротивления плеча при этом составит:

$$\Delta R = R_F \tau = 13,5 \cdot 0,0035 \cdot 8 = 0,365 \text{ ом}.$$

Диагональный ток составит:

$$i_F = \frac{0,296}{2} \cdot \frac{0,365}{13,5 + R_F} = 1000 \text{ ма}$$

при сопротивлении гальванометра

$$R_F = 10 \text{ ом} \quad i_F = 2, 3 \text{ ма};$$

$$R_F = 50 \text{ ом} \quad i_F = 0,85 \text{ ма};$$

$$R_F = 100 \text{ ом} \quad i_F = 0,52 \text{ ма}.$$

6. Расчет газоанализатора на водород в воздухе со шкалой 0—6 проц.

Расчетная теплопроводность газовой смеси при максимальном содержании водорода:

$$\lambda_{см} = 1 \cdot 0,96 + 7 \cdot 0,06 = 1,38.$$

На самом деле для этой смеси правило аддитивности неприменимо; действительная теплопроводность смеси меньше подсчитанной и для 6% H_2 составляет 1,18 вместо 1,38.

Так же, как и в предыдущем случае, $K=90$. Тогда разность температур в рабочей камере при максимальном значении шкалы составит:

$$\Delta T_2 = \frac{90}{1,18} = 76^\circ.$$

Следовательно,

$$\tau = 90 - 76^\circ = 14^\circ.$$

Изменение сопротивления в рабочей камере:

$$\Delta R = 13,5 \cdot 0,0035 \cdot 14 = 0,66 \text{ ом}.$$

Максимальное значение диагонального тока:

$$i_F = \frac{0,296}{2} \cdot \frac{1,18}{13,5 - R_F} \cdot 1000 \text{ ма}$$

$$\text{при } R_F = 10 \text{ ом} \quad i_F = 4,2 \text{ ма}$$

$$R_F = 50 \text{ ом} \quad i_F = 1,54 \text{ ма}$$

$$R_F = 100 \text{ ом} \quad i_F = 0,86 \text{ ма}$$

7. Расчет газоанализатора на водород со шкалой 94—100 проц.

Рассмотрим два случая: 1) эталонный газ — воздух и 2) эталонный газ — 100-проц. водород.

В первом случае электрический нуль прибора будет находиться далеко за пределами шкалы, так как мост все время окажется в не-уравновешенном состоянии.

При сохранении рассмотренных ранее условий питания, при содержании H_2 — 94%, т. е. при

$$\lambda_{см} = 0,94 \cdot 7 + 0,04 \cdot 1 = 6,6;$$

В действительности $\lambda_{см} = 6,5$ и при 94% H_2

$$\Delta T_2 = \frac{90}{6,5} = 13,85^\circ.$$

При содержании H_2 — 100%, т. е. при $\lambda_{см} = 7,0$,

$$\Delta T_2 = \frac{90}{7,0} = 12,85^\circ.$$

Разность температур плеч составит при минимальном содержании H_2 :

$$\tau_1 = 90 - 13,85 = 76,15^\circ,$$

при максимальном:

$$\tau_2 = 90 - 12,85 = 77,15^\circ.$$

Иначе говоря, в термометре сопротивления со шкалой $76,0^\circ$ мы используем диапазон измерения $13,85—12,85 = 1,0^\circ C$, что явно нецелесообразно.

Если же применить в качестве эталонного газа чистый водород, то мост окажется электрически уравновешенным на верхнем значении шкалы.

Максимальная разность температур окажется такой же незначительной ($\tau = 0,83^\circ$), как и в предыдущем случае. Работа с таким небольшим температурным перепадом приведет к значительной погрешности измерения, например за счет неравенства температур камер.

При возможном неравенстве в $0,2^\circ$ возникает погрешность в $\frac{0,2}{1,0} 100 = 20,0\%$ от шкалы. Кроме того, в этом случае потребовался бы гальванометр значительно большей чувствительности.

Естественным решением здесь является повышение температуры камер, что может быть достигнуто соответствующим изменением геометрических размеров камер, уменьшением сопротивления плеч или увеличением напряжения источника питания.

Рассмотрим последний случай — увеличим напряжение питания, т. е. количество тепла, выделяющееся на нагревательном элементе. Тогда

$$K = \Delta T_1 \lambda = 90 \cdot 7 = 630.$$

Количество тепла, выделяющегося в камере, составит:

$$0,07 \cdot 7 = 0,49 \text{ кал/сек},$$

а электрическая мощность, потребляемая одной камерой,

$$U = 0,296 \cdot 7 = 2,07 \text{ вт}.$$

Так как $i_0 = \frac{E}{R'}$,

то, вместо выражения $U = \frac{i_0 E}{4}$, мы можем написать:

$$U = \frac{E^2}{4R'},$$

откуда

$$E = \sqrt{4 \cdot UR'}.$$

Подставляя значения U и R' , получим:

$$E = \sqrt{4 \cdot 2,07 \cdot 13,5} = \sqrt{112} = 10,6 \text{ в.}$$

В этом случае температура в рабочей камере при содержании H_2 94%

$$\Delta T_2 = \frac{630}{6,58} = 96^\circ;$$

$$\tau = \Delta T_2 - \Delta T_1 = 96 - 90 = 6^\circ;$$

$$\Delta R = R' \rho \tau = 13,5 \cdot 0,0035 \cdot 6 = 0,284 \text{ ом.}$$

При напряжении питания $E = 10,6 \text{ в}$

$$i_0 = \frac{10,6}{13,5} = 0,785 \text{ а.}$$

Диагональный ток при содержании H_2 94%:

$$i_r = \frac{0,785}{2} \cdot \frac{0,284}{13,5 + R_r} \cdot 1000 \text{ ма}$$

$$\text{при } R_r = 10 \text{ ом } i_r = 4,75 \text{ ма;}$$

$$R_r = 50 \text{ ом } i_r = 1,74 \text{ ма;}$$

$$R_r = 100 \text{ ом } i_r = 0,99 \text{ ма}$$

Г л а в а IX

ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ В ГАЗОАНАЛИЗАТОРАХ, ОСНОВАННЫХ НА ИЗМЕРЕНИИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

1. Колебания температуры окружающей среды

Диагональный ток может быть выражен:

$$i_2 = K_1 \tau = K_1 (\Delta T_2 - \Delta T_1);$$

$$\Delta T_1 = T_1 - T'_1;$$

$$\Delta T_2 = T_2 - T'_2,$$

где T_1 и T_2 — температуры нагревательных элементов;
 T'_1 и T'_2 — температуры стенок камер.

Заменяем ΔT_1 и ΔT_2 их значениями:

$$i_r = K_1 [(T_2 - T'_2) - (T_1 - T'_1)],$$

или

$$i_r = K_1 [(T_2 - T_1) - (T'_2 - T'_1)].$$

Обозначив разницу температур нитей $T_2 - T_1 = \tau$ и разницу температур стенок камер $T'_2 - T'_1 = \tau'$, получим:

$$i_r = K_1 (\tau - \tau'). \quad (48)$$

Для нормальной работы газоанализатора необходимо обеспечить равенство температур стенок камер, т. е. $\tau_2 = 0$. Если за счет разности температур нитей или вследствие колебаний температуры окружающей среды или лучеиспускания окружающей аппаратуры стенки камер будут иметь неодинаковую температуру, возникнет абсолютная погрешность

$$f_a = K_1 \tau' \quad (49)$$

или относительная погрешность

$$f_r = \frac{\tau'}{\tau} 100. \quad (50)$$

Так, например, для газоанализатора на CO_2 со шкалой 0—20% при $\tau' = 0,4^\circ$ ($\tau = 8^\circ$, см. выше)

$$f_r = \frac{0,4}{8} 100 = 5\%.$$

Для уменьшения влияния рассмотренного источника погрешности целесообразно применять датчики с камерами, высверленными в массивной металлической болванке с достаточной поверхностью для отдачи тепла, выделяемого нагревательными элементами.

Датчик должен быть защищен от воздушных потоков и от лучеиспускания нагретыми предметами.

2. Колебания напряжения источника питания

В уравнении

$$i_r = \frac{i_0}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R' + R_r}$$

можно заменить i_0 его значением

$$i_0 = \frac{E}{R'},$$

тогда

$$i_r = \frac{E}{2R'} \cdot \frac{\Delta R}{R' + R_r}$$

Из уравнения следует, что погрешность

$$f_r = \frac{\Delta E}{E_{sp}} \cdot 100\%, \quad (51)$$

где ΔE —изменение напряжения;

E_{20} — напряжение при градуировке.

При питании газоанализаторов от сети принимаются специальные меры для подачи к прибору неизменного напряжения (трансформаторы с насыщенным сердечником, барреты и т. д.).

3. Изменение скорости просасывания газа

Скоростью прохождения газа через камеру определяется количество тепла, уносимого с газом. Унос тепла газом вызывает дополнительное охлаждение нагревательного элемента — платиновой проволоки.

Для определения теплосодержания выходящего из измерительной камеры газа нужно знать его среднюю температуру. Если разбить сечение камеры на ряд концентрических колец с площадями f_1, f_2 и т. д. и обозначить температуры в этих сечениях соответственно t_1, t_2 и т. д., то средняя температура газа может быть выражена через

$$t_m = \frac{t_1 f_1 + t_2 f_2 + \dots + t_n f_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n},$$

так как

$$f_1 + f_2 + \dots + f_n = F,$$

где F — сечение камеры,
то

$$t_m = \frac{t_1 f_1 + t_2 f_2 + \dots + t_n f_n}{F}, \quad (52)$$

или

$$t_m = \frac{\Sigma t f}{F}. \quad (53)$$

Для передачи тепла через кольцевое сечение имеется следующее выражение (см. гл. VIII—5).

$$Q = 2\pi\lambda \frac{t_1 - t_2}{\ln \frac{r_2}{r_1}},$$

откуда

$$t_1 - t_2 = \frac{Q}{2\pi\lambda} \ln \frac{r_2}{r_1}.$$

Из граничных условий ($t_1 = 110^\circ$, $t_2 = 20^\circ$, $r_1 = 0,02$, $r_2 = 5,0$) определяем значение коэффициента $\frac{Q}{2\pi\lambda}$

$$\frac{Q}{2\pi\lambda} = \frac{110 - 20}{\ln \frac{5}{0,02}} = \frac{90}{5,52} = 16,3.$$

Для любого кольцевого сечения мы можем определить температуру, которая будет равна

$$t_n = t_{n-1} - 16,3 \ln \frac{r_n}{r_{n-1}}.$$

При достаточно большом числе сечений средняя температура в каждом сечении может быть принята равной средней арифметической температуре:

$$t = \frac{t_n + t_{n-1}}{2}$$

Разбиваем камеру газоанализатора на 10 кольцевых сечений и определяем для каждого сечения величины t и f . Результаты подсчета приведены в табл. 4.

Таблица 4

r	t_n	t	πr^2	f $\pi (r_n^2 - r_{n-1}^2)$	tf
0,02	110	—	—	—	—
0,5	57,5	78,0	0,785	0,785	61
1,0	46,2	51,8	3,14	2,355	122
1,5	39,6	42,9	7,08	3,94	169
2,0	34,9	36,7	12,55	5,47	200
2,5	31,2	33,0	19,65	7,10	234
3,0	28,2	29,7	28,30	8,65	257
3,5	25,7	27,0	38,5	10,2	275
4,0	23,5	24,6	50,4	11,9	293
4,5	21,7	22,5	63,8	13,4	301
5,0	20,0	20,8	78,5	14,7	306
$F = \Sigma f$				78,5	
Σtf					2218

Средняя температура газа в камере

$$t_m = \frac{\Sigma tf}{F} = \frac{2218}{78,5} = 28,3^\circ.$$

Характер распределения температур по сечению изображен на фиг. 54. Из результатов подсчета следует, что, несмотря на высокую температуру нити, газ в камере газоанализатора нагревается незначительно. Количество тепла, уносимое газом:

$$Q_{сек} = V_{сек} c (t_m - t_a) \text{ кал/сек} \quad (54)$$

Скорость прохождения газа через камеру определяется допустимой инерцией прибора.

Для рассмотренного в главе VIII—5 случая мы имели следующие размеры камеры:

$$D = 1,0 \text{ см},$$

$$l = 12,0 \text{ см}.$$

Объем камеры

$$\frac{\pi D^2}{4} l = \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} 12 = 9,4 \text{ см}^3.$$

Если исходить из времени допустимой инерции, равного одной минуте, и необходимости двукратного обмена газа в камере за этот

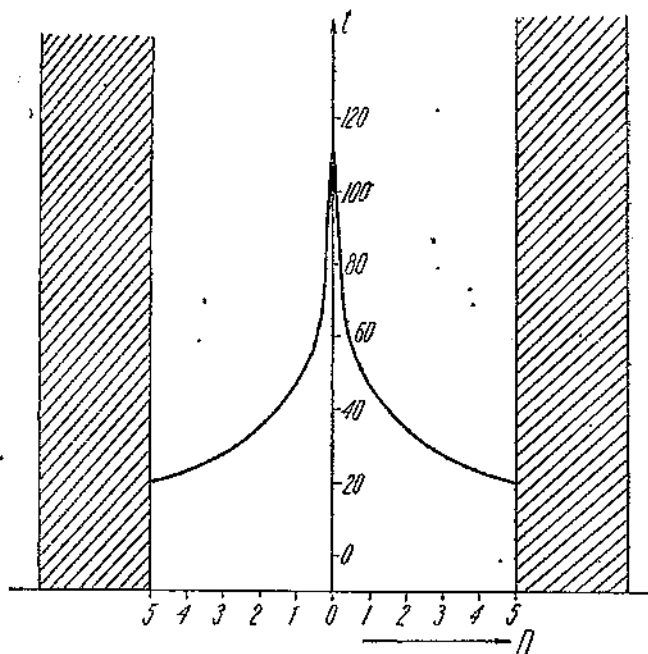
промежуток, то секундный объем газа, проходящий через камеру, составит

$$V_{сек} = \frac{9,4 \cdot 2}{60 \cdot 1000} = 0,000314 \text{ л.}$$

Средняя теплоемкость газа $c = 0,3$.

Следовательно,

$$Q_{сек} = 0,000314 \cdot 0,3 (28,3 - 20) = 0,00078 \text{ кал/сек.}$$



Фиг. 54. Распределение температуры в камере.

Выше (глава VIII-5) все количество тепла, выделяемое проволокой в камере, было определено равным 0,07 кал/сек.

Следовательно, уносимое с газом тепло в указанном случае составит:

$$\frac{0,00078}{0,07} 100 = 1,1\%.$$

Эта величина определяет влияние колебаний скорости прохождения газа через измерительную камеру на ошибку в показаниях прибора и указывает на то, что погрешность для приведенных скоростей невелика.

4. Колебания влажности газа

Колебания влажности газа обуславливаются неравномерностью температуры газа, поступающего в измерительные камеры, так как анализируемый газ, освобожденный от части водяных паров в холодильнике, поступает в камеры насыщенным.

Рассмотрим два случая:

- а) эталонный газ имеет постоянную абсолютную влажность или, что приводит к тому же результату, осушен и не содержит влаги;
 б) эталонный газ насыщен водяными парами при той же температуре, как и анализируемый газ, т. е. оба газа всегда имеют относительную влажность 100%.

В качестве примера возьмем газоанализатор на CO_2 , рассчитанный нами выше.

По уравнению (48)

$$i_r = K_1 (\Delta T_2 - \Delta T_1),$$

но

$$\Delta T_1 = \frac{K}{\lambda_{\text{возд}}}$$

и

$$\Delta T_2 = \frac{K}{\lambda_{\text{см}}}$$

Подставляя значения ΔT_1 и ΔT_2 , имеем:

$$i_2 = K_1 K \left(\frac{1}{\lambda_{\text{см}}} - \frac{1}{\lambda_{\text{возд}}} \right)$$

или

$$i_2 = K_2 \frac{\lambda_{\text{возд}} - \lambda_{\text{см}}}{\lambda_{\text{возд}} \cdot \lambda_{\text{см}}}, \quad (55)$$

где $K_2 = K_1 K$.

Задаемся возможными температурами поступающего газа:

$$t_1 = 20^\circ; \quad t_2 = 30^\circ.$$

Соответствующие упругости водяного пара и абсолютные влажности газа в объемных процентах составят:

$$P_1 = 17,535 \text{ мм рт. ст.}, \quad W_1 = \frac{17,535}{760} 100 = 2,3\%;$$

$$P_2 = 31,824 \text{ мм рт. ст.}, \quad W_2 = \frac{31,824}{760} 100 = 4,2\%.$$

Случай а. $\lambda_{\text{возд}} = 1,0$.

$$\text{Для } \text{CO}_2 = 20\% \quad \lambda_{1\text{см}} = 0,92 \frac{97,7}{100} + 1,35 \frac{2,3}{100} = 0,929;$$

$$\lambda_{2\text{см}} = 0,92 \frac{95,8}{100} + 1,35 \frac{4,2}{100} = 0,938.$$

Изменение диагонального тока в данном случае:

$$\Delta i_r = K_2 \frac{\lambda_{2\text{см}} - \lambda_{1\text{см}}}{\lambda_{\text{возд}} \cdot \lambda_{1\text{см}}}.$$

Относительная погрешность:

$$f_r = \frac{\lambda_{2\text{см}} - \lambda_{1\text{см}}}{\lambda_{\text{возд}} - \lambda_{1\text{см}}} 100\%; \quad (56)$$

$$f_r = \frac{0,938 - 0,929}{1,0 - 0,929} 100 = 12,7\%,$$

т. е. абсолютная погрешность при шкале 0—20% составит 2,5%, что недопустимо.

С л у ч а й б. Здесь изменение силы тока в гальванометре составит:

$$\Delta i_2 = K_2 \frac{(\lambda_{2\text{возд}} - \lambda_{1\text{возд}}) - (\lambda_{2\text{см}} - \lambda_{1\text{см}})}{\lambda_{\text{возд}} - \lambda_{\text{см}}},$$

$$f_r = \frac{(\lambda_{2\text{возд}} - \lambda_{1\text{возд}}) - (\lambda_{2\text{см}} - \lambda_{1\text{см}})}{\lambda_{\text{возд}} - \lambda_{\text{см}}} \cdot 100\%. \quad (57)$$

При $t = 20^\circ$ $\lambda_{1\text{возд}} = 1,0 \frac{97,7}{100} + 1,35 \frac{2,3}{100} = 1,008.$

При $t = 30^\circ$ $\lambda_{2\text{возд}} = 1,0 \frac{95,8}{100} + 1,35 \frac{4,2}{100} = 1,015.$

$$f_r = \frac{(1,015 - 1,008) - (0,938 - 0,929)}{1,008 - 0,929} 100 = 2,5\%.$$

Полученному значению f_r соответствует при 20-проц. шкале $f_a = 0,5\%$ CO_2 , что находится в пределах допустимой погрешности.

Такой результат может быть достигнут включением прибора по схеме, изображенной на фиг. 55, при соблюдении двух условий:

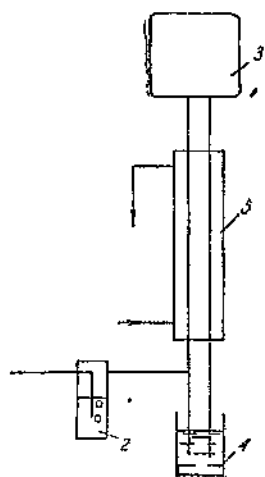
1) точка росы для анализируемого газа должна быть выше температуры воды в холодильнике;

2) температура воды в увлажнителе воздуха должна быть выше температуры воды в холодильнике.

Конструкции эталонных камер с постоянным увлажнением в них воздуха при помощи, например, фитиля весьма несовершенны, так как абсолютные влажности воздуха и газа будут различны. Погрешность здесь определяется разностью температур газового холодильника и воздушной камеры.

Значительно возрастает погрешность за счет влажности при анализе газовых смесей с высокой теплопроводностью, богатых водородом.

При анализе таких газов рекомендуется полностью осушать газ перед поступлением в прибор.



Фиг. 55. Схема установки для увлажнения воздуха. 1—вход газа; 2—увлажнитель; 3—датчик; 4—сборник конденсата; 5—холодильник.

5. Колебания соотношения между компонентами газовой смеси

Строго говоря, метод теплопроводности пригоден для бинарных газовых смесей. К многокомпонентным смесям метод приложим при условии равенства теплопроводностей всех компонентов, за исключением анализируемого, или при неизменных соотношениях этих компонентов.

Такая многокомпонентная смесь, как дымовые газы, при полном сгорании содержат CO_2 , O_2 и N_2 (не считая водяных паров, влияние которых рассмотрено выше). Теплопроводности O_2 и N_2 почти

совпадают, и поэтому определение CO_2 может производиться достаточно точно.

При неполном сгорании в газовой смеси могут появляться CO , H_2 , а также различные углеводороды.

Теплопроводность по отношению к воздуху или, что то же, к N_2 для CO — 0,96; H_2 — 7,00; CH_4 — 1,26.

Эти цифры показывают, что при наличии CO , CH_4 и особенно H_2 показания газоанализатора на CO_2 будут искажены.

Если при содержании CO_2 — 20% $\lambda_{см} = 0,92$, то при добавлении 1% H_2 , при том же содержании CO_2 , теплопроводность составит

$$\lambda_{см} = 1 \cdot \frac{79}{100} + 7 \cdot \frac{1}{100} + 0,59 \frac{20}{100} = 0,968.$$

Теплопроводность $\lambda_{см}$ соответствует содержанию CO_2 в смеси в количестве $P\%$, определяемому из уравнения:

$$\lambda_{см} = 1 \frac{100 - P}{100} + 0,59 \frac{P}{100} = 0,968,$$

$$\text{откуда } P = \frac{1 - \lambda_{см}}{0,41} 100 = \frac{1 - 0,968}{0,41} 100 = 7,8\%.$$

Относительная погрешность при этом:

$$f_r = \frac{20 - 7,8}{20} 100 = 61\%,$$

т. е. показания прибора совершенно обесцениваются.

