

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова  
Кафедра общей и биорганической химии

**В. Ю. Орлов, Н. С. Швыркова**

**Экологический мониторинг.  
Газоанализаторы для контроля  
загрязнения атмосферного воздуха**

*Методические указания*

*Рекомендовано  
Научно-методическим советом университета  
для студентов, обучающихся по специальности Экология  
и направлению Экология и природопользование*

Ярославль 2009

УДК 574  
ББК Б1я73  
О 66

*Рекомендовано  
Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного издания. План 2009 года*

Рецензент  
кафедра общей и биоорганической химии  
Ярославского государственного университета им. П. Г. Демидова

**Орлов, В. Ю. Экологический мониторинг. Газоанализаторы для контроля загрязнения атмосферного воздуха:** метод. указания / В. Ю. Орлов, Н. С. Швыркова ; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. – Ярославль : ЯрГУ, 2009. – 40 с.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по специальности 020801 Экология и направлению 020800 Экология и природопользование (дисциплина "Экологический мониторинг", блок ОПД), очной и заочной форм обучения.

УДК 574  
ББК Б1я73

© Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова, 2009

# Введение

Создание системы мониторинга достоверного контроля за загрязнением атмосферы и источниками выбросов является одной из важнейших экологических проблем, направленных на устранение негативных последствий воздействия антропогенных загрязняющих веществ на окружающую природную среду и атмосферу в частности.

Основным направлением решения приоритетных аналитических задач является автоматизация наблюдения за уровнем загрязнения атмосферного воздуха. Только такой путь развития обеспечит достоверный и систематический контроль качества атмосферы.

Современный этап развития общегосударственной службы наблюдений и контроля за уровнем загрязнения среды характеризуется тенденцией перехода к автоматизированным методам и средствам контроля и обработки данных с целью сократить долю ручного труда при выполнении работ и повысить оперативность и достоверность информации.

Очевидно, что автоматизированному контролю должны подвергаться приоритетные загрязнители атмосферы, включенные в международную программу Глобальной системы мониторинга окружающей среды ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\Sigma\text{CH}$ ,  $\text{Hg}$ ), а также имеющие достаточно большое местное значение в целом ряде регионов ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{Cl}_2$ ).

# 1. Общие сведения об автоматических газоанализаторах

*Автоматический газоанализатор – прибор, в котором отбор пробы воздуха, определение количества контролируемого компонента, выдача и запись результатов анализа, а затем и удаление пробы производятся автоматически по заданной программе без участия обслуживающего персонала.*

Общие технические требования к автоматическим газоанализаторам (далее – газоанализаторы) для контроля загрязнения атмосферы изложены в ГОСТ 17.2.6.02-85.

В зависимости от условий применения газоанализаторы подразделяют на:

- стационарные, предназначенные для стационарных помещений или станций контроля загрязнения атмосферы;
- транспортируемые – для передвижных лабораторий контроля загрязнения атмосферы;
- переносные – для работы на открытом воздухе.

Газоанализаторы изготавливают в соответствии с требованиями приведенного выше стандарта, стандартов или технических условий на газоанализаторы конкретного типа по рабочим чертежам, утвержденным в установленном порядке.

Содержание измеряемого компонента должно быть определено массовой концентрацией компонента, выраженной в миллиграммах на кубический метр ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ).

В стандартах и технических условиях на газоанализаторы конкретного типа должны быть указаны *допустимые пределы измерений* на входе газоанализатора следующих параметров:

- массовых концентраций измеряемых компонентов (одного компонента) газовых смесей;
- объемного расхода, температуры и давления газовой смеси относительно установленных номинальных значений;
- неинформативных параметров – массовых концентраций неизмеряемых компонентов газовой смеси, в том числе влаги;

- содержания и размеров взвешенных в газовой смеси твердых и жидких частиц и коррозионно-активных примесей.

Указанные параметры должны быть установлены для контроля метрологических характеристик и для рабочих условий применения газоанализаторов.

Газоанализаторы с устройством осреднения должны иметь *два информационных выхода для мгновенного и среднего за 20 минут значений измеряемой величины.*

*Пределы измерений газоанализаторов* необходимо устанавливать исходя из значений максимально разовых и среднесуточных предельно допустимых массовых концентраций загрязняющих веществ в атмосфере городов и населенных пунктов.

Верхний предел не должен превышать 100-кратного значения максимально разовых предельно допустимых концентраций (ПДК).

Для первого диапазона измерений газоанализатора следует выбирать верхний предел измерений – (2-10) максимально разовых ПДК, нижний – не более 0,5 среднесуточных ПДК.

Для измерения фоновых загрязнений атмосферы пределы устанавливаются с учетом рекомендаций Всемирной метеорологической организации (ВМО).

По способу получения результатов измерения газоанализаторы подразделяются на регистрирующие и сигнализирующие.

В сигнализаторах осуществляется только сигнализация о достижении заранее установленного значения концентрации анализируемого компонента (или их суммы) и они не предназначены для количественной оценки фактической концентрации.

Исходя из опыта эксплуатации, анализаторы газов должны быть рентабельны в эксплуатации и обеспечены доступными средствами их периодической поверки и корректировки, при этом в газоанализаторах должны быть использованы методы анализа загрязнителей, общепризнанные в мировой практике.

На рис. 1 показана функциональная схема автоматического газоанализатора.

Главной составной частью автоматического газоанализатора является датчик 4, в котором возникает выходной сигнал, зависящий от концентрации контролируемого компонента. Выходной

сигнал от датчика **4** после усиления или преобразования поступает на регистрирующее устройство **6**, где происходит измерение и запись величины сигнала.

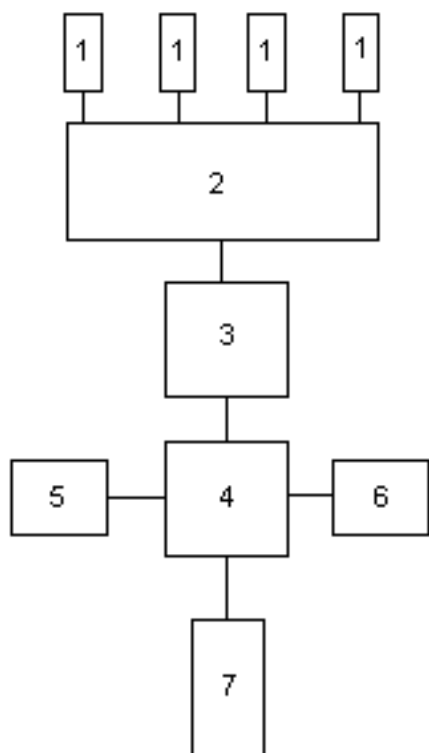


Рис. 1. Функциональная схема автоматического газоанализатора:

1 – очистительные и осушительные устройства; 2 – газораспределительный блок; 3 – стабилизатор и измеритель расхода газа; 4 – датчик; 5 – блок питания; 6 – регистрирующее устройство; 7 – побудитель расхода

Подготовка пробы воздуха (газа) к анализу осуществляется вспомогательными устройствами, к которым относятся средства отбора проб и очистки от механических примесей и влаги **1**, средства контроля и стабилизации расхода **3** анализируемого газа.

В качестве побудителя расхода **7** используются ротационные воздуходувки, диафрагменные (мембранные) насосы с электро-вибрационным приводом, эжекторные насосы.

Ротационные воздуходувки отличаются малыми габаритами и массой. В корпусе воздуходувки вращается ротор со вставленными в пазы лопастями, которые при вращении ротора прижимаются к внутренним стенкам корпуса и обеспечивают всасывание воздуха. Однако их применение весьма ограничено в связи со сложностью регулирования производительности в широких пределах и сильным шумом при работе.