При наличии наряду с датчиком CO_2 также датчика на $\text{CO} + \text{H}_2$, внесение коррективов по показаниям последнего затруднено, из за непостоянства отношения $\frac{\text{H}_2}{\text{CO} + \text{H}_2}$ в продуктах неполного сгорания. Не-

большая ошибка в определении величины $\frac{\text{H}_2}{\text{CO} + \text{H}_2}$ очень сильно скажется на величине поправки к CO_2 .

При анализе на CO_2 топочных газов, содержащих продукты неполного сгорания, целесообразно перед впуском газа в камеру CO_2 сжигать H_2 и CO в специальной печи. При этом содержание CO_2 увеличится за счет сгоревшего CO , что может быть скорректировано при наличии датчика на $\text{CO} + \text{H}_2$ вычитанием из наблюдаемых показаний величины $\text{CO} + \text{H}_2 \left(\frac{\text{CO}}{\text{CO} + \text{H}_2} - \text{CO} \right)$. В этом случае несовпадение значения коэффициента для данного момента со средним значением скажется незначительно.

6. Дифференциальное измерение теплопроводности

Область применения газоанализаторов, основанных на определении теплопроводности, может быть несколько расширена использованием дифференциального метода. Имеется в виду применение в качестве эталонного — анализируемого газа, из которого путем абсорбции или сжигания удален компонент, подлежащий определению.

Схема такого прибора изображена на фиг. 56.

Если рассмотреть в качестве примера определение CO_2 в присутствии водорода, то относительная погрешность за счет изменения содержания H_2 при измерении по дифференциальной схеме может быть определена из следующего выражения:

$$f_r = \left(1 - \frac{\lambda_s \lambda'_s}{\lambda'_s \lambda'_s} \cdot \frac{\lambda'_s - \lambda'_s}{\lambda_s - \lambda_s} \right) 100\%. \quad (58)$$

Для дымового газа с содержанием CO_2 20% без H_2

$$\lambda_s = 0,59 \frac{20}{100} + 1 \frac{80}{100} = 0,918;$$

то же с содержанием 1% H_2 :

$$\lambda'_s = 0,59 \frac{20}{100} + 1 \frac{79}{100} + 7 \frac{1}{100} = 0,978;$$

для дымового газа без H_2 , освобожденного от CO_2 ,

$$\lambda_s = 1;$$

для дымового газа с 1% H_2 , освобожденного от CO_2 ,

$$\lambda'_s = \frac{1 \cdot 79 + 7 \cdot 1}{80} = 1,075.$$

Подставляя приведенные значения, получим:

$$f_r = \left(1 - \frac{0,918 \cdot 1}{0,978 \cdot 1,075} \cdot \frac{1,075 - 0,978}{1 - 0,918} \right) 100 = 3,5\%.$$

т. е. результат достаточно удовлетворительный.

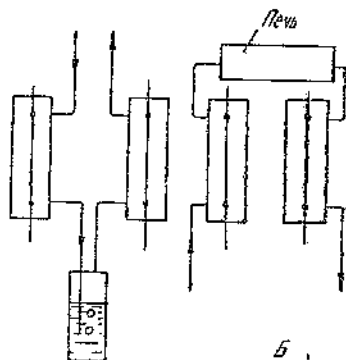
7. Газоанализатор на кислород

Чрезвычайно важное значение имеет определение дифференциальным методом содержания кислорода, так как непосредственное измерение содержания O_2 по теплопроводности в присутствии, например, азота невозможно.

Метод основан на сжигании кислорода водородом, который должен находиться в избытке. Если в анализируемом газе нет водорода или содержание его недостаточно, добавляют водород из специально устанавливаемого при датчике электролизера.

Для оценки возможной чувствительности метода и погрешности измерения определим влияние содержания водорода в исходной смеси на величину τ . Предположим, что анализируемый газ состоит из смеси кислорода с азотом. Содержание кислорода в анализируемом газе обозначим через p %; содержание анализируемого газа в смеси газа с водородом — q %.

Мы можем определить состав и теплопроводность газовой смеси до и после сгорания (считая, что образовавшаяся влага удаляется полностью).



Фиг. 56. Схема дифференциального включения электрических газоанализаторов.

Газ до сжигания (в эталонной камере):

	Содержание (в %)	Парциальная теплопроводность
O_2	$\frac{pq}{100}$	$\frac{pq}{100}$
N_2	$\frac{100-p}{100} q$	$\frac{100-p}{100} q$
H_2	$100-q$	$700-7q$

Объем газа 100

Теплопроводность смеси $\lambda_p = \frac{700-6p}{100} p$.

Газ после сжигания:

	Содержание (в %)	Парциальная теплопроводность
N_2	$\frac{100-p}{100} q$	$\frac{100-p}{100} q$
H_2	$100-q-\frac{2pq}{100}$	$700-7q-\frac{14pq}{100}$

Объем газа $100 - 0,03pq$.

Теплопроводность смеси $\lambda_p = \frac{700-6q-0,15pq}{100-0,03pq}$.

Разность температур в камерах может быть определена из уравнения

$$\tau = K \left(\frac{1}{\lambda_p} - \frac{1}{\lambda_s} \right),$$

где $K = \Delta T_1 \lambda_s$.

Задаемся, как обычно, градуировочным значением $\Delta T_1 = 90^\circ$, λ_s —величина переменная, зависящая от p .

$$\lambda_s = \frac{700-6q}{100}$$

Определяем величины λ_s и K для значений q .

q	λ_s	K
20	5,8	522
50	4,0	360
80	2,2	198

Пользуясь полученными значениями K , определяем τ для газоанализатора со шкалой 0—10% O_2 .

В этом случае

$$\lambda_p = \frac{700-7,5q}{100-0,3q},$$

следовательно,

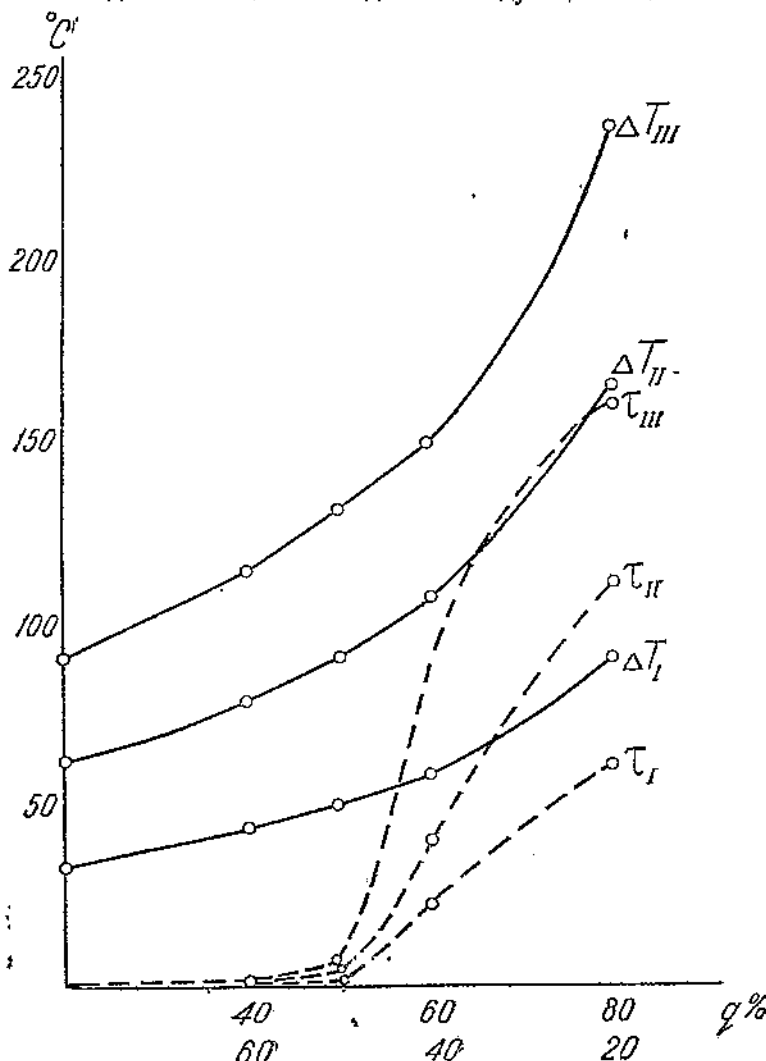
$$\tau = K \left(\frac{100-0,3q}{700-7,5q} - \frac{100}{700-6q} \right). \quad (59)$$

Значения τ для трех значений K (приведенных выше) в зависимости от q , т. е. от содержания водорода в смеси, даны в табл. 5. Там же приведены значения ΔT_1 , т. е. температурного перепада для соответствующих величин q и K . Надо отметить, что в рассматриваемом приборе, в отличие от недифференциальных газоанализаторов, температура в эталонной камере может резко колебаться.

Таблица 5

q	$K=198$		$K=360$		$K=522$	
	τ	ΔT_1	τ	ΔT_1	τ	ΔT_1
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
20	-0,49	33,2	-0,9	62,0	-1,3	90,0
40	+0,59	43,0	+1,1	78,2	+1,6	113,5
50	2,4	49,5	4,3	90,0	6,25	130,5
60	22,0	58,2	39,5	106,0	57,9	153,5
80	60,4	90,0	110,0	163,5	159,0	237,0

Для большей наглядности результаты подсчетов представлены на фиг. 57. Они дают возможность сделать следующие заключения.

Фиг. 57. График зависимости τ от q .

1. Для газовых смесей с большим содержанием водорода, выше 40—50%, метод нечувствителен (значение τ весьма мало).

2. Для газовых смесей с сильно колеблющимся содержанием водорода в результаты анализа вносится значительная погрешность (значение τ резко меняется в зависимости от q).

3. Для газовых смесей, не содержащих водорода, подачу последнего нужно осуществлять в строго постоянной пропорции в количестве, немного превышающем теоретически необходимое при максимальном значении шкалы по кислороду.

Глава X

ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ТЕПЛОВОМ ЭФФЕКТЕ СГОРАНИЯ

1. Теоретическое обоснование метода

Анализ основан на измерении повышения температуры при сгорании анализируемого компонента.

Условимся, что в реакции участвует:

a_1 молей вещества с молекулярным весом m_1 и

a_2 » » » » m_2 ;

в результате реакции получается a' молей вещества с молекулярным весом m' .

Кроме того, в газе имеется a_0 молей вещества с молекулярным весом m_0 , не участвующих в реакции сгорания.

Если обозначить полноту реакции через α %, то уравнение материального баланса будет:

$$\frac{\alpha}{100} (a_1 m_1 + a_2 m_2) + a_0 m_0 = \frac{\alpha}{100} a' m' + \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right) (a_1 m_1 + a_2 m_2) + a_0 m_0. \quad (60)$$

Считая, что теплота сгорания вещества с молекулярным весом m_1 составляет Q кал/моль, количество выделившегося тепла составит

$$\frac{\alpha}{100} a_1 Q.$$

При потерях в окружающую среду β % на подогрев газов израсходуется

$$\frac{\alpha}{100} a_1 Q \left(1 - \frac{\beta}{100}\right).$$

Уравнение теплового баланса:

$$\frac{\alpha}{100} a_1 Q \left(1 - \frac{\beta}{100}\right) = \left[\frac{\alpha}{100} a' m' c' + \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right) (a_1 m_1 c_1 + a_2 m_2 c_2) + a_0 m_0 c_0 \right] \Delta T \quad (61)$$

(здесь c_1 , c_2 , c_0 , c' — соответствующие весовые теплоемкости).

Следовательно, повышение температуры

$$\Delta T = \frac{\frac{\alpha}{100} a_1 Q \left(1 - \frac{\beta}{100}\right)}{\frac{\alpha}{100} a' m' c' + \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right) (a_1 m_1 c_1 + a_2 m_2 c_2) + a_0 m_0 c_0} \quad (62)$$

При малых концентрациях анализируемого компонента выражение для ΔT можно упростить и одновременно, заменив весовые теплоемкости молярными, написать его в следующем виде:

$$\Delta T = \frac{\frac{\alpha}{100} a_1 Q \left(1 - \frac{\beta}{100}\right)}{a' C' + a_0 C_0}, \quad (63)$$

где $C' = m'c'$; $C_0 = m_0 c_0$.

Наличие в уравнении (63) коэффициентов α и β , характерных для каждой конструкции измерительной камеры и для условий протекания реакции окисления, устраняет возможность точного расчета прибора. Это обстоятельство является существенным дефектом метода измерения. Более того, в некоторых случаях возможно уменьшение коэффициента α во время эксплуатации прибора за счет падения активности катализатора.

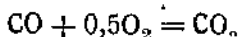
В целях устранения влияния этого фактора, например в газоанализаторе ГЭД, имеется специальное корректирующее устройство, описанное ниже.

2. Расчет газоанализатора

Для характеристики чувствительности метода произведем примерный расчет температурного перепада, возникающего при сгорании анализируемого компонента.

Рассмотрим прибор на СО со шкалой 0—1%.

Реакция сгорания СО



сопровождается выделением тепла в количестве 68000 Кал/моль.

Имеем:

$$\begin{aligned} a_1 &= 1, \\ a' &= 1, & C' &= 9,19, \\ a_0 &= 99, & C_0 &= 7,01. \end{aligned}$$

Задаемся: $\alpha = 75\%$, $\beta = 50\%$,

тогда:

$$\Delta T = \frac{\frac{75}{100} \cdot 1 \cdot 68000 \cdot \left(1 - \frac{50}{100}\right)}{1 \cdot 9,19 + 99 \cdot 7,01} = 36^\circ.$$

Как видно из полученного результата, данный метод является более чувствительным, чем рассмотренный выше метод измерения теплопроводности.

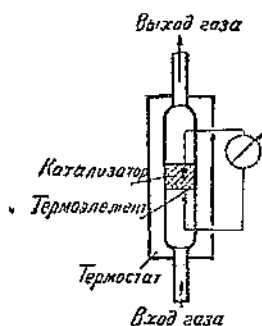
Так как схемы определения температурного перепада позволяют сузить диапазон измерения до 2—3°, то газоанализатор может быть выполнен со шкалой порядка 0—0,1%.

При этом необходимо отметить, что в ряде случаев снижение диапазона измерения ограничивается погрешностью за счет нестабильности коэффициентов α и β . Коэффициент α может меняться, как было упомянуто, за счет отравления катализатора и также вследствие колебаний скорости прохождения газа через камеру. Коэффициент β зависит также от скорости прохождения газа, от температуры окружающей среды и от теплопроводности газовой смеси. Так, например, при определении O_2 в азото-водородной смеси показания газоанализатора в значительной степени будут зависеть от отношения $H_2 : N_2$ в смеси.

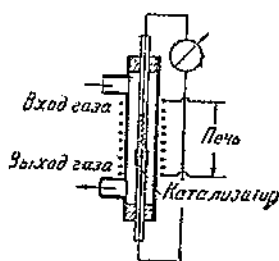
3. Характеристика конструкции измерительных камер

1. Конструкция американского горного бюро (фиг. 58).

а) Источник нагрева внешний. Камера помещена в термостат.



Фиг. 58. Камера Американского горного бюро.



Фиг. 59. Камера Гмелина.

б) Весь газ проходит через слой катализатора.

в) Разность температур в камере измеряется термобатареей.

2. Конструкция Гмелина (фиг. 59).

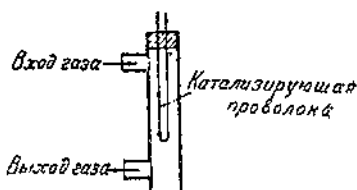
а) Источник нагрева внешний. Камера помещена в электрической печи.

б) Катализатор омывается газом.

в) Разность температур измеряется термобатареей, вложенной в трубку, на которую нанесен тонкий слой катализатора.

3. Конструкция Сименса (фиг. 60).

Все три функции осуществляются платиновой проволокой, натянутой в измерительной камере. Эта проволока служит одновременно источником нагрева газа до температуры горения, катализатором и плечом измерительного моста термометра сопротивления.



Фиг. 60. Камера Сименса.

Глава XI

КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ

1. Газоанализатор Сименса

Принципиальные схемы датчиков CO_2 , основанных на теплопроводности, и датчиков $CO + H_2$, основанных на тепловом эффекте сгорания, приведены выше (см. фиг. 52 и 60).

Оба моста питаются от одного источника питания напряжением 6 в. Сопротивление моста CO_2 составляет 15 ом, сопротивление моста

$\text{CO} + \text{H}_2$ вдвое меньше и составляет 7,5 ом. Следовательно, сила тока, протекающего в цепи моста CO_2 , будет

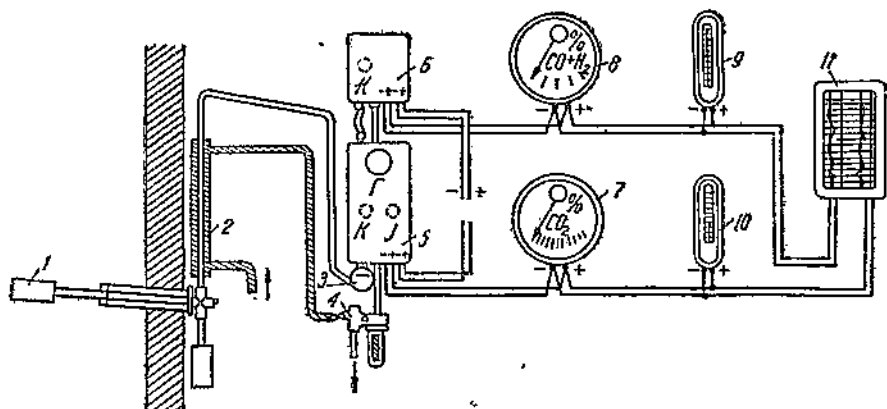
$$i_0 = \frac{6}{15} = 0,4 \text{ ом},$$

цепи моста $\text{CO} + \text{H}_2$

$$i_0 = \frac{6}{7,5} = 0,8 \text{ а.}$$

Такое соотношение токов обеспечивает нужные температуры проволочек, а именно, около 100° в камерах CO_2 и около $400-450^\circ$ в камере $\text{CO} + \text{H}_2$.

Питание газоанализаторов Сименса осуществляется от аккумуляторных батарей или от сети переменного тока через катодный выпрямитель.



Фиг. 61. Монтажная схема газоанализатора Сименса. 1 — газозаборная трубка; 2 — холодильник; 3 — контрольный фильтр; 4 — эжектор с контрольным манометром; 5 — датчик CO_2 ; 6 — датчик $\text{CO}_2 + \text{H}_2$; 7 — указатель CO_2 ; 8 — указатель $\text{CO} + \text{H}_2$; 9, 10 — электролитические счетчики CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$; 11 — самонастраивающийся гальванометр — регистратор CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$; Г — миллиамперметр; J — реостат для регулирования силы тока; К — реостаты для установки нуля на вторичных приборах.

Монтажная схема газоанализатора Сименса изображена на фиг. 61. Эжектор предназначен для просасывания газа через датчик. Для проверки, разрежения, создаваемого эжектором, служит контрольный манометр. Эжектор обеспечивает прохождение газа через датчики со скоростью около $300 \text{ см}^3/\text{мин.}$ Перед входом газа в камеры датчика установлен газовый дроссель.

2. Основные правила монтажа газоанализаторов Сименса

1. Газозаборная трубка с керамическим фильтром 1 должна быть установлена с уклоном к конденсационному горшку 3 под углом не менее 20° .

2. Расстояние датчиков от места забора газа не должно превышать 3—5 м, с тем, чтобы запаздывание показаний газоанализатора не было более двух минут. Диаметр газоподводящих труб должен быть не более $\frac{1}{4}$ дюйма.

3. Все газовые линии должны прокладываться с уклоном и не должны иметь водяных мешков.

4. Напор воды должен быть постоянным и не менее 5 м, т. е. 0,5 ат, для постоянства напора рекомендуется установка водонапорного бачка.

5. Вода для охлаждения должна быть свободной от механических примесей, и, в случае необходимости, должен быть установлен водяной фильтр.

6. Место установки датчиков, указателей и регистраторов должно иметь температуру, не превышающую нормально 30—35° и максимум 45°.

7. Эжекторный насос 4 должен устанавливаться на 250—300 мм ниже датчика CO_2 .

8. Провода для соединения электрических газоанализаторов применяются только с резиновой изоляцией и сечением не менее 1,5—2,5 мм.

9. Электрическое сопротивление проводов от датчиков CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$ до указателей не должно превышать 1 ом. Сопротивление проводов от указателей до регистраторов не должно превышать 4 ом при регистраторе на две кривых и 16 ом при регистраторе на шесть кривых. Сопротивление изоляции проводов — провод к проводу и провод к земле — должно быть не ниже 3 мгом при испытании индуктором напряжением 250 в. Холодные пайки не допускаются, и пайки вообще не рекомендуются. Винты на зажимах должны быть плотно зажаты во избежание переменного переходного сопротивления. Включение прибора должно быть выполнено по схеме.

3. Правила включения электрических газоанализаторов Сименса

CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$ (см. фиг. 61)

1. Прежде чем включить газоанализатор, необходимо предварительно нагреть керамический фильтр и подтянуть его зажимную гайку в горячем состоянии.

2. В манометр эжекторного насоса 4 вливается вода до верхнего деления.

3. Производится испытание газовой линии на плотность следующим путем: закрывают краны перед холодильником и перед эжектором и создают разрежение на манометре приблизительно 5—6 см. Затем закрывают пальцем сопло у датчика $\text{CO} + \text{H}_2$ и одновременно закрывают кран холодильника 2. Созданное на манометре разрежение должно в этом случае удерживаться на установленной величине и не должно падать. Если разрежение на манометре не падает, это значит, что линия плотна (допускается падение разрежения максимально на 1 см в минуту).