Простым и экономичным побудителем расхода являются диафрагменные насосы. В простейшем виде такой насос подобен

поршневому, в котором поршень заменен пульсирующей диафрагмой. Диафрагменные насосы более долговечны, производят при работе малый уровень шума.

Принцип действия эжекторного насоса – протягивание газа с помощью разрежения, создаваемого в области питающего сопла вытекающей из него струей сжатого воздуха.

В соответствии с принципом действия (методом анализа), осуществляемого в датчике, газоанализаторы подразделяются на электрохимические, фотометрические, ионизационные, оптические, люминесцентные, термохимические, термомагнитные и т. д., каждый из которых имеет свои плюсы и минусы.

В универсальных многоканальных газоанализаторах используются разнообразные датчики для контроля нескольких загрязняющих веществ.

Рассмотрим принцип действия наиболее распространенных газоанализаторов.

## 2. Электрохимические газоанализаторы

Из электрохимических методов анализа для создания автоматических газоанализаторов наиболее широко используют *кулонометрический* и *кондуктометрический* методы.

Принцип действия *кондуктометрических* газоанализаторов заключается в поглощении анализируемого воздуха жидкой средой и измерение электропроводности раствора.

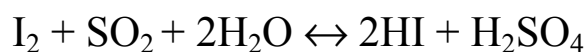
Кондуктометрические газоанализаторы отличаются простой конструкции, но имеют существенные недостатки, т. к. при определении одного газа (например  $SO_2$ ) влияют другие растворенные газы, которые увеличивают электропроводность раствора ( $NO_2$ ,  $CO_2$ ). Эти газоанализаторы имеют большую погрешность (до 50 %) при низких концентрациях и требуют периодической замены раствора в ячейке с последующей калибровкой.

В современных кондуктометрических газоанализаторах многие недостатки прежних моделей устранены путем улавливания мешающих веществ специальными фильтрами и применением термостатирования.

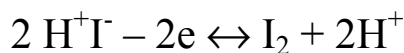
С учетом низких значений предела обнаружения контролируемых веществ, быстроты действия, простоты и компактности аппаратуры, кондуктометрический метод продолжает успешно применяться для определения  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CS}_2$ ,  $\text{Cl}_2$  и др.

Принцип действия *кулонометрического* газоанализатора основан на измерении токов электродных реакций.

На принципе потенциометрической кулонометрии основана работа газоанализатора «Атмосфера – 1М». Он предназначен для определения содержания  $\text{SO}_2$  в атмосферном воздухе и воздухе производственных помещений. В электрохимической ячейке происходит реакция  $\text{SO}_2$  с  $\text{I}_2$  в воде.  $\text{I}_2$  – очень сильный окислитель:

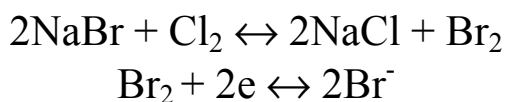


Иодоводород затем электроокисляется на измерительном электроде (положительном):



Возникающий при этом процессе ток измеряется, он и является мерой концентрации  $\text{SO}_2$ .

Газоанализатор «Атмосфера 11 М» предназначен для определения в атмосферном воздухе  $\text{Cl}_2$ . В нем используют предварительную реакцию  $\text{Cl}_2$  с  $\text{NaBr}$  с образованием  $\text{Br}_2$ , который затем количественно электровосстанавливается на измерительном электроде (отрицательном)



Эти газоанализаторы являются избирательными и довольно надежными в работе.

Стационарный кулонометрический газоанализатор «Палладий – ПМ1» предназначен для измерения оксида углерода в атмосферном воздухе.



Принцип действия газоанализатора основан на измерении тока электрохимического окисления оксида углерода на рабочем электроде ячейки. На рабочем электроде ячейки, находящемся при заданном потенциале, протекает реакция окисления кислородом оксида углерода до диоксида углерода. Электрод сравнения в реакции не участвует, имеет постоянный потенциал в растворе электролита и служит в качестве точки отсчета при задании потенциала рабочего электрода.

Недостатком кулонометрических газоанализаторов является также периодическая замена раствора в ячейке с последующей калибровкой.

Несмотря на минусы, электрохимические газоанализаторы получили достаточное распространение как наиболее дешевые, универсальные и простые.

### **3. Фотоколориметрические газоанализаторы**

Действие этих приборов основано на цветных избирательных реакциях между реактивом – индикатором в растворе, на ленте или специальном порошке и анализируемым компонентом воздушной смеси.

При этом мерой концентрации определяемого компонента является интенсивность окраски образующихся продуктов реакции.

Фотоколориметрические газоанализаторы обладают довольно высокой чувствительностью и избирательностью, что достигается выбором характерного химического реактива, используемого для приготовления индикаторного средства.

Преимуществом фотоколориметрического метода является возможность создания на его основе универсальных газоанализаторов, т. к. в приборе с разными индикаторными растворами (ленте, порошке) можно определять разные вредные вещества. Фотоколориметрическая методика, выбранная для автоматического анализа, должна отвечать следующим требованиям:

- устойчивости реактивов во времени,

- минимальному времени образования окрашенного соединения,
- чувствительности и специфичности реакций,
- небольшому числу реактивов, их невысокой токсичности,
- несложности приготовления растворов.

По принципу действия фотоколориметрические газоанализаторы подразделяют на жидкостные и ленточные.

В жидкостных газоанализаторах реакция протекает в растворе, а концентрацию определяемого компонента измеряют по светопоглощению раствора. Достоинством приборов этого типа является более высокая точность измерения. Однако в связи с наличием в них ряда механических устройств, обеспечивающих перекачивание и дозирование жидкости, их конструкция отличается сравнительной сложностью и громоздкостью, что препятствует широкому их внедрению в практику.

Для определения  $\text{NO}_2$  применяют отечественные жидкостные фотоколориметрические газоанализаторы ФК-4502, а для определения  $\text{H}_2\text{S}$  – ФК-5601. Также применяются и зарубежные газоанализаторы.

В автоматических газоанализаторах ленточного типа химическая реакция протекает на текстильной или бумажной ленте, пропитанной соответствующими реагентами заранее (сухая индикаторная лента) либо непосредственно перед ее фотоколориметрированием (мокрая индикаторная лента). О концентрации определяемого вещества судят по ослаблению светового потока, отраженного от участка индикаторной ленты, изменившей окраску в ходе анализа. Применение индикаторных лент позволило упростить конструкцию приборов, уменьшить их габариты и массу, повысить надежность в работе.

Ленточные фотоколориметрические газоанализаторы позволяют обнаруживать более низкие концентрации веществ по сравнению с жидкостными, хотя и уступают последним по точности измерений.

Для определения  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  разработан отечественный универсальный ленточный фотоколориметрический газоанализатор ФЛ-5501М, также существуют зарубежные аналоги.

## 4. Люминесцентные газоанализаторы

Люминесценцией называют свечение вещества, возникающее при переходе молекул из возбужденного состояния в основное.

Если возбуждение произошло за счет электромагнитного излучения в оптической области, то этот процесс называют *фотолюминесценцией*, а если в результате взаимодействия с химическим реагентом – *хемилюминесценцией*.

Люминесценция жидких растворов с длительностью возбужденного состояния  $8^{-10} - 10^{-9}$  с называется *флуоресценцией*.

Свечение продолжительностью до долей секунды – *фосфоресценцией* (чаще называют свечение кристаллов).

### **Флуоресцентные газоанализаторы**

В 1970-х годах на мировом рынке появились газоанализаторы для определения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, работающие на флуоресцентном методе анализа.

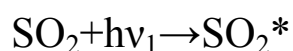
В основу флуоресцентного метода определения концентрации определяемого газа положена независимость спектра флуоресценции от длины волны возбуждающего излучения. Максимум спектра флуоресценции смещен в длинноволновую сторону от максимума спектра поглощения. С квантовой точки зрения это означает, что энергия кванта  $h\nu$  возбуждающего света частично расходуется на неоптические процессы.