При неплотности линии все соединения необходимо подтянуть, а если все же наблюдается падение разрежения, то линия проверяется участками.

После уплотнения линии открывают кран трубки 7, снимают конденсационный горшок 3 и открытием крана эжектора создают разрежение на манометре равное 2 см, тем самым включая передатчики на воздух. Далее проверяются и устанавливаются механические нулевые точки указателей и регистратора.

После установки механических нулевых точек включается электрический ток, с обязательной предварительной проверкой схемы включения, а также сопротивления изоляции проводов и их целостности. После включения тока регулируется сила тока реостатом I (установка стрелки миллиамперметра I на красную черту) и затем реостатами K устанавливаются электрические нулевые точки указателей. После этого включается газ подвешиванием конденсационного горшка и заливанием его водой

ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ СИМЕНСА

1. Ежедневно контролировать разрежение на манометре эжектора 4 и силу тока по контрольному миллиамперметру G .

2. Ежедневно проверять нулевые точки приборов, удаляя конденсационный сосуд и просасывая через приборы воздух.

Проверять сопло для добавочного воздуха.

3. Ежемесячно продувать керамический фильтр сжатым воздухом или паром давлением не более 0,5 ат.

Проверять герметичность газовой линии.

Промывать охладитель горячей водой.

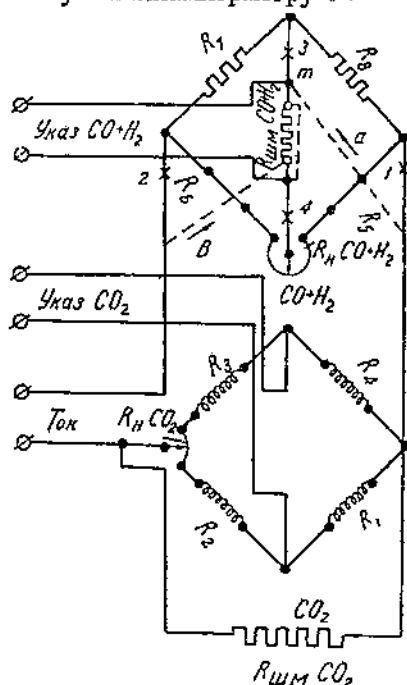
4. Газоанализаторы ГЛ-2

Газоанализаторы ГЛ-2 работают на переменном или на постоянном токе. Принцип действия этих газоанализаторов не отличается от принципа действия газоанализатора Сименса.

Схема измерений газоанализатора ГЛ-2 также представляет мостик Уитстона, но имеет несколько другую компоновку по сравнению с газоанализатором Сименса. Оба датчика CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$ у газоанализаторов ГЛ-2 собраны в одном общем корпусе.

Принципиальная схема газоанализатора ГЛ-2 приведена на фиг. 62.

Пунктирными линиями A и B обозначено выключение датчика $\text{CO} + \text{H}_2$, в случае его порчи (для того чтобы датчик CO_2 продолжал работать). Для этого верхние зажимы датчика соединяются с указателем $\text{CO} + \text{H}_2$, средние зажимы — с указателем CO_2 и нижние зажимы — с источником тока.



Фиг. 62. Принципиальная схема ГЛ-2. R_1, R_2, R_3, R_4 — сопротивления ветвей моста, служащего для анализа CO_2 ; R_5, R_6 — сопротивления ветвей моста, служащего для анализа $\text{CO} + \text{H}_2$; R_7, R_8 — постоянные сопротивления ветвей моста $\text{CO} + \text{H}_2$; $R_{\text{шм}} \text{CO}_2$ — шунтирующее сопротивление датчика CO_2 ; $R_{\text{шм}} \text{CO} + \text{H}_2$ — шунтирующее сопротивление гальванометра датчика $\text{CO} + \text{H}_2$; $R_{\text{н}} \text{CO} + \text{H}_2$ — реостат для установки указателя $\text{CO} + \text{H}_2$ на нулевой точке; $R_{\text{н}} \text{CO}_2$ — реостат для установки указателя CO_2 на нулевой точке.

В этом случае указатель $\text{CO} + \text{H}_2$ используется как указатель силы тока питательного моста.

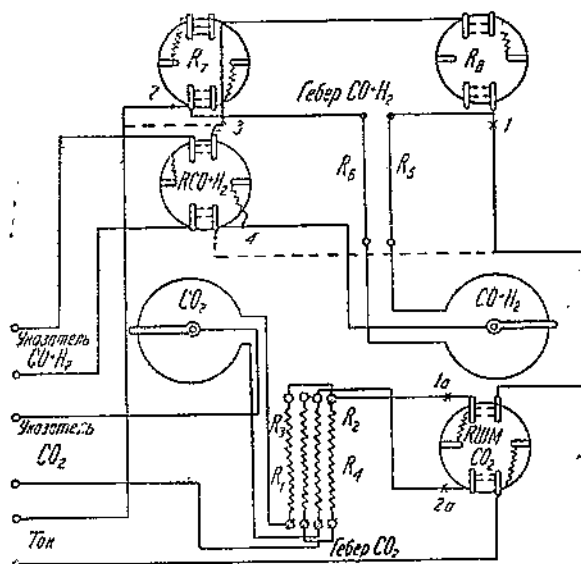
Источником тока для питания газоанализатора ГЛ-2 переменного тока является трансформатор напряжения.

Напряжение переменного тока во вторичной обмотке составляет

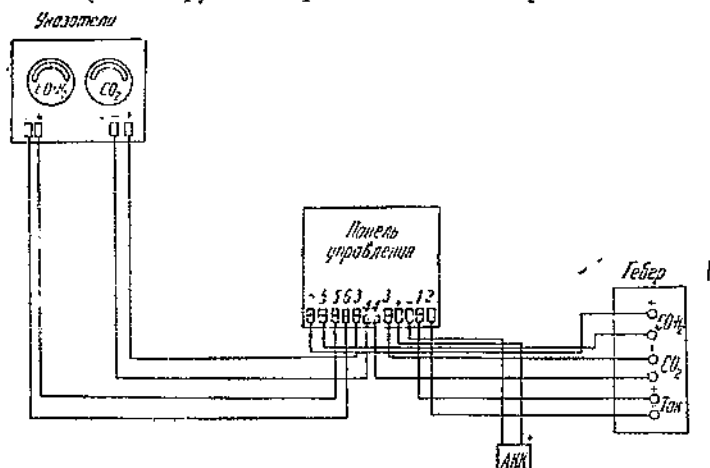
10 в. Для питания газоанализатора постоянного тока применяются аккумуляторы или источник сетевого питания, состоящий из трансформатора и купроксного выпрямителя.

Монтажная схема датчика CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$ газоанализатора ГЛ-2 изображена на фиг. 63. Газоанализатор состоит из датчиков CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$ (в одном корпусе); панели управления; указателя типа ГНЗС или ПГУ со шкалой 0—20% CO_2 ; указателя типа

ПГУ (профильного) со шкалой 0—5% $\text{CO} + \text{H}_2$; источника сетевого питания. Для просасывания газа через датчики применяется водяной насос (эжектор) с контрольным манометром.



Фиг. 63. Монтажная схема ГЛ-2.



Фиг. 64. Электрическая схема включения ГЛ-2 на постоянном токе.

Электрическая схема включения газоанализатора ГЛ-2 (на постоянном токе) изображена на фиг. 64. Монтажная схема датчика пока-

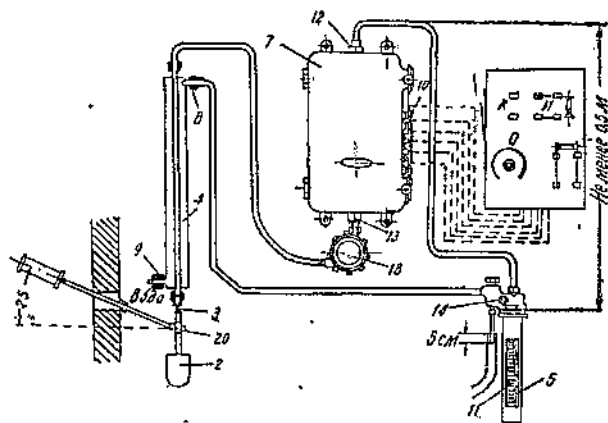
зана на фиг. 65. Газ засасывается через газозаборную трубку с керамическим фильтром. Водяные пары конденсируются в холодильнике, а конденсат удаляется через конденсационный горшок. Перед поступлением в датчик, газ проходит через контрольный ватный фильтр.

Газоанализатор ГЛ-2 обладает рядом существенных недостатков. К ним относятся:

1) искажение результатов анализа на CO_2 в присутствии H_2 в газовой смеси;

2) невозможность корректировки показаний датчика $\text{CO} + \text{H}_2$ при падении каталитической активности нити;

3) влияния на определение CO_2 переменной абсолютной влажности газа при колебаниях температуры охлаждающей воды.

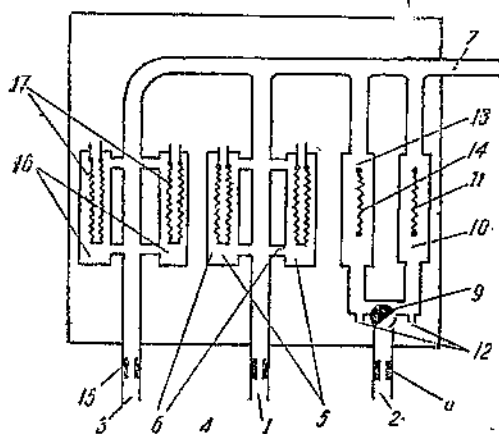


Фиг. 65. Монтажная схема датчика.

5. Газоанализатор ГЭД

а) ГАЗОВАЯ СХЕМА ПРИБОРА

На фиг. 66 изображена газовая схема датчика. Анализируемый газ поступает в трубки 1 и 2. Анализируемый газ, поступающий в



Фиг. 66. Газовая схема датчика ГЭД.

трубку 1, входит через дроссель 4 и шунтовым потоком проходит в газовые измерительные камеры 5 датчика CO_2 , омывает плечи 6 моста Уитстона и входит в общую отводящую трубку 7, подключенную к тяговому устройству газоанализаторной установки.

Анализируемый газ, поступающий в трубку 2, проходит через дроссель 8, кран 9, при помощи которого может быть подан в любую из камер датчика, попадает в камеру 10, омывает плечо 11 моста Уитстона датчика $\text{CO} + \text{H}_2$ и выходит через отводя-

щую трубку 7. К анализируемому газу до поступления его в измерительную камеру датчика $\text{CO} + \text{H}_2$ через дроссель 12 добавляется воз-

дух из атмосферы для обеспечения полного дожигания $\text{CO} + \text{H}_2$ на плече моста Уитстона. Через дроссель 14 второй измерительной камеры 13 поступает воздух, омывает эталонное плечо 14 моста Уитстона датчика $\text{CO} + \text{H}_2$ и выходит в отводящую трубку 7. В трубку 3 поступает воздух из окружающей атмосферы, проходит через дроссель 15 и шунтовым потоком поступает в эталонные измерительные камеры 16 датчика CO_2 , омывает плечи 17 моста Уитстона и выходит в отводящую трубку 7.

Газовая смесь, поступающая для анализа в датчик CO_2 , в случае наличия в ней водорода должна быть предварительно от него очищена.

Для этой цели в схеме газоанализаторной установки предусмотрена электропечь, в которой производится дожигание содержащегося в смеси водорода.

б) ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА

На фиг. 67 изображена электрическая схема прибора. Схема разбита на отдельные участки, обведенные пунктирными линиями таким образом, что каждый отдельный участок представляет собой отдельные элементы газоанализатора, в которых находится данная часть схемы.

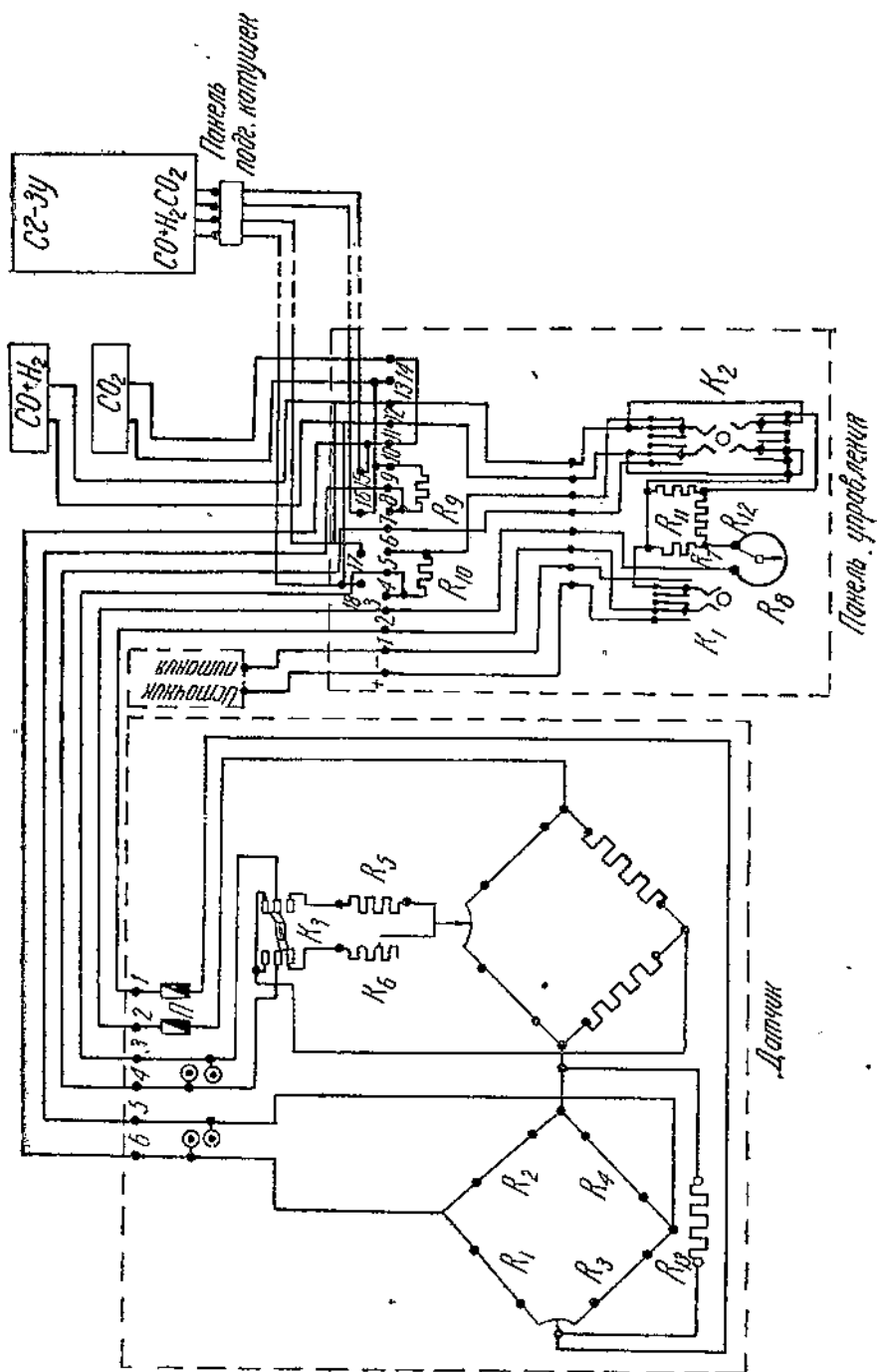
Цепь питания схемы

Источником питания электрической схемы газоанализатора является аккумуляторная батарея с напряжением 12 в или специальное выпрямительное устройство. Провода от источника питания подключаются к контрольным шпилькам панели управления, обозначенным знаками $+$ и $-$, причем провода должны соединять одноименные знаки источника питания и шпилек панели управления. Провода от шпилек $+$ и $-$ подходят к выключателю K_1 , смонтированному в панели управления, затем один из них подается непосредственно к контактной шпильке 1, другой подходит к катушке R_7 и дает через реостат регулировки тока R_8 контактной шпильке 2.

От контактных шпилек 1 и 2 внешней монтажной линией питание подается к винтовым зажимам 1 и 2 панели в корпусе датчиков. В корпусе датчиков ток питания проходит через предохранители Π и далее в схему мостов Уитстона, соединенных между собой последовательно, причем мост Уитстона CO_2 для снижения силы тока питания последнего зашунтирован постоянным сопротивлением R_{10} .

Измерительная диагональ моста Уитстона датчика CO_2 подключена к зажимам 5 и 6 панели, помещенной в корпусе датчиков. Внешней монтажной линией соединяются с контактными шпильками 8 и 10 панели управления. Внутренней монтажной схемой линия от контактной шпильки 8 проходит через подгоночную катушку R_9 , к шпильке 13; линия же 10 соединена со шпилькой 14. Подгоночная катушка R_9 имеет сопротивление 2,0 ом и служит для подгонки сопротивления внешней линии, сопротивление которой от датчика до панели управления плюс сопротивление подгоночной катушки должно быть равно 2,0 ом.

К контактным шпилькам 13 и 14 панели управления подключается внешняя монтажная линия от указывающего прибора на CO_2 и к шпилькам 15 и 16 — внешняя монтажная линия от зажимов CO_2 самопишущего гальванометра.



Фиг. 67. Электрическая схема ГЭД.

Цепь указателя $\text{CO} + \text{H}_2$

Измерительная диагональ моста Уитстона датчика $\text{CO} + \text{H}_2$ подключена к зажимам 3 и 4 панели, помещенной в корпусе датчиков. Один проводник от вершины моста Уитстона подключен через переключатель K_2 к зажиму 3, второй же проводник проходит через градуировочный реостат R_2 (или эталонную катушку R_2 , в зависимости от положения переключателя K_2), переключатель K_2 и к зажиму 4. Зажимы 3 и 4 внешней монтажной схемы соединены с контактными шпильками 4 и 6 панели управления. Внутренней монтажной схемой панели управления контактная шпилька 4 через подгоночную катушку 10 равную 2,0 ом подключена к переключателю K . Контактная шпилька 6 соединена непосредственно с переключателем K_2 . При положении переключателя K_2 на «измерение» линия шпилек 4 и 6 соединяется со шпильками 11 и 12, к которым подключена внешняя монтажная линия от указывающего прибора на $\text{CO} + \text{H}_2$, к шпилькам 18 и 17 подключена внешняя монтажная линия от зажимов $\text{CO} + \text{H}_2$ самопишущего гальванометра.

Цепь контроля тока

Для правильной работы газоанализатора сила тока питания должна быть строго постоянной. Для контроля силы тока питания применена специальная схема, смонтированная в панели управления. При помощи этой схемы на указывающий прибор $\text{CO} + \text{H}_2$ подается напряжение с катушки 11, включенной шунтом в линии питания схемы газоанализатора. При помощи переключателя K_2 , при его положении на «контроль», в цепь указывающего прибора $\text{CO} + \text{H}_2$ и включенного параллельно ему самописца подается напряжение с катушки 11, величина которого при нормальной силе тока соответствует отклонению стрелки прибора на красную черту шкалы. Катушка 12, включенная последовательно с катушкой 11, служит для подгонки отклонения указывающего прибора до красной черты на шкале, при нормальной силе тока питания схемы газоанализатора.

В условиях эксплуатации нормальную силу тока устанавливают по красной черте на шкале указателя $\text{CO} + \text{H}_2$ при помощи реостата регулировки тока 8.

Контроль работы плеча R_1 моста Уитстона датчика $\text{CO} + \text{H}_2$

При каталитическом дожигании $\text{CO} + \text{H}_2$ на катализаторе (плечо R_1) последний постепенно отравляется. Это отравление влечет за собой погрешности в показаниях прибора. В связи с этим конструкцией прибора предусмотрена специальная электрическая и газовая схемы датчика $\text{CO} + \text{H}_2$, при помощи которых устанавливается степень отравления катализатора и производится компенсация изменения показаний прибора вследствие отравления катализатора (уменьшения коэффициента α см. гл. X).

Электрическая схема прибора и компенсация отравления катализатора состоит из переключателя K_2 , изменяющего полярность подключения указывающего прибора и точки $\text{CO} + \text{H}_2$ самописца, регулировочного реостата R_2 и эталонной катушки R_2 , входящих в цепь указывающего прибора.

В газовой схеме предусмотрен кран, при помощи которого анализируемая газовая смесь может быть направлена либо в воздушную, либо в газовую камеры датчика.

При проверке катализатора на отравление переключатель и газовый кран устанавливаются в положение, при котором анализируемая газовая смесь проходит через воздушную камеру датчика, в которой плечо R_2 (см. схему), не было подвергнуто отравляющему действию в результате длительной работы на газовой смеси. В этом случае показания указателя и самописца будут точными (в пределах допустимых погрешностей), и по их показаниям можно произвести компенсацию отравления плеча.

Компенсация отравления производится путем переключения крана и переключателя в положение, при котором анализируемая газовая смесь проходит через газовую камеру датчика с отравленным катализатором. Показания указателя и самописца в этом случае будут занижены.

Для приведения показаний указателя и самописца к величине показаний, полученных при контроле, необходимо изменить сопротивление регулировочного реостата R_3 , включенного последовательно с приборами.

Контроль и компенсация отравления катализатора плеча позволяют увеличить срок службы плеча и получать более точные показания прибора. Корректировка будет верна при неизменном содержании $\text{CO} + \text{H}_2$ в анализируемом газе в течение описанных операций.

Конструкция газоанализатора

Газоанализатор ГЭД-1 состоит из: а) датчиков CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$ в общем корпусе, б) панели управления, в) электроизмерительных приборов и самописца СГ-ЗУ.

Электроизмерительными приборами служат магнито-электрические гальванометры в качестве указывающих и самопишущих приборов.

На шкале указывающего прибора $\text{CO} + \text{H}_2$ нанесена красная черта, по которой устанавливается сила тока питания схемы газоанализатора.

Монтажные схемы газоанализатора ГЭД

Для работы газоанализатора в эксплуатационных условиях необходимо создать нормальные условия. Эти условия создаются при помощи специальной арматуры для газоанализатора.

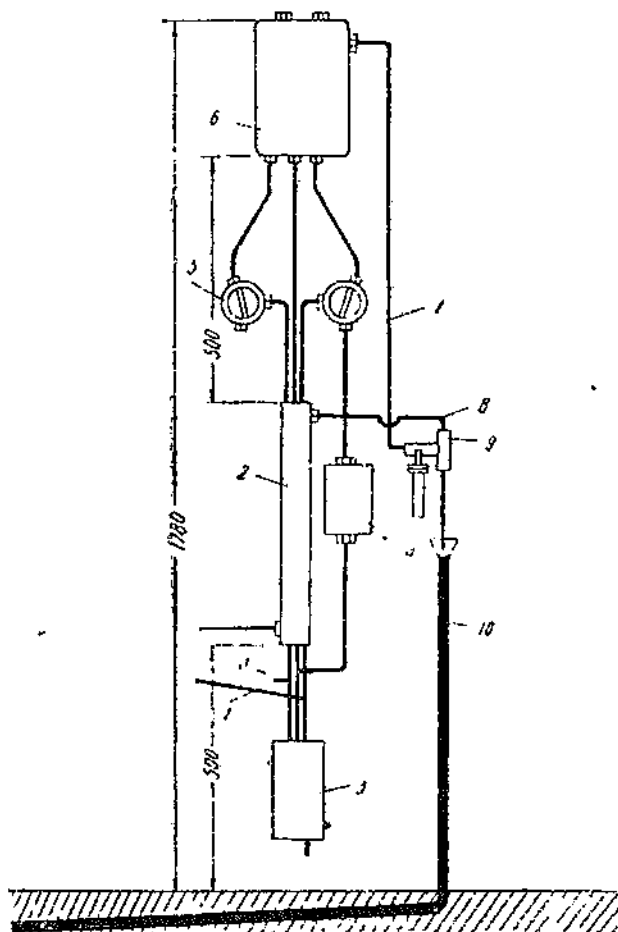
На фиг. 68 изображена схема монтажа газоанализаторной установки с электропечью, на фиг. 69 — схема без электропечи.

Одним из основных условий нормальной работы газоанализаторов является правильный забор пробы анализируемого газа. Для этой цели имеется специальная арматура, описанная в главе XII.

В схему установки газоанализатора входит холодильник, выполняющий функции охлаждения газа до температуры окружающей среды. Имеется два варианта холодильника: с двумя каналами и с тремя газовыми каналами. Холодильник с двумя каналами применяется в установке газоанализатора, когда в анализируемом газе от-

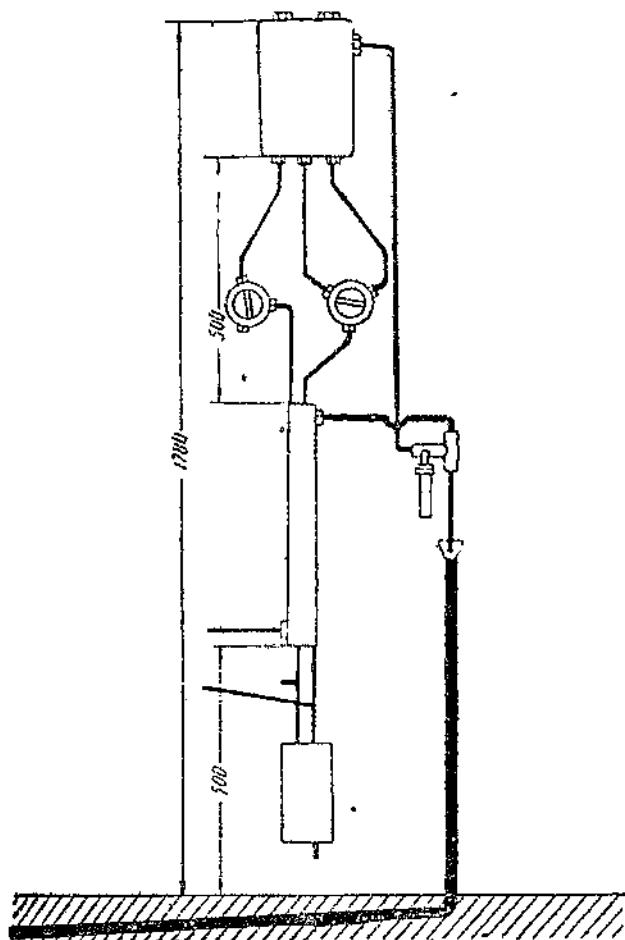
сутствует H_2 , так как в этом случае нет необходимости устанавливать электропечь для дожигания водорода в газовой смеси, поступающей в датчик CO_2 .

При наличии водорода устанавливается холодильник с тремя каналами (фиг. 68) и газ перед поступлением в датчик CO_2 проходит через печь 4, где сгорают водород и окись углерода.



Фиг. 68. Монтажная схема ГЭД с печью. 1 — подвод газа; 2 — холодильник; 3 — конденсационный горшок; 4 — электрическая печь; 5 — контрольный фильтр; 6 — датчик; 7 — газопровод; 8 — водопровод; 9 — эжектор; 10 — дренаж; 11 — патрубок для воздуха.

Как газ, так и воздух перед поступлением в камеры проходят через общий холодильник, что обеспечивает одинаковую температуру. Влажности газа и воздуха также будут одинаковыми в том случае, если точка росы для воздуха лежит выше температуры охлаждающей воды.



Фиг. 69. Монтажная схема ГЭД без печи.

Глава XII

МОНТАЖ АВТОМАТИЧЕСКИХ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ

1. Основные правила монтажа

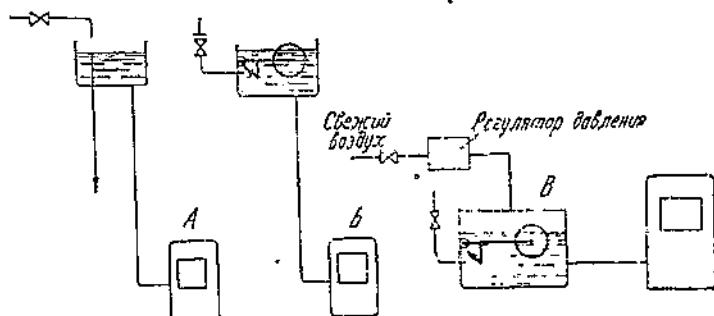
1. Вода, служащая для приведения прибора в действие, должна быть свободна от механических примесей. При питании газоанализаторов загрязненной водой должны быть установлены фильтры.

2. Вода не должна иметь сильно колеблющейся в течение суток температуры. Водяная коммуникация должна быть предохранена от замерзания зимой.

3. Вода должна поступать в газоанализатор под строго постоянным напором для газоанализаторов типа МОНО и под мало колеблющимся

напором для газоанализаторов типа Адос, имеющих собственный напорный бак. Так как постоянство напора заводских водяных магистралей практически не имеет места, для газоанализаторов типа МОНО обязательна установка напорных баков с переливной трубой или поплавковым регулятором, на высоте 1—10 м над уровнем газоанализатора (фиг. 70, А и Б).

При отсутствии возможности установки на необходимой высоте напорного бака, питание газоанализатора может быть осуществлено по



Фиг. 70. Схема подачи воды.

схеме В. В последнем случае вода под переменным давлением, но не меньше одной атмосферы, подается в бак с поплавковым регулятором уровня. Сверху в этот бак подается сжатый воздух через регулятор давления (вместо регулятора давления может быть установлен предохранительный клапан, отрегулированный на 1 ат).

В тех случаях, когда газоанализатор не может быть установлен в соответствии с изображенными схемами, а также при сильно загрязненной воде для питания газоанализатора устанавливается циркуляционный насос.

4. Газ, поступающий в прибор, должен быть свободен от пыли, смолы и сероводорода (последнее имеет значение в тех случаях, когда применяется катализатор для сжигания).

5. Газ, непосредственно после его отбора, должен быть охлажден до температуры помещения. Транспортировка нагретого газа через коммуникацию не допускается, так как по пути будет происходить конденсация водяных паров, вследствие понижения их упругости при падении температуры газа. Поэтому при заборе нагретых газов непосредственно за газоотборной трубкой устанавливается водяной холодильник, а иногда оказывается необходимым установить также газоосушитель, представляющий собою сосуд, наполненный серной кислотой, которая поглощает влагу. Установка для газоанализатора-осушителя с серной кислотой является обязательной при условии, если газовая линия проходит вне отапливаемого помещения.

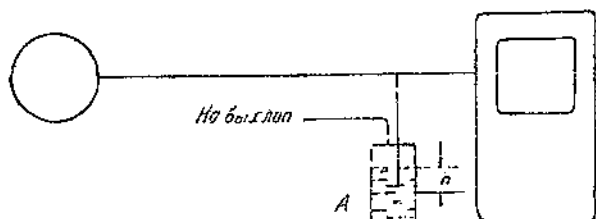
При установке газоосушителя перед газоанализатором обязательна установка увлажнителя газа, представляющего сосуд с водой, через которую пробулькивает газ, насыщаясь при этом влагой.

6. Газопроводящая коммуникация не должна создавать инерцию в показаниях газоанализатора. Если объем коммуникации представляет

величину, соизмеримую с объемом газовой пробы, забираемой для анализа, является обязательным непрерывное просасывание газа через коммуникацию. В тех случаях, когда газ находится под давлением, превышающим атмосферное, прохождение газа через коммуникацию может происходить под собственным напором газа.

В этом случае устанавливается гидравлический затвор *A* (фиг. 71), служащий одновременно маностатом, так как он поддерживает постоянное давление, равное глубине погружения трубки *h*.

В тех случаях, когда давление газа недостаточно или газ находится под разрежением, производится просасывание газа через коммуникацию эжектором, являющимся или составной частью газо-



Фиг. 71. Схема подачи газа.

анализатора (Адокс) или монтируемым отдельно перед газоанализатором. Вместо эжектора пропускание газа через коммуникацию может быть осуществлено с помощью специальной газодувки, устанавливаемой за газозаборной трубкой. В этом случае также устанавливается затвор *A* для поддержания постоянного давления. Применение газодувки имеет то преимущество, что газ в коммуникации находится под давлением и подсос воздуха при наличии неплотностей в линии невозможен.

7. Газоанализатор должен монтироваться в помещении с малоизменяющейся температурой, а также должен быть защищен от прямого излучения производственной аппаратуры.

8. Помещение, где установлен газоанализатор, должно быть свободно от вызывающих коррозию паров и газов.

9. Щит, где устанавливается газоанализатор, не должен подвергаться вибрации.

10. Газоанализатор должен быть установлен на щите на такой высоте, чтобы диаграмма находилась на уровне глаз наблюдателя и допускалось удобное обслуживание газоанализатора. Газоанализаторы устанавливаются строго по отвесу.

2. Арматура газоанализаторов

Назначение арматуры: 1) забор газа, 2) охлаждение, 3) фильтрование, 4) транспортирование, 5) увлажнение, 6) подача воды в газоанализаторы, 7) подача вспомогательного газа.

1. Простая газозаборная трубка с керамическим фильтром (фиг. 72)

Простая заборная трубка с керамическим фильтром (фиг. 72) предназначена для забора из газоходов загрязненных газов с содержанием пыли в пределах $0,1-15 \text{ г/м}^3$ при температуре $100-500^\circ$. Она представляет стальную трубку диаметром $1\frac{1}{2}''$ с укрепленным на ее конце керамическим фильтром.

Керамический фильтр (фиг. 73) предназначен для очистки газов от сажи и пыли и состоит из огнеупорного керамического стакана 1 и вставленной в него дырчатой стальной трубки 2, закрытой пробкой 3, скрепленных двумя стальными крышками 4 и муфтой 5. Этой же муфтой фильтр навинчивается на конец заборной трубки. Сопротивление фильтра около 25 мм вод. ст.

Газозаборная трубка снабжена фланцем для крепления к стенке газохода паровых котлов, кауперов и др.

2. Защищенная газозаборная трубка с керамическим фильтром (фиг. 74)

Защищенная заборная трубка с керамическим фильтром предназначена для забора из газоходов загрязненных газов с содержанием пыли в пределах $0,1-15 \text{ г/м}^3$, обладающих большой скоростью в точке забора, имеющих температуру $100-500^\circ$, и представляет собой стальную трубку 1 диаметром $1\frac{1}{2}''$ с укрепленным на ее конце керамическим фильтром 2, защищенным кожухом 3.

Кожух предназначен для защиты фильтра от пыли, уносимой с большой скоростью газовым потоком, и представляет собой стальную трубку диаметром 70 мм.

Трубка снабжена фланцем для крепления ее к стенке газохода. Применяется для забора неочищенного доменного газа и других газов.

3. Газозаборная трубка с охлаждением (фиг. 75)

Заборная трубка с охлаждением предназначена для забора чистых или пылаконесущих газов с высокой температурой — от 500 до 1600° — и представляет собой стальную трубку диаметром $1\frac{1}{2}''$, заключенную в холодильник.

Направление потока воды в холодильнике показано на чертеже стрелками.

Трубка снабжена фланцем для крепления ее к стенке газохода. Применяется для забора отходящих продуктов горения от мартеновских и других печей, работающих на нефти, и чистых газов с высокой температурой.

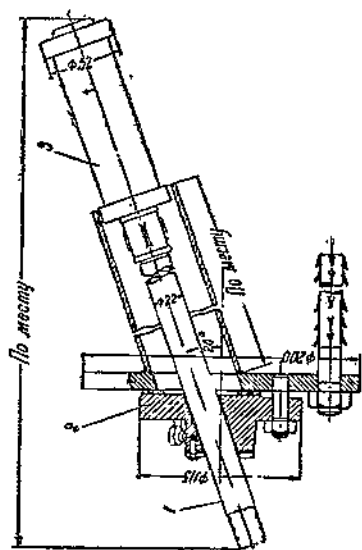
4. Газозаборная трубка с охлаждением и керамическим фильтром (фиг. 76)

Газозаборная трубка с охлаждением и керамическим фильтром предназначена для забора загрязненных газов, с содержанием пыли в пределах $0,1-15 \text{ г/м}^3$ с температурой $500-1600^\circ$ и представляет собой стальную трубку диаметром $1\frac{1}{2}''$ с укрепленным на ее конце керамическим фильтром, вставленным в холодильник.

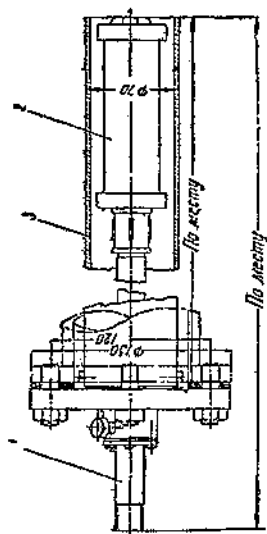
Трубка применяется для забора загрязненных отходящих продуктов горения от мартеновских, нагревательных и других печей.

5. Конденсационный горшок (фиг. 77)

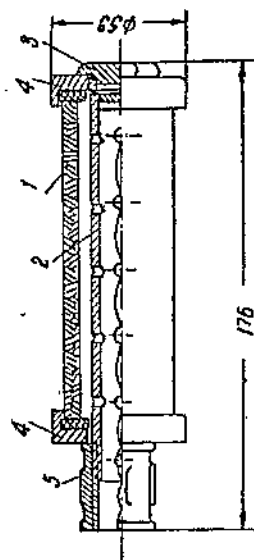
Конденсационный горшок предназначен для сбора и отвода стекающего из газопровода конденсата в газоанализаторных установках и представляет собой сосуд с запорной трубкой для слива конденсата в дренаж.



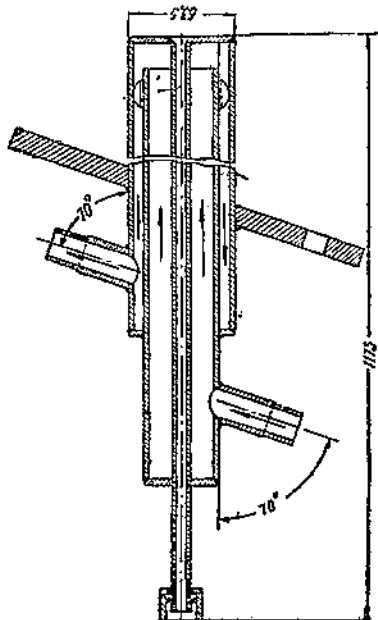
Фиг. 72. Газозаборная трубка с керамическим фильтром.



Фиг. 74. Защищенная газозаборная трубка с керамическим фильтром.



Фиг. 73. Керамический фильтр.



Фиг. 75. Газозаборная трубка с охлаждением.

6. Газопромыватель типа МОНО (фиг. 78)

Газопромыватель типа МОНО предназначен для одновременного охлаждения газа и очистки его от пыли и смолистых продуктов. Газ поступает в газопромыватель по трубке А, барботирует через слой воды и выходит по вертикальной трубке Е. Нижний конец последней опущен в воду, что обеспечивает удаление конденсата из всего вертикального участка трубопровода.

Газопромыватель предназначен для очистки и одновременного охлаждения горячих продуктов газификации и коксования.

7. Холодильник (фиг. 79)

Холодильник представляет собой газовую трубку 1 диаметром $\frac{1}{2}$ " , окруженную камерой 2, через которую циркулирует вода.

Предназначен для охлаждения проходящих через него газов, при температурах поступающих газов от 40 до 500°, скорости протекания газа до 0,25 м³/час и температуре поступающей воды до 25°.

8. Фильтр-осушитель (фиг. 80)

Фильтр-осушитель предназначен для окончательной очистки газа от пыли (при содержании последней до 0,1 г/м³), непредельных углеводородов, а также для осушки его.

Газ входит в фильтр через горизонтальный патрубок 1 и проходит через слой стеклянной ваты 2, где очищается от пыли. Затем по трубке 3 поступает в сосуд 4, барботирует через концентрированную серную кислоту, освобождается от непредельных углеводородов, осушается и по трубкам 5 и 6 выходит из фильтра. Количество стеклянной ваты — 25 г.

Концентрированная серная кислота наливается до погружения трубки 3 приблизительно на 10 мм.

Фильтр-осушитель применяется в газоанализаторных установках при прокладке газопровода вне помещения и если имеет место охлаждение газа при его прохождении от холодильника до газоанализатора, во избежание замерзания газопровода и выделения конденсата в нем.

9. Фильтр для газа (фиг. 81)

Фильтр предназначен для окончательной очистки газа от пыли при содержании последней до 0,1 г/м³.

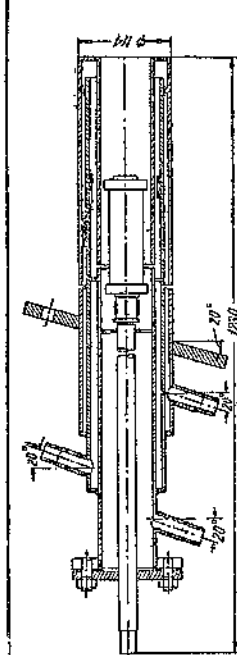
Газ входит в фильтр через горизонтальный патрубок 1, проходит через слой стеклянной ваты 2 и очищенный выходит из фильтра через вертикальный патрубок 3.

Количество стеклянной ваты в фильтре 75 г.

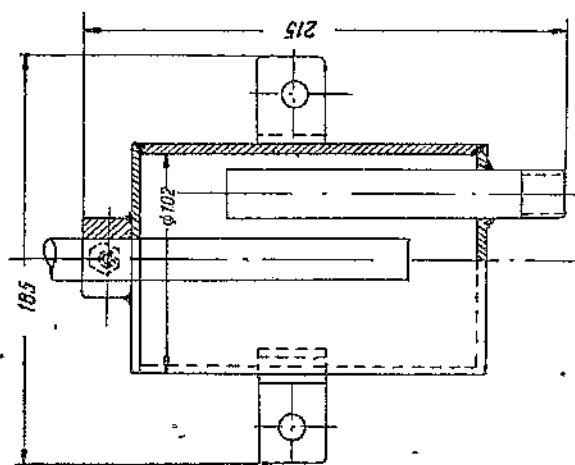
Несколько отличную конструкцию имеет газовый фильтр МОНО, изображенный на фиг. 82. Он также заполняется стеклянной ватой.

10. Эксгаустер (фиг. 83)

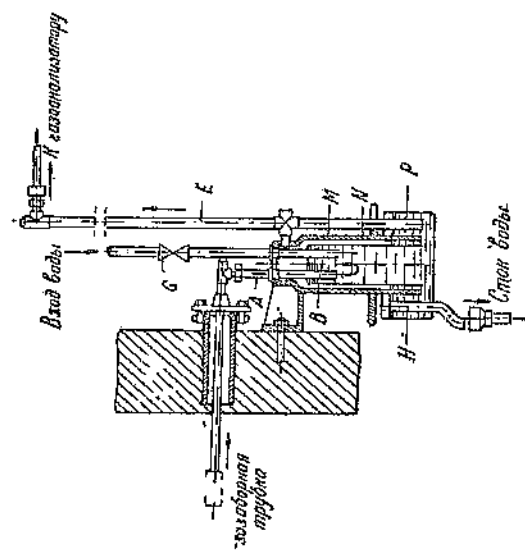
Эксгаустер предназначен для засасывания газа из газохода и применяется в тех случаях, когда в точке забора газ находится под разрежением или давлением, не обеспечивающем самостоятельного прохождения газа к газоанализатору с нужной скоростью.