Для выбора области возбуждения необходимо проанализировать спектр поглощения молекул анализируемого газа. Например, спектр поглощения  $\text{SO}_2$  состоит почти исключительно из дискретных узких полос. Наиболее длинноволновая и наименее интенсивная система полос в спектре поглощения  $\text{SO}_2$  расположена в области 390 ... 340 нм. В интервале длин волн 340 ... 260 нм наблюдается непосредственно примыкающая к этой системе более интенсивная система полос поглощения. Третья область поглощения, интенсивность которой в несколько раз превышает интенсивность первых двух областей, простирается от 235 до 180 нм. Именно в этой области, в отличие от других областей поглощения, кислород, азот, аргон, оксид углерода (IV) и другие компо-

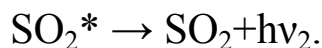
ненты, находящиеся в атмосферном воздухе, оказывают незначительное влияние на флуоресценцию. Поэтому для возбуждения флуоресценции  $SO_2$  используется излучение источника в спектральной области 235 ... 180 нм.

Рассмотрим основы флуоресцентного метода определения концентрации  $SO_2$ , содержащегося в атмосферном воздухе.

Под воздействием излучения источника молекулы  $SO_2$  переходят в возбужденное состояние:



Возбужденные молекулы  $SO_2^*$  могут возвратиться в основное состояние, излучая кванты энергии – флуоресцировать:



Сигнал флуоресценции прямо пропорционален концентрации  $SO_2$ .

Флуоресцентный метод анализа определения концентраций оксида серы (IV) в исследуемом газе может быть реализован с помощью устройства, представленного на рис. 2.