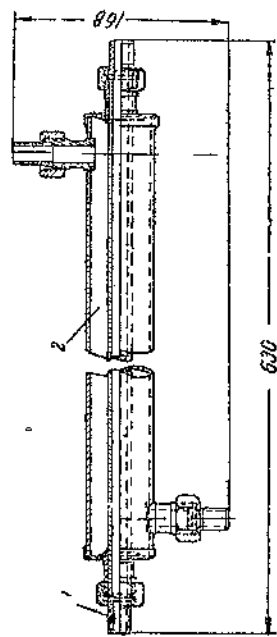
Фиг. 76. Газоаборная трубка с охлаждением и керамическим фильтром.



Фиг. 77. Конденсационный горшок.



Фиг. 78. Газопромыватель типа МОНО.



Фиг. 79. Холодильник.

Устройство состоит из ротационного эксгаустера 7, приводимого во вращение электродвигателем через редуктор 2.

Эксгаустер состоит из цилиндрической коробки, снабженной двумя патрубками. Внутри коробки во всю ее длину эксцентрично расположен цилиндрический вал с прорезом, в который вставлены крылья. При помощи пружин крылья выталкиваются из вала и плотно прижимаются к внутренней стенке коробки. При вращении вала крылья, вследствие эксцентричного расположения вала, попеременно выдвигаются и входят в него; при этом они захватывают определенные объемы газа и выталкивают их. Благодаря этому в приводящем газопроводе создается разрежение, а в отводящем — давление. Число оборотов вала эксгаустера — 400 в минуту.

Электродвигатель питается от сети переменного тока напряжения 110 и 220 в. Мощность электродвигателя — 75 вт.

Производительность эксгаустера 0,3 л³/час.

Разность между разрежением и давлением, создаваемым эксгаустером, равна 300 мм вод. ст.

11. Регулятор давления газа (фиг. 84)

Регулятор давления газа предназначен для автоматического поддержания постоянства давления газа в газопроводе после регулятора.

Под давлением от 150 до 1000 мм вод. ст. газ поступает в регулятор через патрубок 1 и поднимает мембрану 3 с грузом 2. Одновременно с подъемом мембраны жестко связанный с ней шаровой клапан 4 уменьшает доступ газа в регулятор. В результате этого давление газа под мембраной падает, она опускается и проталкивает заключенный в регуляторе газ в газопровод под определенным давлением. При опускании мембраны шаровой клапан увеличивает доступ газа, в результате мембрана поддерживает давление на выходе постоянным. Сечение клапана изменяется в соответствии с давлением поступающего газа. Газ выходит из регулятора через патрубок 5. Давление газа после регулятора обуславливается весом грузовой шайбы и устанавливается равным 100 мм вод. ст.

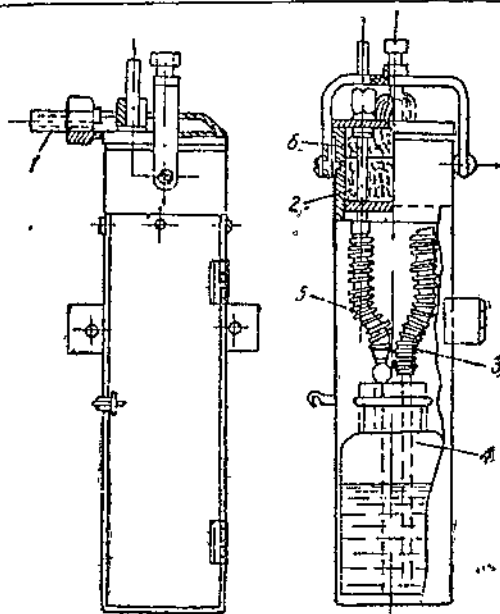
Регулятор давления применяется для подачи анализируемого газа, а также вспомогательного, например Н₂ или О₂ из баллонов.

Регулятор давления МОНО (фиг. 85) отличается лишь конструктивно. Вместо грузовой шайбы здесь для регулирования заданного давления применяется пружина. Этот регулятор применяется только для подачи вспомогательного газа.

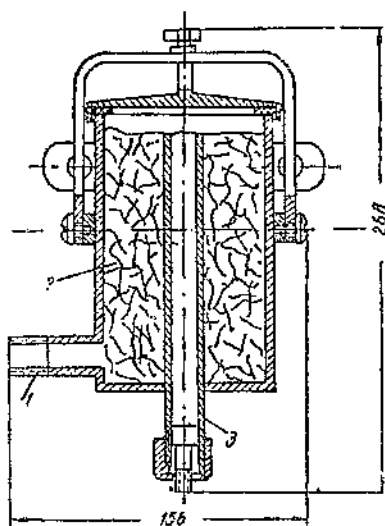
12. Контрольный фильтр (фиг. 86)

Контрольный фильтр предназначен для контроля за чистотой газа, поступающего в газоанализатор.

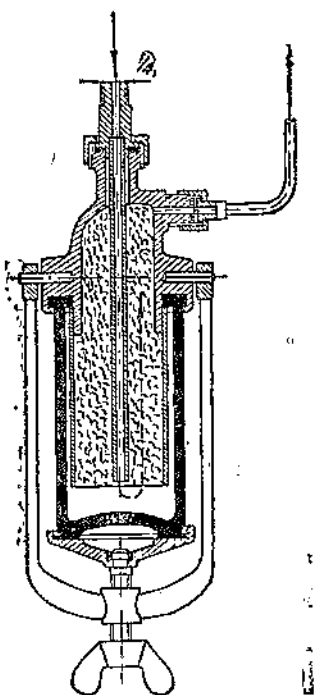
Газ входит в фильтр через штуцер 1, затем поступает поочередно в две камеры, заполненные стеклянной ватой, и через штуцер 2 выходит из фильтра. Отсутствие загрязненности ваты указывает на чистоту газа, поступающего в газоанализатор. Количество стеклянной ваты в фильтре 15 г.



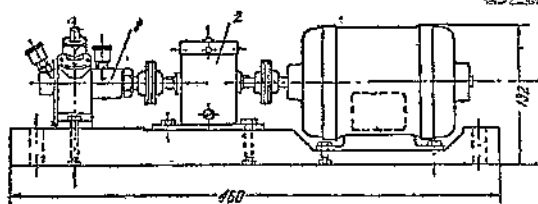
Фиг. 80. Фильтр-осушитель



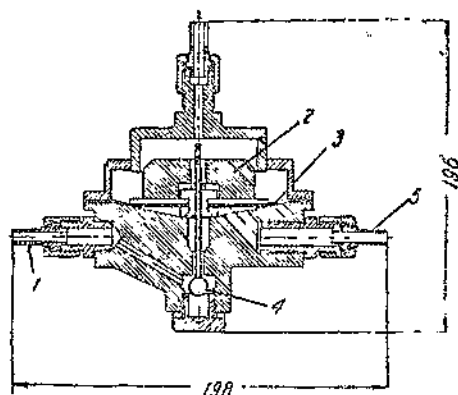
Фиг. 81. Фильтр для газа.



Фиг. 82. Газовый фильтр
МОНО.



Фиг. 83. Эксгаустер.



Фиг. 84. Регулятор давления газа.

13. Увлажнитель (фиг. 87)

Увлажнитель предназначен для насыщения влагой газа, поступающего в газоанализатор.

Газ входит в увлажнитель через патрубок 1, барботирует через 4-мм слой воды, одновременно увлажняясь, и через патрубок 2 выходит из увлажнителя. Для поддержания постоянства уровня воды через увлажнитель непрерывно циркулирует вода, подаваемая из водопроводящей магистрали в увлажнитель через патрубок 3 и стекающая по запальной трубке 4.

Увлажнитель применяется во всех газоанализаторных установках, снабженных фильтром-осушителем.

Вместо описанного увлажнителя можно применять обычную склянку с пробкой и двумя трубками, из которых одна погружена в воду.

14. Газовый переключатель (фиг. 88)

Переключатель предназначен для попеременного приключения различных точек забора к одной газоанализаторной установке. Состоит из двух ртутных свинок 1 и 2, которые при помощи ручки 3 могут попеременно приводиться в два различных положения, соответствующих включению одной или другой точки забора. Свинки переключателя заряжаются чистой ртутью, каждая в количестве 100 г.

15. Циркуляционное устройство (фиг. 89)

Циркуляционное устройство предназначено для подачи воды к группе газоанализаторов (от 1 до 4). Устройство состоит из бака, наполняемого водой, электродвигателя 2, насоса 3 и поплавкового указателя 4 количества воды в баке.

Вода из бака 1 по трубке 5 забирается насосом и подается к газоанализаторам. В бак наливается 14 л дистиллированной или кипяченной воды. Электродвигатель питается от сети переменного тока напряжением 110 или 220 в. Мощность электродвигателя 75 вт. Бак пополняется водой, стекающей из газоанализаторов после анализа.

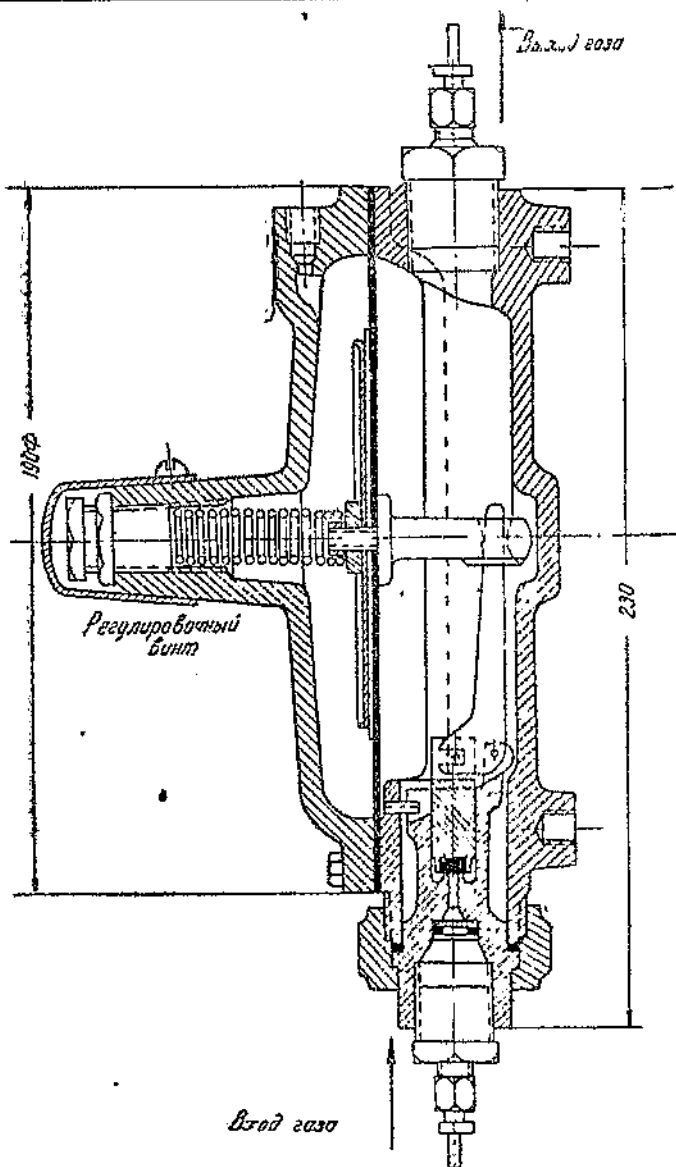
Производительность насоса при подаче воды на высоту 3 м равна 300 л/час.

После включения электродвигателя насос заливается водой через имеющееся в его корпусе отверстие, для чего предварительно отвинчивается металлическая пробка. После заливки пробка вновь завинчивается.

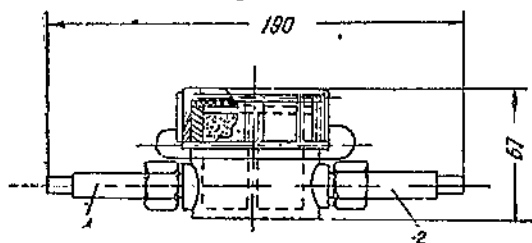
В последнее время конструкция циркуляционного устройства выполняется по типу МОНО (фиг. 90) с насосно-моторной группой, устанавливаемой вертикально.

16. Фильтр для воды (фиг. 91)

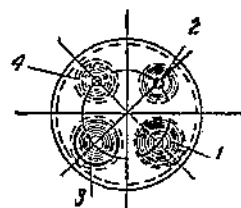
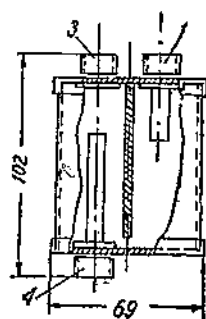
Вода входит в фильтр через патрубок 1, проходит через металлическую сетку 2, которая очищает ее от механических примесей, и через патрубок 3 выходит из фильтра. Для предохранения сетки от возможных прогибов фильтр снабжен пружиной 4.



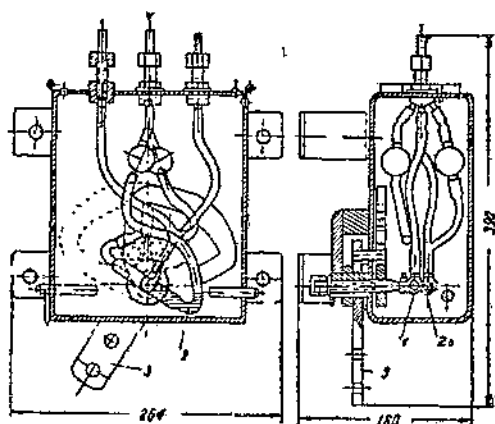
Фиг. 85. Регулятор давления газа типа МОНО.



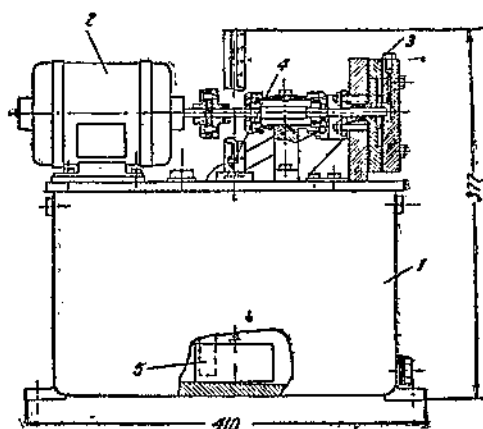
Фиг. 86. Контрольный фильтр.



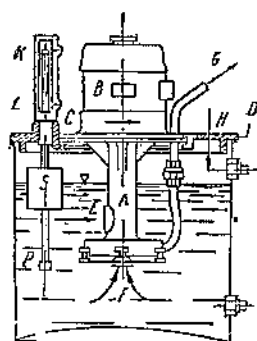
Фиг. 87. Увлажнитель.



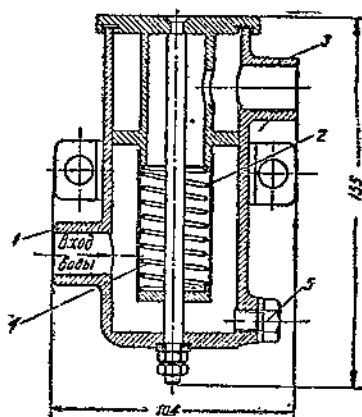
Фиг. 88. Газовый переключатель.



Фиг. 89. Циркуляционное устройство.



Фиг. 90. Циркуляционное устройство типа МОНО.



Фиг. 91. Фильтр для воды.

Для очистки фильтра отвинчивается металлическая пробка 5, после чего накопившиеся примеси вместе с водой механически выбрасываются. После очистки пробка завинчивается.

Фильтр применяется в газоанализаторных установках для очистки воды, подаваемой в холодильник и увлажнители, и употребляется только в тех случаях, когда имеются механические примеси.

Для очистки загрязненной воды, поступающей для питания силового устройства газоанализаторов, данный фильтр непригоден. В тех случаях, когда на месте эксплуатации не располагают водой, свободной от механических примесей, рекомендуется пользоваться циркуляционным насосом или применить для очистки водяной фильтр типа МОНО, в котором фильтрующим материалом служит натуральная губка.

3. Монтажные схемы газоанализаторных установок

1: УСТАНОВКА ЦИРКУЛЯЦИОННОГО НАСОСА

На фиг. 92 изображена схема установки насоса при наличии напорного бачка в газоанализаторе, на фиг. 93 — при отсутствии напорного бачка. Схемы в пояснениях не нуждаются.

2. ПОДАЧА ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ГАЗА

В качестве вспомогательного газа обычно применяются водород или (реже) кислород. В некоторых случаях на заводе, где устанавливается газоанализатор, требуемый газ применяется в производственном процессе (например, производство синтетического аммиака). Тогда задача монтажника сводится лишь к установке соответствующей подводящей линии. На пути газа должны быть установлены гидравлический затвор и гидравлический регулятор давления (фиг. 94).

Иногда допускается возможность использования вместо водорода технических горючих газов, например генераторного, водяного и других, при условии их предварительной очистки от CO_2 . Это относится, например, к газоанализаторам дуплекс на CO_2 и O_2 .

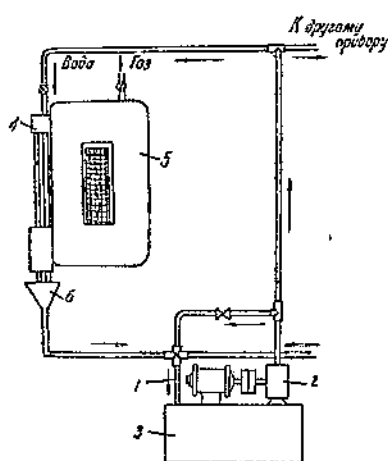
Как правило, вспомогательный газ подается из баллонов или из специально устанавливаемых электролизеров. При подаче из баллонов применяется схема, изображенная на фиг. 95. Электролизер может быть изготовлен на месте установки газоанализатора.

Электролизер для получения водорода изображен на фиг. 96. Он представляет бутылку емкостью 2—3 л с отрезанным дном, помещенную в сварной железный стакан 2. Электроды 3, 4 делаются цилиндрические, из листовой меди. Для уменьшения плотности тока электродам целесообразно придать возможно большую поверхность.

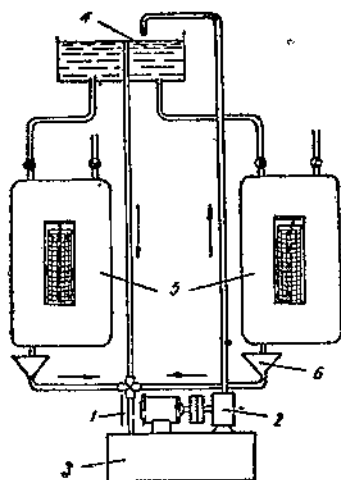
В качестве электролита целесообразно применить 20—25-проц. раствор едкого натра.

Если считать объем водородного волюметра газоанализатора равным 150 см³, то при 25 анализах в час потребный объем водорода составит

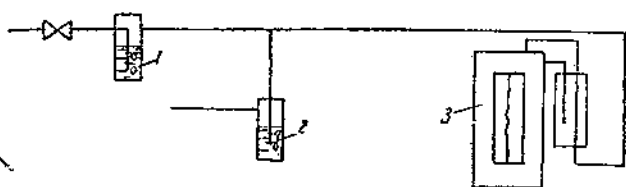
$$V_{\text{H}_2} = \frac{150 \cdot 25}{1000} = 3,75 \text{ л.}$$



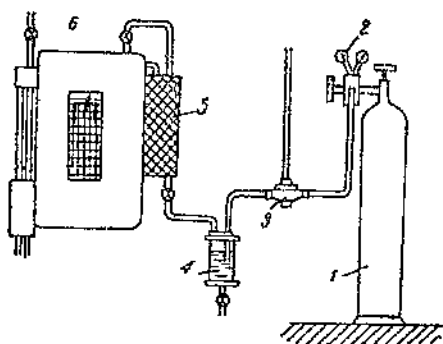
Фиг. 92. Схема установки циркуляционного насоса (при наличии напорного бачка в газоанализаторе). 1 — мотор; 2 — насос; 3 — бак с водой; 4 — бачок; 5 — газоанализатор; 6 — дренаж.



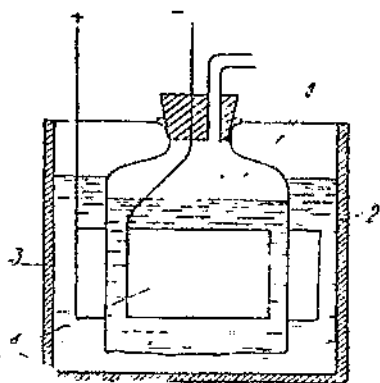
Фиг. 93. Схема установки циркуляционного насоса (при отсутствии напорного бачка в газоанализаторе). 1 — мотор; 2 — насос; 3 — бак с водой; 4 — напорный бак; 5 — газоанализаторы; 6 — дренаж.



Фиг. 94. Схема подачи вспомогательного газа из линии. 1 — гидравлический затвор; 2 — гидравлический регулятор давления; 3 — прибор.



Фиг. 95. Схема подачи вспомогательного газа из баллона. 1 — баллон с водородом; 2 — монодетандер; 3 — регулятор давления газа; 4 — гидравлический предохранитель; 5 — печь; 6 — газоанализатор.



Фиг. 96. Схема электролизера. 1 — бутылка без дна; 2 — железный сварной стакан; 3, 4 — электроды.

Из закона Фарадея следует, что при силе тока в 1 а за час образуется водорода 0,0376 г, или 0,4184 л. Следовательно, сила тока, проходящего в электролизере, составит:

$$I_1 = \frac{3,75}{0,4184} = 9 \text{ а.}$$

Напряжение в зависимости от сопротивления электролизера, определяемого его конструкцией, равно 6—12 в. В качестве источника питания при отсутствии линии постоянного тока на заводе можно применить небольшой умформер или ртутный выпрямитель.

Работая с электролизером, необходимо принять соответствующие меры предосторожности, а именно:

а) водород из электролизера всегда пропускать через предохранительный гидравлический затвор, чтобы устранить возможность взрыва электролизера;

б) первые порции газа после включения электролизера (содержащие гремучую смесь) пустить на выхлоп;

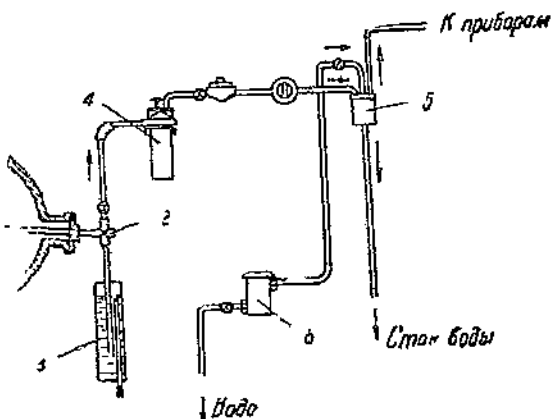
в) установить сигнализацию отсутствия тока, питающего электролизер, так как при выключении тока создается разрежение в системе; способствующее образованию гремучей смеси;

г) установить гидравлический регулятор давления (такой же, как на фиг. 94) для удаления избыточного водорода.

3. УСТАНОВКА ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ

Монтажные схемы установки газоанализаторов изображены на фиг. 97, 98 и 99.

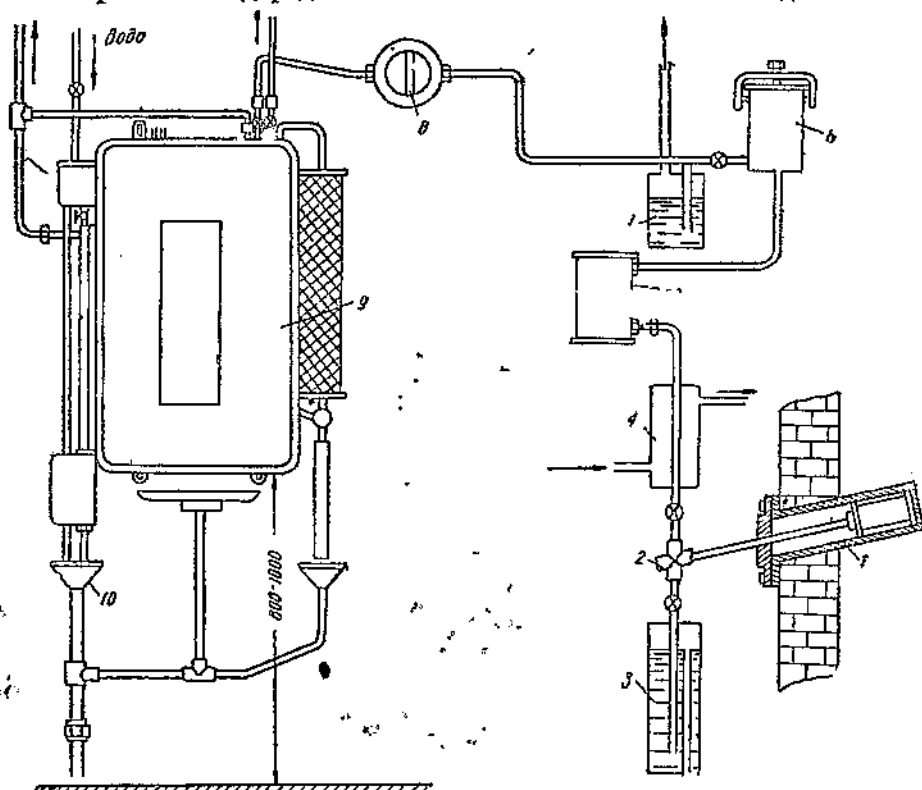
На фиг. 97 показаны схемы забора чистых газов с температурой до 40°. Данная схема применима в том случае, если газ имеет достаточное давление (выше 200 мм вод. ст.) и если газопроводящая коммуникация проходит вне отапливаемого помещения. Поэтому схема предусматривает установку газоосушителя с серной кислотой для предотвращения забивания линии конденсатом или льдом (в холодное время). Если значительное охлаждение газа на пути невозможно, то отпадает необходимость в газоосушителе, увлажнителе газа и фильтре для воды, питающей увлажнитель.



Фиг. 97. Схема забора чистого газа. 1 — заборная трубка; 2 — пробка; 3 — удалитель конденсата; 4 — фильтр-осушитель; 5 — увлажнитель; 6 — фильтр для воды.

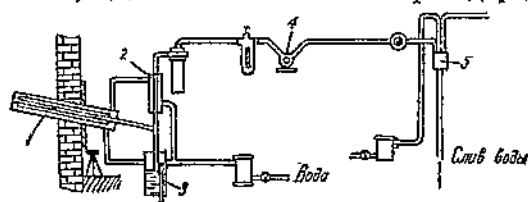
Мембранный регулятор давления, показанный на схеме, может быть с успехом заменен простым гидравлическим регулятором давления.

по
ло
бо
сх
га
ро
га
од
га
цо
тр
ча
пр
ни
ся
ем



30
CT
72
B
1
10
P

73



1
 2
 3
 4
 5

10

поглощения целесообразно добавит к кислоте 1—1,5% сернокислого серебра.

На фиг. 99 изображена схема установки газоанализатора при заборе чистого анализируемого газа с высокой температурой. В данной схеме для просасывания газа через коммуникацию применяется эксгаустер, перед которым установлен дроссель с контрольным манометром для наблюдения и регулирования разрежения, создаваемого эксгаустером. Регулятора давления после эксгаустера нет, его заменяет один из гидравлических затворов газоанализатора.

Трубопроводы. В зависимости от состава анализируемого газа газовая линия прокладывается стальными, латунными или свинцовыми трубами. В большинстве случаев можно применять стальные трубы, например газовые, диаметром от $\frac{1}{4}$ до $\frac{3}{8}$ и в крайнем случае $\frac{1}{2}$ ". При наличии в анализируемом газе сернистых соединений применяются оцинкованные или свинцовые трубы. Водяная коммуникация прокладывается газовыми трубами от $\frac{3}{8}$ до $\frac{1}{2}$ ".

Перед пуском газоанализатора плотность газовой линии проверяется сжатым воздухом под давлением 1000 мм вод. ст., со смачиванием всех соединений мыльной водой для установления мест утечки газа.

4. ВЫБОР МЕСТА ДЛЯ УСТАНОВКИ ГАЗОАНАЛИЗАТОРА

Возможность длительной и надежной работы автоматического газоанализатора часто решается правильностью подхода к выбору места его установки.

Расстояние. Как уже упоминалось, максимальное расстояние газоанализатора от места забора определяется допустимой инерцией в показаниях. Возьмем в качестве примера газопровод, проложенный $\frac{1}{2}$ " трубами длиной 20 м. Объем газа в трубопроводе составит 2400 см³. Если предположить, что газ забирается газоанализатором, не имеющим эжектора, то время обмена газа в линии, т. е. инерция, будет равна (при объеме волюметра 150 см³ и 25 анализах в час):

$$\Theta = \frac{2400}{150 \cdot 25} \cong 38 \text{ мин.}$$

При наличии эжектора, просасывающего 0,5 л в минуту, время инерции составит

$$\Theta = \frac{2400}{150 \cdot 25 + 500 \cdot 60} 60 = 4,2 \text{ мин.}$$

При установке более мощного эжектора или эксгаустера, просасывающего 2 л газа в минуту, время инерции снизится до 1,2 мин.

Уменьшение диаметра трубопровода до $\frac{1}{4}$ " уменьшит инерцию в четыре раза. При длинных коммуникациях для проверки возможного запаздывания показаний прибора целесообразно временно включить в линию реометр, по показаниям которого подсчитать инерцию, создаваемую подводкой.

При выборе места установки газоанализатора необходимо учитывать требования взрывобезопасности и защиты материала прибора от коррозии под действием различных паров и газов, содержащихся в воздухе.

Само собой разумеется, что наличие в газоанализаторе приводного мотора (обычного типа), электропередатчика, и особенно электропечи для сжигания, делает прибор взрывоопасным. Более того, в газоанализаторах с применением горючих газов следует устранить возможность образования искры внутри корпуса прибора, так как при разрывах или неплотностях внутренней газовой коммуникации возможно образование взрывчатой смеси.

Защита от коррозии должна быть предусмотрена уже при изготовлении прибора, применением соответствующих стойких материалов или защитных покрытий.

Однако специфические производственные условия иногда вынуждают принимать дополнительные меры для предотвращения опасности взрыва или коррозии прибора. С этой целью применяется помещение газоанализаторов в шкафах, где поддерживается некоторое избыточное давление путем вдувания чистого воздуха. Иногда избыточное давление тем же путем поддерживается непосредственно в корпусе прибора.

Во многих случаях очень целесообразна установка газоанализаторов в специальных будках (фиг. 100), помещаемых непосредственно в здании цеха. Эти будки при надобности могут быть снабжены точной вентиляцией.

Эксплуатация газоанализаторов

Для обеспечения бесперебойной работы и правильности показаний автоматические газоанализаторы должны быть обеспечены обслуживанием в соответствии с нормами, устанавливаемыми для каждого типа прибора. На основании соответствующих инструкций устраняются неполадки, которые могут встретиться при работе газоанализатора.

Мы отметим здесь лишь некоторые требования в отношении обслуживания, являющиеся общими для всех газоанализаторов.

1. Проверка и установка нуля путем переключения газоанализатора на воздух (кроме газоанализаторов на O_2 , в которые подается газ, не содержащий O_2 , например водород). Установка нуля должна производиться тем чаще, чем сильнее колеблются температурные условия (температура окружающего воздуха и питающей воды).

2. Проверка показаний газоанализатора по неавтоматическому прибору, например по аппарату Орса.

3. Заводка часового механизма.

4. Заливание чернил в перо или в специальную чернильницу и прочистка пера (в некоторых конструкциях).

5. Смена диаграммной ленты.

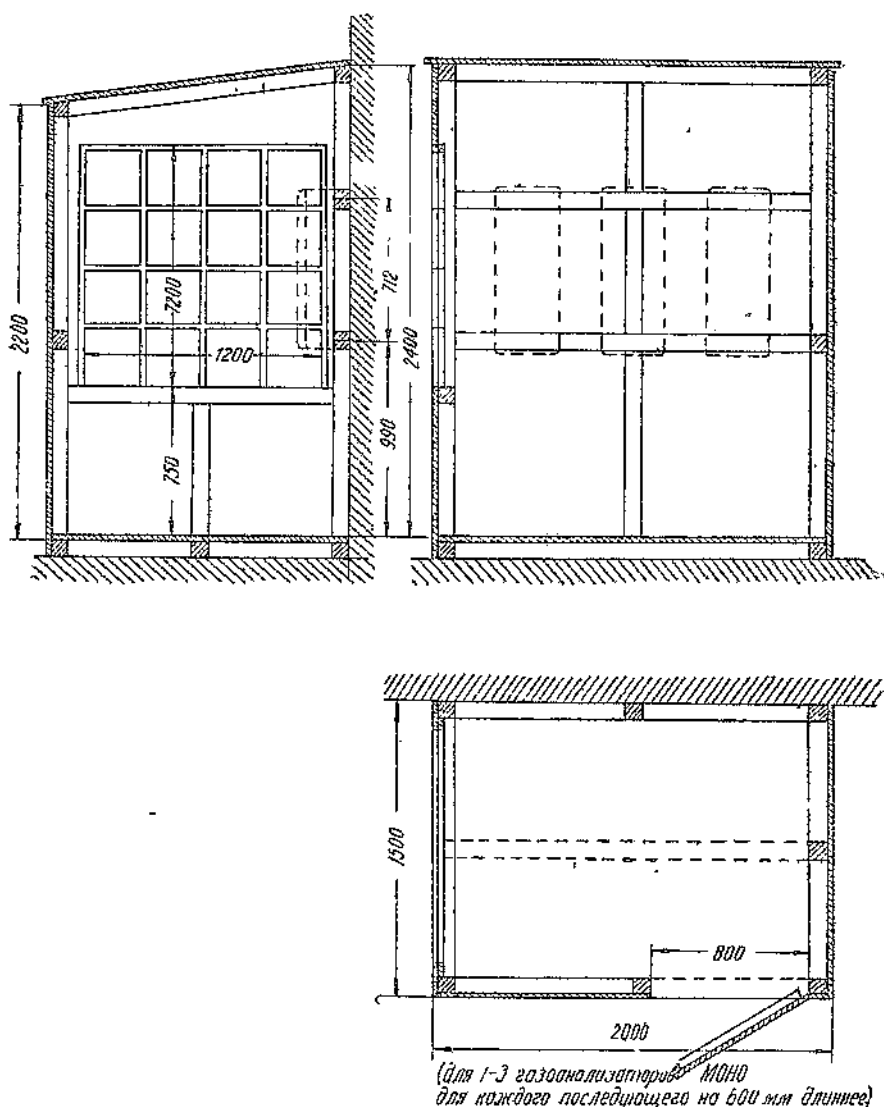
6. Смена поглотительной жидкости.

7. Смена катализатора в сожигательной печи.

8. Смена замыкающей жидкости и жидкостей в затворах и промывка стеклянных деталей прибора.

9. Наблюдение за состоянием контрольного газового фильтра и замена, в случае появления пыли, стеклянной ваты в основном газовом фильтре.

10. Проверка состояния керамического фильтра. При загрязнении керамический фильтр продувается паром или воздухом или прочищается снаружи щеткой.



Фиг. 100. Схема будки для газоанализаторов.

11. Проверка состояния водяного фильтра.

12. Смена воды в циркуляционном устройстве.

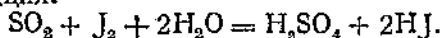
13. Проверка показаний дистанционного указателя по записи на диаграмме.

АНАЛИЗ МАЛЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ

1. Автоматическое титрование

Метод титрования в приложении к газам основан на том, что концентрация анализируемого компонента газовой смеси определяется по объему газа, прошедшего через поглотительный титрованный раствор до завершения реакции с последним. Момент завершения реакции фиксируется по изменению окраски раствора, его электропроводности и некоторым другим признакам.

Например, при определении методом газового титрования SO_2 используется реакция:



В качестве титрованного раствора в этом случае применяется иодный раствор.

Имеет место обратная зависимость между концентрацией анализируемого компонента и объемом газа, пошедшего на титрование,

$$\text{SO}_2 = \frac{109,5n}{x + 1,095},$$

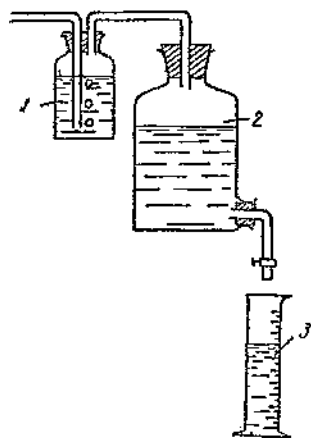
где n — количество децинормального раствора иода (в см^3);

x — объем газа, пошедшего на титрование (в см^3).

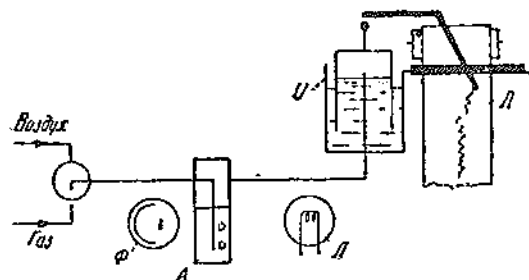
Децинормальный раствор иода — это раствор, содержащий в одном литре раствора 0,1 г эквивалента иода (грамм-эквивалент иода содержит 0,5 грамммолекулы).

Схема прибора для анализа методом газового титрования изображена на фиг. 101. Количество газа, прошедшее через титрованный раствор, в абсорбере определяется по объему жидкости, вытекшей из аспиратора 2 в мерный цилиндр 3.

Преимуществом метода газового титрования является возможность определения небольших концентраций газов, для определения которых непригодны рассмотрен-



Фиг. 101. Аппарат Райха.
1 — абсорбер с титрованным раствором; 2 — аспиратор; 3 — мерный цилиндр.



Фиг. 102. Принципиальная схема газоанализатора с фотореле.

ные выше газометрические газоанализаторы. Приборы для автоматического титрования могут быть использованы для анализа на целый ряд химических соединений, например SO_2 , H_2S , Cl_2 , CO_2 и т. д.

ГАЗОАНАЛИЗАТОР С ФОТОРЕЛЕ СИСТЕМЫ ФАЙНБЕРГА

Принцип действия прибора показан на схеме, приведенной на фиг. 102.

Газ проходит через абсорбер с титрованным раствором и поступает под измерительный колокол, который перемещается кверху под действием электромоторного силового устройства. При движении колокола связанное с ним перо перемещается вдоль поля диаграммы. В момент изменения окраски титрованного раствора срабатывает фотореле и дужка прижимает перо к диаграммной ленте в соответствующей точке. Автоматический газоанализатор с фотореле (фиг. 103) состоит из силовой, гидравлической, фотоэлектрической и записывающей частей.

Силовая часть

Для привода газоанализатора в действие применяется электромотор 1 мощностью около 40 *вт*, число оборотов которого при помощи редуктора 2 с планетарной передачей снижается до 15 об/час на распределительном валу 3. В течение каждого оборота завершается аналитический цикл.

Гидравлическая часть прибора

Назначение гидравлической части заключается в просасывании газа через абсорбер под колокол, заполнении абсорбера титрованным раствором, сливе отработанного раствора и удалении газа из-под колокола. Все операции осуществляются под действием нескольких кулачков и профилированных шайб, помещенных на распределительном валу 3. Измерительный колокол 7 газоанализатора приводится в поступательно-возвратное движение при помощи профилированной шайбы 4.

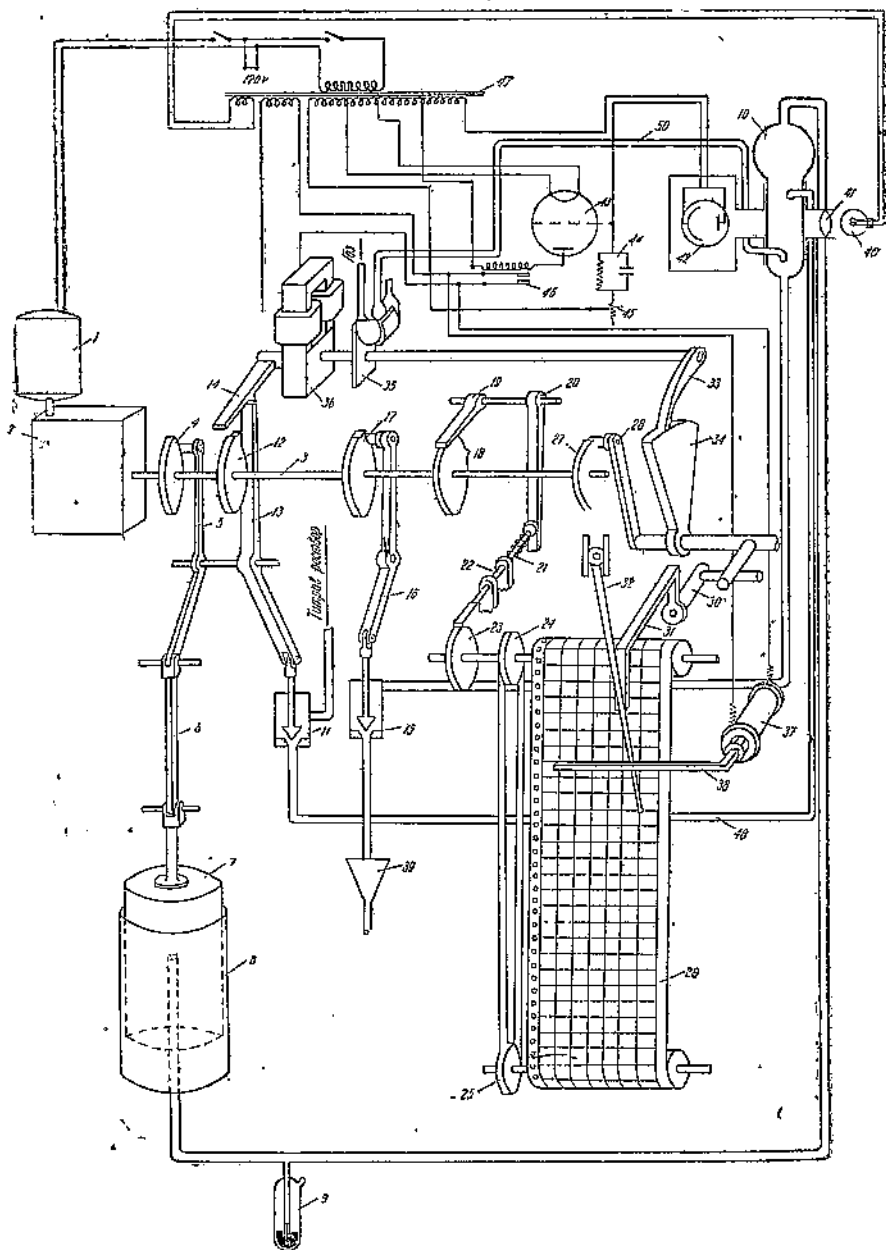
При ходе колокола вниз происходит выдавливание газа, забранного под колокол в течение предыдущего периода. Этот газ удаляется через гидравлический затвор 9.

В течение этого же периода производится слив отработанного раствора из абсорбера и заполнение последнего новой порцией титрованного раствора.

Слив раствора осуществляется при помощи кулачка 17. В тот момент, когда ролик рычага 16 попадает на зуб кулачка, клапан 15 открывается на отрезок времени, достаточный для слива всего отработанного раствора из абсорбера 10.

Заполнение абсорбера определенным заданным объемом титрованного раствора осуществляется при помощи кулачка 12 и фотореле.

За 15—20 секунд до начала засасывания газа кулачок 12, отбрасывая рычаг 13, открывает клапан 11. При этом конец рычага 13 попадает за зуб рычага 14, находящегося на валу поворотного реле 36. Последнее включается телефонным реле 46, на которое поступает анодный ток с усилительной лампы 43. Напряжение на сетку лампы подается через фотоэлемент 42. Так как при пустом абсорбере фотоэлемент освещен, реле 36 находится во включенном состоянии. Как только светонепрозрачная жидкость полностью перекрывает пучок света, падающий от осветительной лампы 40 на абсорбер, реле 36 выключается, рычаг 14 с зубом поднимается, и клапан 11 закрывается, прекращая поступление раствора в абсорбер.



Фиг. 103. Схема газоанализатора с фотореле системы Файнберга. 7 — электромотор; 2 — редуктор; 3 — распределительный вал; 4 — профилированная шайба; 5—6 — рычаги; 7 — измерительный колокол; 8 — цилиндр колокола; 9 — гидравлический затвор; 10 — абсорбер; 11, 15 — клапаны; 12, 17, 18 — кулачки; 13, 16 — рычаги; 14, 19, 20 — рычаги; 21, 22, 23, 24, 25 — механизм для передвижения диаграммной ленты; 26 — диаграммная лента; 27 — профилированная шайба; 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 — детали записывающего механизма; 37, 38 — реле и дужка для торможения пера; 39 — слив для отработанного раствора; 40 — электрическая лампа; 41 — линза; 42 — фотоэлемент; 43, 44, 45, 46, 47 — детали фотореле; 48, 49, 50 — соединительные трубки.

В течение периода поднятия колокола — аналитического периода — происходит засасывание анализируемого газа под колокол через абсорбер.

В момент изменения окраски титрованного раствора происходит срабатывание фотореле и включается поворотное реле 36. При этом поворачивается ртутный газовый переключатель, посаженный на валу реле, и вместо анализируемого газа через абсорбер начинает проходить воздух. Это имеет целью предотвратить возможность насыщения титрованного раствора анализируемым компонентом, так как в противном случае было бы возможно искажение титра следующей порции раствора.

Одновременно фотореле воздействует на записывающее устройство.

Записывающая часть прибора

При помощи записывающего устройства содержание анализируемого компонента отмечается на диаграммной ленте. Перо регистратора 32 приводится в движение (через систему рычагов) от профилированной шайбы 27, находящейся на распределительном валу. Этим обеспечивается надежность записи и независимость ее от трения в системе, так как действующие на перо усилия весьма велики.

Из принципа действия прибора следует, что перо должно фиксировать точку, соответствующую объему газа под колоколом, т. е. углу поворота распределительного вала в момент изменения окраски раствора. Передача угла поворота вала на перо осуществляется при помощи профилированной шайбы 27 и подводковой передачи 29, 30. Для превращения дугового перемещения пера в линейное используется принцип прямилы Эванса.

В момент изменения окраски перо затормаживается рычагом 33, прижимающимся к сектору 34, и одновременно дужка 38, приводимая реле 37, включенное параллельно с реле 36, прижимает перо к диаграммной ленте.

Фотоэлектрическая часть прибора

Фотоэлектрическая часть прибора состоит из цезиевого фотоэлемента 43, однолампового усилительного устройства силового трансформатора 47 и телефонного реле 46. Для настройки фотореле применяется высокоомный реостат 45.

Так как в момент завершения титрования происходит резкое изменение фототока, здесь допустимо использование простейшей дифференциальной схемы фотореле.

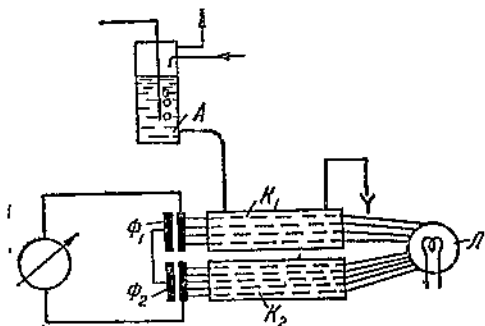
2. Фотоколориметрические приборы

ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЯ

Приборы, основанные на фотоколориметрировании поглощающих жидкостей, весьма удобны для анализа на различные вредные примеси в воздухе производственных помещений. В этом случае требуется высокая чувствительность прибора к минимальным концентрациям вещества и в то же время допустима сравнительно большая относительная погрешность определения.

Принципиальная схема такого рода приборов изображена на фиг. 104.

Анализируемый воздух непрерывно проходит через поглотитель. При помощи соответствующих устройств, описанных ниже, обеспечивается пропорциональность между объемами газа и жидкости. Из поглотителя жидкость проходит через кювету, где фиксируется изменение ее окраски при помощи фотоэлемента. Для фотоколориметрического определения используется дифференциальная схема. Два фотоэлемента включены один навстречу другому, и гальванометр измеряет разность фототоков. Один из элементов установлен за кюветой с раствором, прошедшим через абсорбер, другой за кюветой с эталонным раствором. В некоторых приборах применяется прямое включение фотоэлементов.



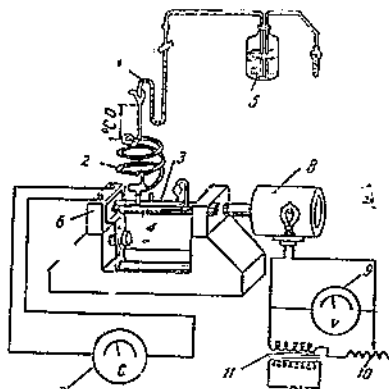
Фиг. 104. Принципиальная схема фотоколориметрического прибора.

Прибор Ленинградского института охраны труда

Прибор предназначен для определения хлора или сернистого ангидрида в воздухе.

Схема прибора изображена на фиг. 105.

Засасывание анализируемого воздуха производится при помощи поглотительного раствора, поступающего в насос Уайта. Последний представляет своеобразный водоструйный насос. Каждая капля раствора, падающая в насос Уайта 1, увлекает с собою определенный объем воздуха. В змеевике 2 происходит абсорбция анализируемого раствора. Пройдя через газоотделитель, раствор поступает в стеклянную кювету 3, расположенную между фотоэлементом 6 и источником света 8. Чем интенсивнее окраска жидкости, тем больше лучистой энергии поглотится в кювете и тем меньше будет фототок. В данном случае применена схема прямого включения фотоэлемента (недифференциальная). Вторая кювета 4 используется для контроля постоянства силы источника света и может быть передвинута на место кюветы 3.



Фиг. 105. Схема фотоколориметрического газоанализатора Л.И.О.Т. 1 — насос Уайта; 2 — змеевик; 3, 4 — стеклянные кюветы; 5 — сосуд с поглотительным раствором; 6 — фотоэлемент; 7 — гальванометр; 8 — источник света; 9 — вольтметр; 10 — реостат; 11 — понижающий трансформатор.

Осветительная лампа питается от трансформатора 11 с насыщенным сердечником, чем достигается сравнительно мало меняющееся на-

пряжение во вторичной обмотке. Регулировка накала лампы может производиться при помощи реостата 10.

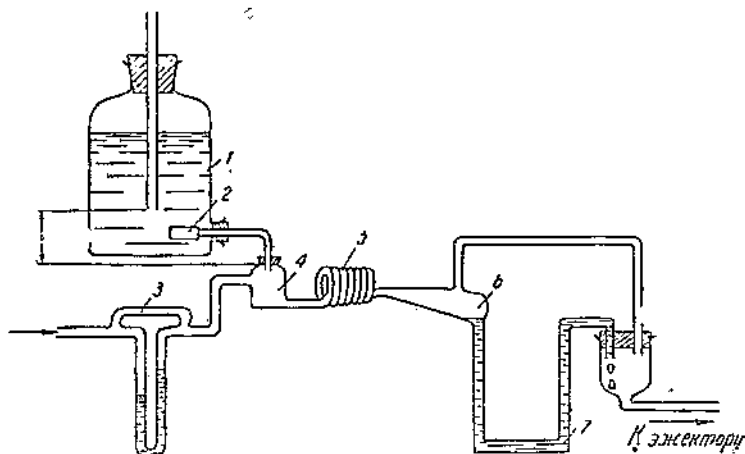
В качестве поглотительных жидкостей применяются раствор KJ с крахмалом для определения хлора и раствор перманганата для определения SO_2 .

По данным авторов этой конструкции прибор имеет максимальную чувствительность для хлора $0,005 \text{ мг/л}$, для SO_2 $0,002 \text{ мг/л}$.

Прибор Московского института охраны труда

Описанный выше прибор обладает существенными недостатками. К ним относятся в первую очередь схема прямого отсчета с одним фотоэлементом и большой расход поглотительного раствора, так как последний является по сути силовой жидкостью прибора.

В приборе, разработанном Московским институтом охраны труда, гидравлическое устройство (см. фиг. 106) действует за счет разрежения,



Фиг. 106. Фотоколориметрический газоанализатор М.И.О.Т. 1 — сосуд Мариотта с поглотительным раствором; 2 — дроссель; 3 — реометр; 4 — смеситель; 5 — змеевик; 6 — воздухоотделитель; 7 — кювета.

создаваемого эжектором. Поглотительный раствор вытекает из сосуда Мариотта 1 через дроссель 2 в смеситель 4. Воздух поступает туда же через капилляр контрольного реометра 3. Абсорбция анализируемого компонента осуществляется в горизонтально расположенном змеевике 5, откуда через воздухоотделитель 6 жидкость поступает в кювету 7. Изменение разрежения в одинаковой степени сказывается (при определенном значении h — см. схему) на скоростях газа и жидкости, проходящих через дроссели в смеситель.

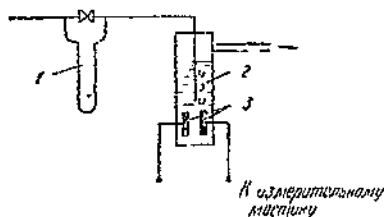
Фотоэлектрическая схема дифференциальная с оптической компенсацией. Последняя осуществляется с помощью диска, частично затемняющего пучок света, падающий на один из фотоэлементов. Диск приводится во вращение в ту или иную сторону посредством реверсивного мотора, включающегося при отклонении гальванометра от нулевого положения. Угол поворота диска определяет собой изменение окраски в измерительной кювете, и с этим диском может быть связано то или иное показывающее или записывающее устройство.

3. Кондуктометрические приборы

Не только изменение окраски абсорбирующей жидкости, но и изменение ее любого физического свойства может быть положено в основу автоматического газоанализатора. В частности, нашли применение приборы, основанные на изменении электропроводности абсорбирующих жидкостей.

В качестве примера рассмотрим так называемый Дели-аппарат, предназначенный для определения CO_2 и CO при весьма незначительных содержаниях их в газовой смеси — порядка тысячных долей процента.

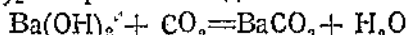
Дели-аппарат применяется при контроле синтеза аммиака. Азотоводородная смесь, поступающая на колонну синтеза, не должна содержать (для некоторых типов установок) свыше 0,003—0,004% CO и примерно столько же CO_2 . Большие концентрации могут вызвать отравление катализатора в колонне синтеза. Принципиальная схема прибора изображена на фиг. 107.



Фиг. 107. Принципиальная схема кондуктометрического газоанализатора. 1 — реометр; 2 — абсорбер; 3 — электроды.

Определение CO_2 в газе производится следующим путем. Анализируемый газ, пройдя через реометр 1, применяемый для контроля постоянства скорости газа, поступает в абсорбер 2, содержащий

раствор в $\text{Ba}(\text{OH})_2$. При взаимодействии с CO_2 по уравнению



$\text{Ba}(\text{OH})_2$ переходит в нерастворимый BaCO_3 . В результате уменьшения количества ионизированных молекул в растворе, электропроводность последнего уменьшается. Изменение электропроводности пропорционально количеству поглощенной углекислоты, а содержание последней в анализируемом газе пропорционально отношению изменения электропроводности (или сопротивления) к объему пропущенного газа за тот же отрезок времени

$$\text{CO}_2 = K_1 \frac{\Delta R}{\Delta V},$$

так как при постоянной скорости газа W

$$\Delta V = W \Delta \Theta,$$

где $\Delta \Theta$ — отрезок времени — изменение ординаты времени на диаграмме, то

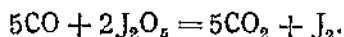
$$\text{CO}_2 = K_1 \frac{\Delta R}{W \Delta \Theta} = K_2 \frac{\Delta R}{\Delta \Theta}.$$

Если вторичный регистрирующий прибор газоанализатора записывает на диаграммной ленте по оси y сопротивление раствора $\text{Ba}(\text{OH})_2$, а по оси x отложено время, то

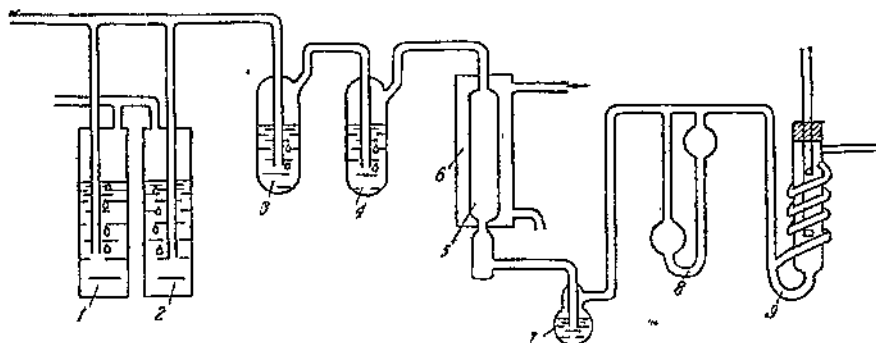
$$\text{CO}_2 = K_2 \frac{dy}{dx} = K_2 \text{tg} \varphi.$$

Следовательно, при такой системе координат содержание CO_2 пропорционально тангенсу угла наклона кривой сопротивления.

Определение СО производится таким же путем, с той разницей, что СО предварительно окисляется до CO_2 . Окись углерода окисляется посредством пятиоксида йода по реакции



Реакция протекает при температуре около 100°C . Схема установки для определения СО изображена на фиг. 108.



Фиг. 108. Схема Дели-аппарата. 1, 2 — гидравлические регуляторы давления; 3 — поглотитель с КОН для поглощения CO_2 ; 4 — поглотитель с концентрированной H_2SO_4 ; 5 — реакционная трубка с J_2O_5 ; 6 — паровая рубашка; 7 — поглотитель с КJ для улавливания паров йода; 8 — реометр; 9 — ячейка переменной электропроводности.

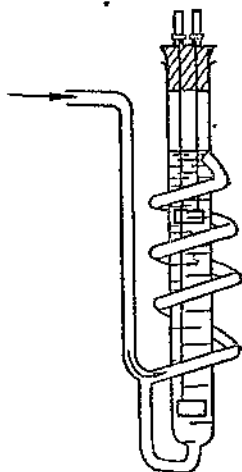
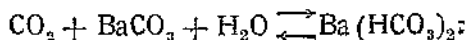
Ячейка переменной электропроводности — сосуд, в котором поглощается CO_2 и одновременно измеряется электропроводность, изображена на фиг. 109. Абсорбция CO_2 производится в змеевиковой трубке, электроды установлены в цилиндрической части ячейки. Для компенсации влияния температуры во второе плечо моста включен также раствор $\text{Ba}(\text{OH})_2$ в эталонной ячейке, помещенной в общий заполненный водою сосуде с измерительной ячейкой.

Во избежание поляризации электродов измерение производится при помощи переменного тока. Падение электропроводности раствора измеряется мостиком Кольрауша или автоматическим уравновешенным мостом переменного тока.

Недостатком описанного прибора является необходимость подсчета для получения результатов измерения.

Этот недостаток был бы устранен, если бы раствор барита непрерывно, с постоянной скоростью поступал в ячейку электропроводности.

Другой путь для получения непосредственных результатов при измерении сопротивления жидкости — это использование реакции



Фиг. 109. Ячейка переменной электропроводности.

Измерительная ячейка заполняется в этом случае суспензией нерастворимого BaCO_3 , который переходит под действием CO_2 в растворенную кислую соль — бикарбонат бария. Положение равновесия, следовательно и электропроводность раствора, зависит от парциального давления CO_2 в газовой смеси.

Приборы, основанные на тепловом эффекте сгорания

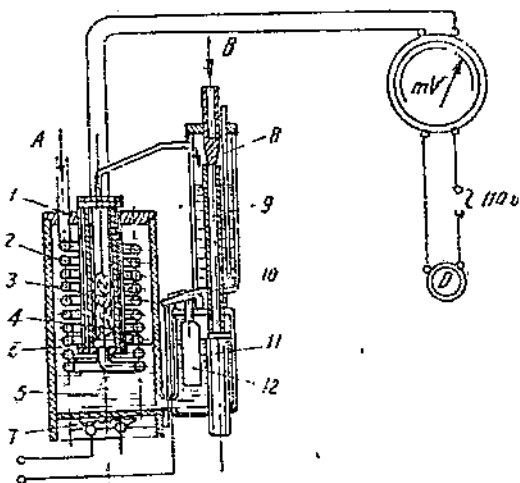
Автоматический газоанализатор на следы окиси углерода в воздухе.

Выше (глава X) были рассмотрены схемы газоанализаторов, основанных на измерении теплового эффекта сгорания. В применении к анализу малых концентраций CO в воздухе используется реакция окисления CO . В присутствии катализатора — гопкалита окись углерода может быть окислена при температуре около 100°C , а в некоторых случаях и при более низкой температуре.

Описываемый ниже прибор соответствует по принципу конструкции Американского горного бюро (см. фиг. 58). Прибор разработан

Ленинградским институтом охраны труда. Схема прибора изображена на фиг. 110.¹

Анализируемый воздух поступает в прибор через ввод А. При загрязненном воздухе аппарат имеет предварительный фильтр, не изображенный на схеме. Проходя через змеевик 2, расположенный частично в водяном паре, частично в кипящей воде, воздух принимает температуру 100°C . В наружном корпусе прибора залита вода, которая постоянно находится в кипящем состоянии, благодаря наличию нагревательного элемента 7. Вода и ее пары нагревают змеевик 2 и реакционный цилиндр с полыми стенками. Между стенками цилиндра имеется



Фиг. 110. Схема газоанализатора Л.И.О.Т. на следы CO . А — ввод газа; 1 — цилиндр с полыми стенками; 2 — змеевик; 3 — слой гопкалита; 4 — пемза; 5 — наружный корпус; 6 — вода; 7 — нагревательный элемент; 8 — трубка; 9 — эжектор; 10 — ртутный выключатель; 11 — сливная трубка; 12 — поплавок.

воздушный кольцевой зазор для того, чтобы получить более или менее равномерную температуру по его высоте. Газ, поступающий в реакционный цилиндр, проходит сначала через слой пемзы 4, затем через слой гопкалита 3. Само собой разумеется, что слой пемзы имеет тем-

¹ В последнее время Макеевским институтом охраны труда и техники безопасности в горной промышленности разработаны более совершенные конструкции газоанализаторов на CO — таюке с гопкалитом, но без подогрева реакционного сосуда.

пературу 100°C , в слое же гопкалита происходит окисление CO , за счет чего температура этого слоя повышается.

При постоянной скорости анализируемого воздуха через систему повышение температуры в гопкалите является линейной функцией содержания CO . Таким образом, по разности температуры между слоем пемзы и гопкалита можно непосредственно судить о содержании CO в воздухе. Так как эта разность температур невелика (несколько градусов), то для ее измерения применяется термобатарея, представляющая собой ряд последовательно соединенных медь-константановых термопар. Практически число термопар в батарее составляет от 30 до 50.

Из реакционного цилиндра газ по соединительной трубке поступает к эжектору 9, создающему разрежение, необходимое для просасывания газа через систему. Так как при колебаниях напора воды разрежение может меняться, то для его поддержания на постоянном значении устанавливается регулирующая трубка 8, не позволяющая разрежению увеличиться больше значения глубины погружения трубки в воду.

Благодаря поддержанию постоянного разрежения, сохраняется неизменная скорость прохождения воздуха через катализатор.

Так как в сосуде происходит постепенная убыль воды за счет испарения, то для поддержания ее на постоянном уровне вода из эжектора поступает в сосуд через соединительную трубку.

В виду того, что прекращение подачи воды может вызвать перегрев основания сосуда и вывести из строя прибор, газоанализатор имеет автоматическое выключающее устройство, состоящее из ртутного выключателя. При падении уровня воды поплавков 12 опускается, переключатель поворачивается вокруг своей оси и выключает цепь питания нагревательного элемента 7. Гальванометр обычно применяется контактного типа и при повышении содержания CO выше допустимого предела включает цепь звуковой и световой сигнализации.

Описанная выше конструкция прибора сигнализатора обладает чувствительностью $0,01 \text{ мг/л CO}$ в воздухе, вся шкала прибора имеет 150 делений, что соответствует $1,5 \text{ мг/л CO}$ в воздухе. Инерция прибора, в зависимости от расстояния, на котором находится точка забора исследуемого воздуха от сигнализатора, колеблется от 1,5 до 2,5 мин.

Градуйровка прибора производится эмпирически: создают определенные концентрации CO и находят деления шкалы сигнализатора, соответствующие данной концентрации. Так как количество тепла, выделившегося при сгорании CO , прямо пропорционально концентрации, то для градуировки достаточно взять 2 или 3 точки и соединить их прямой, которая и дает расположение остальных точек.

В случае присутствия в воздухе примесей кислотного характера, для избежания порчи гопкалита, на сигнализатор навинчиваются поглотительные патроны с едкой щелочью.

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБУЕМОЙ ТОЧНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Каждому автоматическому газоанализатору свойственна определенная погрешность, которая не может быть снижена без внесения принципиальных изменений в метод анализа. Это — органическая погрешность метода анализа.

Возможность использования того или иного прибора может быть установлена на основе анализа его целевого назначения. Необходимая точность измерения должна быть подсчитана, исходя из влияния концентрации анализируемого компонента на учитываемые показатели производственного процесса, определяющие его технико-экономическую эффективность.

При определении одного и того же компонента в различных контрольных точках одного процесса к приборам могут быть предъявлены совершенно разнообразные требования в отношении точности. Наглядным примером этого может служить определение CO_2 в очистном отделении аммиачного производства. В то время, как в исходном газе (поступающем из конверсии) содержание CO_2 достаточно определять с абсолютной погрешностью порядка $f_a = \pm 0,4\%$, в газовой смеси, выходящей после аммиачно-медной очистки, содержание CO_2 должно быть определено с точностью порядка $f_a = \pm 0,0005\%$.

Наиболее характерным случаем автоматического газового анализа является контроль топочного процесса. В конечном счете состав газа определяет величины Q_2 — потери с отходящими газами и Q_3 — потери химической неполноты сгорания.

Величина Q_2 непосредственно связана с коэффициентом избытка воздуха α , так как последним определяется объем продуктов сгорания. Величина Q_3 пропорциональна содержанию продуктов неполного сгорания $\text{CO} + \text{H}_2$ в газовой смеси. Таким образом, для контроля такого процесса необходимо следить за значениями α и $\text{CO} + \text{H}_2$.

От анализа $\text{CO} + \text{H}_2$ во многих случаях можно отказаться. При рационально сконструированных топках, поддерживая α (выраженный в процентах избыточного воздуха) порядка 10–20%, можно свести содержание $\text{CO} + \text{H}_2$ к нулю или к практически незначительным концентрациям.

Значение α при отсутствии в газе CO и H_2 может быть определено из уравнения

$$\alpha = 100 \frac{79}{N_2} \left(\frac{\text{CO}_2 \text{max}}{\text{CO}_2} - 1 \right), \quad (1)$$

$$\alpha = 100 \frac{79}{N_2} \left(\frac{O_2}{21 - O_2} \right). \quad (2)$$

Величины $\frac{79}{N_2}$ и $\text{CO}_2 \text{max}$ — постоянные для каждого вида топлива и зависят от содержания водорода в нем.

Из уравнений (1) и (2) следует, что контроль α может быть осуществлен путем анализа топочных газов либо на CO_2 , либо на O_2 .

Определим точность определения CO_2 и O_2 , необходимую для контроля α с точностью $\pm 2\%$. Рассмотрим топку, работающую на каменном угле с диапазоном $\alpha = 0$ –50%. Мы имеем: при $\alpha = 0\%$ $\text{CO}_2 = 18,5\%$, $O_2 = 0\%$; при $\alpha = 50\%$ $\text{CO}_2 = 12,2\%$, $O_2 = 7,0\%$.

Для определения α с точностью $\pm 2\%$, абсолютная погрешность газоанализатора на CO_2 должна составить

$$f_a = \frac{18,5 - 12,2}{50} \cdot 2 = 0,25\%.$$

То же для газоанализатора на O_2

$$f_a = \frac{7,0 - 0}{50} \cdot 2 = 0,28\%.$$

Таким образом может быть установлена необходимая точность приборов для контроля топочных процессов. Полученные результаты для CO_2 и O_2 почти равновалены; однако из сравнения допустимых значений относительной погрешности следует, что определение O_2 рациональнее. При шкале газоанализатора на O_2 0—7% и газоанализатора на CO_2 0—20% относительные погрешности составят:

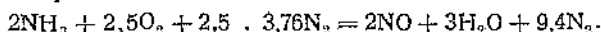
для CO_2
$$f_r = \frac{0,25}{20} \cdot 100 = 1,25\%;$$

для O_2
$$f_r = \frac{0,28}{7} \cdot 100 = 4,0\%.$$

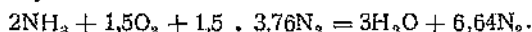
Полученные результаты следуют из того, что при определении O_2 используется весь диапазон прибора, в то время как в газоанализаторе на CO_2 используется около третьей части его.

В целом ряде каталитических процессов чрезвычайно важную роль играет контроль полноты реакции — процента контактирования.

При производстве азотной кислоты аммиак окисляется кислородом воздуха до окиси азота по реакции:



Наряду с этим протекают побочные реакции, в конечном итоге приводящие к элементарному азоту:



При отклонениях режима процесса от нормы последняя реакция усиливается и содержание NO в газе падает. С достаточной степенью точности можно считать, что коэффициент конверсии аммиака пропорционален отношению $\frac{NO}{NH_3}$. Нормально

процесс ведется с коэффициентом конверсии равным 95—96% и допустимые отклонения его не должны превышать 0,5%. Следовательно, относительная погрешность анализа не должна превышать $\pm 0,5\%$, а абсолютная погрешность при содержании NO в газовой смеси (влажной) 10% составит $f_a = \pm 0,05\%$.

Вычисленное значение действительно только при совершенно точном определении NO , а так как это условие практически невыполнимо, допустимая погрешность анализа NO должна быть меньше 0,05%.

Значительно более благоприятные возможности представляет контроль таких процессов, в которых величина коэффициента контактирования может быть определена по концентрации вещества, не вошедшего в реакцию. Так, при контроле контактного производства серной кислоты наиболее целесообразно определять коэффициент контактирования по остаточному SO_2 . Этот коэффициент может быть вычислен (в процентах) по приближенной формуле:

$$K = 100 \left(1 - \frac{SO'_2}{SO''_2} \right), \quad (3)$$

где SO'_2 — содержание SO_2 до контактного аппарата;
 SO''_2 — содержание SO_2 после контактного аппарата.
 Отсюда может быть определено значение

$$SO''_2 = \frac{100 - K}{100} SO'_2; \quad (4)$$

Если содержание SO_2 до контактного аппарата составит 8% и процент контактирования $K = 92\%$, то

$$SO''_2 = \frac{100 - 92}{100} \cdot 8 = 0,64\%.$$

Как и в предыдущем случае, допустимое отклонение K не должно превысить $\pm 0,5\%$. При $K = 92,5\%$ имеем

$$SO''_2 = \frac{100 - 92,5}{100} S = 0,60\%.$$

Таким образом, абсолютная погрешность $f_a = 0,04\%$, т. е. одного порядка с предыдущим примером. Однако определение остаточного SO_2 позволяет значительно уменьшить диапазон измерения прибора. При шкале газоанализатора $1,6\%$ (позволяющей контролировать в пределах от 80 до 100%) допустимая относительная погрешность составит:

$$f_r = \frac{0,64 - 0,60}{1,6} \cdot 100 = \pm 2,5\%$$

вместо $\pm 0,5\%$ в предыдущем случае.

Аналогично решается вопрос о целесообразных методах контроля полноты реакции при конверсии окиси углерода или метана. В обоих случаях коэффициент конверсии должен определяться соответственно по остаточным CO и CH_4 в продуктах реакции.

Требуемая точность определения окиси углерода в воздухе производственного помещения.

Имеем следующие данные о влиянии различных концентраций CO на человеческий организм.

- Предельная допустимая концентрация $p_1 = 0,02\%$.
- Концентрация, вызывающая болезненные симптомы, $p_2 = 0,1\%$.
- Смертельная (при часовой экспозиции) концентрация $p_3 = 0,4\%$.

Для обеспечения надежности предупреждения при возникновении опасной концентрации CO максимальная абсолютная погрешность не должна превышать

$$f_a = \pm 0,25 (p_2 - p_1), \quad (5)$$

а относительная погрешность при шкале, соответствующей p_3 , составит

$$f_r = \pm 0,25 \frac{p_2 - p_1}{p_3} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Подставляя приведенные значения p_1 , f_a и p_3 , получаем $f_a = \pm 0,02\%$ и $f_r = \pm 5\%$.

Повышение значения абсолютной погрешности в данном случае не может быть допущено, относительная же погрешность может быть увеличена уменьшением диапазона измерения. Так, при шкале $0-0,2\%$ достаточной для подобного прибора, можно иметь $f_r = \pm 10\%$.

Обычно измерительная система автоматического анализатора состоит из нескольких последовательных звеньев, каждое из которых работает с определенной погрешностью под влиянием различных факторов.

Вероятная результирующая погрешность определится формулой:

$$f = \sqrt{f_1^2 + f_2^2 + \dots + f_n^2}. \quad (7)$$

Рассмотрим в качестве примера газометрический (химический) газоанализатор на CO_2 со шкалой $0-20\%$. Разобьем работу измерительной системы на звенья (см. таблицу).

№ зв. п/п.	Звено	Операция	Относительная погрешность
1	Волюметр	Первичный отмер газа	0,5% (неточность отсечки)
2	Абсорбционный сосуд	Поглощение анализируемого компонента из газовой смеси	1,0% (неполнота поглощения)
3	Измерительный колокол	Вторичный отмер газа (после поглощения анализируемого компонента)	5,0% (влияние температуры и влажности)
4	Подвижная система газоанализатора	Перемещение пара и ползунок реостата	2,0% (влияние сил трения)
5	Дистанционный указатель	Отсчет результатов анализа на расстоянии	1,5% (погрешность логометра)

Подставляя приведенные величины в уравнение (7), получим:

$$f = \sqrt{0,5^2 + 1^2 + 5^2 + 2^2 + 1,5^2} = 5,7\%.$$

Точность работы всей измерительной системы определяется звеном, вызывающим наибольшую погрешность, в данном случае звеном 3 (измерительный колокол).

Если, например, применить в качестве последнего звена 5, вместо логометра с погрешностью $\pm 1,5$, автоматический потенциометр, для которого $f_r = \pm 0,5\%$, то точность анализирующего прибора повысится всего лишь на $0,2\%$, потому что в этом случае

$$f = \sqrt{0,5^2 + 1^2 + 5^2 + 2^2 + 0,5^2} = 5,5\%.$$

С другой стороны, уменьшение диапазона измерения, например до шкалы $0-10\%$, сильно влияющее на работу звеньев 3 и 4, резко увеличивает погрешность системы. В этом случае можно принять для обычных условий эксплуатации $f_3 = \pm 10\%$ и $f_4 = \pm 8\%$ и

$$f = \sqrt{0,5^2 + 1^2 + 10^2 + 8^2 + 1,5^2} = 12,9\%.$$

Анализ итоговой погрешности позволяет найти пути к ее уменьшению. Так, например, для того, чтобы абсорбционный газоанализатор со шкалой $0-10\%$ работал с приемлемой точностью, необходимо снизить величины f_3 и f_4 . Погрешность измерения остаточного объема газа в колоколе может быть снижена помещением газоанализатора в среде с неизменной температурой и устранением системы забора газа, в которой вода, приводящая в действие газоанализатор, могла бы влиять на температуру газа при первичном отмере. Влияние сил трения может быть почти полностью исключено применением системы механического усиления, например применяемой в газоанализаторах «Термотехник».

При выполнении этих условий можно снизить f_3 до $\pm 3\%$ и f_4 до $\pm 0,5\%$ и получить вполне удовлетворительный газоанализатор со шкалой $0-10\%$, имеющий погрешность

$$f = \sqrt{0,5^2 + 1,1^2 + 3^2 + 0,5^2 + 1,5^2} = 3,6\%.$$

Приложение 2

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ТИПОВ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ

1. Газоанализаторы типа Адос, выпускаемые в Союзе

Газоанализаторы симплекс на CO_2 (табл. 1)

Таблица 1

Марка газоанализатора	Шкала газоанализатора	Ширина диаграммной ленты, (в мм)	Цена деления на диаграмме и на вторичном показывающем приборе (в %)	Абсолютная погрешность (в %)	
				на диаграмме — отклонения от истинного значения	на вторичном приборе — отклонения от диаграммы
ГУ-40-253	0-20	40	1	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
ГУ-41-253	0-30	40	1,5	$\pm 0,75$	$\pm 0,75$
ГУ-42-253	0-40	40	2	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$

Количество анализов в час 25-30.

Закрывающая жидкость в волюметре — раствор поваренной соли, замыкающая жидкость в затворах — вазелиновое масло, поглотительная жидкость — раствор КОН удельного веса 1,27. Расход воды на питание газоанализатора около 100 л/час. Габаритные размеры газоанализатора $1132 \times 560 \times 260$ мм. Вес газоанализатора около 80 кг.

В качестве вторичного показывающего прибора, так же как для всех других газоанализаторов, выпускаемых в Союзе и имеющих дистанционную передачу, применяются магнито-электрические логометры.

Газоанализатор на O_2 (табл. 2)

Таблица 2

Марка газо- анализатора	Шкала (в %)	Ширина диаграм- мной лен- ты (в мм)	Цена деления на диаграмме и на вторичном показывающем приборе (в %)	Абсолютная погрешность (в %)	
				на диаграмме— отклонения от истинного зна- чения	на вторич- ном прибо- ре—отклоне- ния от диа- граммы
ГК-30-253	0—5	40	0,25	$\pm 0,3$	$\pm 0,125$
ГК-31-253	0—10	40	0,5	$\pm 0,4$	$\pm 0,25$
ГК-32-253	0—20	40	1,0	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$

Габаритные размеры газоанализатора $700 \times 1180 \times 270$ мм. Вес газоанализатора около 60 кг. Электрическая печь получает питание от сети 110 или 220 в. Потребляемая мощность около 60 вт. Остальные данные те же, что и для газоанализатора ГУ-40/42-253.

Газоанализатор дуплекс на CO_2 и $CO + H_2$ (табл. 3)

Таблица 3

Марка газо- анализатора	Шкала (в %)		Ширина диаграммной ленты (в мм)		Цена дел- ния на диа- грамме и на вторичном приборе		Абсолютная погрешность (в %)			
							на диаграм- ме—отклоне- ния от истин- ного значе- ния		на вторичном приборе— отклонения от диаграм- мы	
	CO_2	$CO + H_2$	CO_2	$CO + H_2$	CO_2	$CO + H_2$	CO_2	$CO + H_2$	CO_2	$CO + H_2$
ГД-40-253	0—20	0—5	40	20	1	0,5	$\pm 0,5$	$\pm 0,4$	$\pm 0,3$	$\pm 0,1$
ГД-41-253	0—30	0—5	40	20	1,5	0,5	$\pm 0,75$	$\pm 0,4$	$\pm 0,45$	$\pm 0,1$
ГД-42-253	0—40	0—5	40	20	2	0,5	$\pm 1,0$	$\pm 0,4$	$\pm 0,60$	$\pm 0,1$

Расход воды на газоанализатор около 200 л/час; Потребляемая мощность электрической печи 110 вт.

Габаритные размеры газоанализатора $4920 \times 940 \times 300$ мм. Остальные дан-ные те же, что и для газоанализатора ГУ-40/42-253.

Газоанализатор триплекс на CO_2 , CO и H_2 (табл. 4)

Таблица 4

Марка газо-анализатора	Шкала (в %)			Диапазон для H_2		Цена деления на диаграмме и на вторичном приборе		
	CO_2	CO	CO	мин.	макс.	CO_2	CO	CO
ГТ-10-213	0—20	0—20	60—100	40—60	33—67	1	1	2
ГТ-11-213	0—20	0—40	0—40	0—13	0—26	1	2	2

Марка газо-анализатора	Абсолютная погрешность (в %)					
	на диаграмме—отклонения от истинного значения			на вторичном приборе—отклонения от диаграммы		
	CO_2	CO	H_2	CO_2	CO	H_2
ГТ-10-213	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
ГТ-11-213	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 0,7$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 0,3$

Ширина диаграммы для каждого компонента 40 мм. Расход воды на газоанализатор около 150 л/час. Мощность, потребляемая электрической печью, 220 Вт. Габаритные размеры газоанализатора 1456×945×338 мм. Остальные данные те же, что и для газоанализатора ГУ-40/42-253.

2. Газоанализаторы типа МОНО

Газоанализаторы типа МОНО с водяным приводом выпускались в Союзе с самыми разнообразными шкалами — в зависимости от требований потребителя. Минимальная допустимая шкала для абсорбционных газоанализаторов 0—10%, для газоанализаторов с сжиганием в принципе допустимо уменьшение диапазона измерения, например для O_2 до 0—8%. Могут изготавливаться газоанализаторы с пониженным нулем.

Относительная погрешность газоанализаторов в благоприятных условиях эксплуатации $\pm 2\%$, т. е. для газоанализатора со шкалой 0—20%, $f_a = \pm 0,4\%$. Число анализов составляет от 20 до 30 в час. Ширина диаграммной ленты 63 мм. Диаграмма приводится в движение часовым механизмом с 5—7-суточным заводом.

Габариты газоанализатора абсорбционного (без печей) 760 × 320 × 180 мм. Габариты газоанализатора с одной печью, помещенной сбоку (например на O_2), 760 × 515 × 180 мм. Габариты газоанализатора с двумя печами (например на CH_4), 870 × 515 × 180 мм.

Газоанализаторы типа МОНО с механическим приводом симплекс с поглощением, выпускаемые в Союзе (табл. 5).

Таблица 5.

Анализируемый компонент	Марка газоанализатора	Диапазон измерения (в %)	Ширина диаграммы (в мм)	Цена деления на диаграмме и на вторичном приборе (в %)	Абсолютная погрешность (в %)	
					на диаграмме — отклонения от истинного значения	на вторичном приборе — отклонения от диаграммы
CO_2	ГУ-50-212	0—20	70	1	$\pm 0,5$	$\pm 0,25$
»	ГУ-51-212	0—40	70	2	$\pm 1,0$	$\pm 0,5$
SO_2	ГС-20-212	0—20	70	1	$\pm 0,5$	$\pm 0,25$
NH_3	ГА-21-212	0—20	70	1	$\pm 0,5$	$\pm 0,25$
»	ГА-22-212	0—30	70	1,5	$\pm 0,75$	$\pm 0,4$
»	ГА-23-212	0—40	70	2	$\pm 1,0$	$\pm 0,5$
Cl_2	ГХ-20-212	0—60	70	3	$\pm 1,5$	$\pm 0,75$
»	ГХ-21-212	40—100	70	3	$\pm 1,5$	$\pm 0,75$
HCl	ГХВ-10-212	0—40	70	2	$\pm 1,0$	$\pm 0,5$
»	ГХВ-11-212	60—100	70	2	$\pm 1,0$	$\pm 0,5$

Число анализов постоянно — оно определяется числом оборотов мотора и передаточным числом редуктора; приведенные конструкции газоанализаторов рассчитаны на выполнение 27 анализов в час.

Питание мотора осуществляется от сети переменного тока 110 в. Потребляемая мощность составляет 50 Вт.

Для передвижения диаграммной ленты применяется мотор Воррена мощностью 6 Вт.

Габаритные размеры газоанализатора 781 × 467 × 239 мм, вес газоанализатора около 30 кг.

3. Газоанализаторы типа «Термотехник»

Фирмой «Термотехник» выпускаются следующие типы газоанализаторов:

1. «Комеко» (Comeco) на CO_2 .
2. «Кохамеко» (Cohameco) на $CO_2 + H_2$ в топочных газах.

3. «Омеко» (Omeco) на кислород в топочных газах.
4. «Охамеко» (Ohameco) на кислород в горючих газах.
5. «Переносный Меко» на углекислоту.

Фирма «Термотехник», ориентировавшаяся, как видно из приведенного перечня, до сих пор исключительно на газоанализаторы симплекс, в последнее время рекламирует также газоанализаторы триплекс на CO_2 , CO и H_2 .

Все типы газоанализаторов «Термотехник», за исключением переносного, могут быть снабжены дистанционной передачей.

Вторичные показывающие приборы выполняются круглого и профильного типа. Круглые приборы имеют диаметр 400 мм.

Диаграммная лента в старых моделях передвигалась в горизонтальном направлении, в новых — в вертикальном. Запись непрерывная. Ширина диаграммы для старых моделей 60 мм, для новых 70 мм. В новых моделях, помимо регистратора, в корпусе газоанализатора имеется круглый стрелочный указатель диаметром 180 мм.

Размеры корпуса газоанализаторов «Термотехник» (для всех моделей, кроме переносного типа) 845 × 425 × 250 мм.

Размеры корпуса переносной модели 635 × 350 × 170 мм при весе около 10 кг. Потребляемая мощность мотора, приводящего в действие газоанализатор, 10 атт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ados — фирменные материалы.
2. Maihak (MONO) — фирменные материалы.
3. Термотехник — фирменные материалы.
4. Foxboro — фирменные материалы.
5. Siemens — фирменные материалы.
6. Завод Теплоприбор. Описания, инструкции по монтажу и эксплуатации газоанализаторов.
7. Завод Теплоприбор. Арматура химических газоанализаторов.
8. Эйкен. Физико-химический анализ в производстве.
9. Энциклопедия технических измерений (ЭТИ).
10. Daupness, Gas Analysis by Measurement of Thermal Conductivity.
11. Рыбак. Электрические газоанализаторы Сименса.
12. Файнберг. Сравнительная характеристика промышленных газоанализаторов. «Подземная газификация углей» № 6, 1935.
13. Файнберг. Абсорбционные автоматические газоанализаторы. «Заводская лаборатория» № 3, 1939.
14. Файнберг. Принципы конструирования автоматических газоанализаторов. «Точная индустрия» № 12, 1938, № 4 и № 6, 1939.
15. Файнберг. Автоматическое титрование газовых смесей. «Точная индустрия» № 10, 1936.