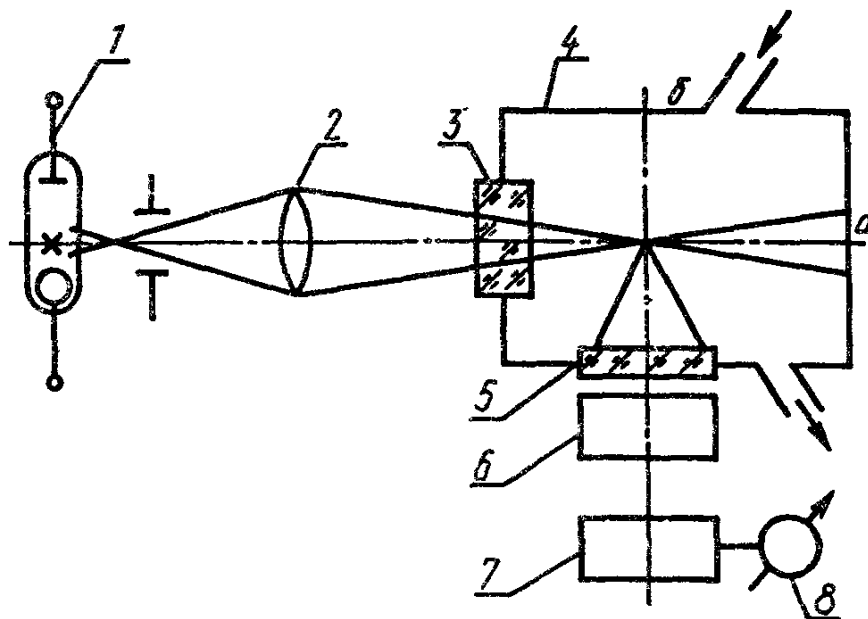


Рис. 2. Принципиальная схема датчика флуоресцентного газоанализатора

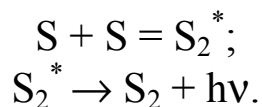
Излучение от источника ультрафиолетового излучения *1* с помощью конденсора *2* фокусируется во флуоресцентной камере *4* на пересечении оптических осей *а* и *б*. Интерференционный фильтр *3* служит для выделения спектральной области возбуждения флуоресценции (220–240 нм). Через камеру *4* прокачивается анализируемый атмосферный воздух. Молекулы газа под действием возбуждающего излучения флуоресцируют. Флуоресцентное излучение через светофильтр *5* попадает на фотокатод ФЭУ *6*. Светофильтр *5* выделяет флуоресцентное излучение (260–270 нм) и устраняет фоновые помехи. Фототок ФЭУ *6*, пропорциональный интенсивности флуоресцентного излучения, усиливается (*7*) и регистрируется измерительным прибором *8*. Шкала прибора проградуирована в единицах концентрации.

На практике используют приборы марки 667ФФ-01 и 667ФФ-03, работающие по принципу флуоресцентного метода.

### ***Пламенно-фотометрические газоанализаторы***

Действие этих газоанализаторов основано на атомно-флуоресцентной спектрометрии пламени для определения сернистых соединений в воздухе и газовых смесях.

В высокотемпературном водородном пламени соединения серы (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, меркаптаны, сульфаты и др.) восстанавливаются до атомарной серы с последующим образованием ее молекул (S<sub>2</sub>), часть которых энергетически возбуждена.



Излучение происходит в области 350–450 нм.

В связи с участием в рекомбинации двух атомов серы, интенсивность излучения пропорциональна квадрату концентрации атомов серы, поэтому градуировочный график сохраняет линейность при двойном логарифмическом масштабе.

Реализация пламенно-фотометрического метода анализа загрязняющих веществ в атмосфере осуществляется следующим образом (рис. 3).

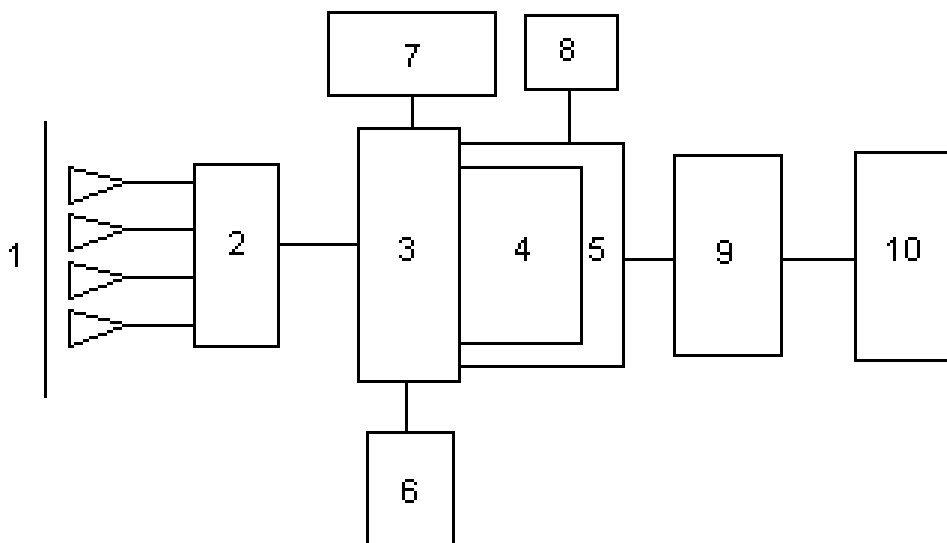


Рис. 3. Принципиальная схема  
пламенно-фотометрического газоанализатора

Горение пламени происходит в пламенно-фотометрическом детекторе (ПФД) **3**, куда поступает водород из генератора сверхчистого водорода **6**. Воздух, необходимый для горения водорода, подается в ПФД через блок коммутации газов **2**, перед этим проходя через осушительные и очистные устройства **1**. Продукты сгорания из ПФД удаляются с помощью побудителя расхода **7**. С целью уменьшения эффекта тушения люминесценции в ПФД создается пониженное давление ( $-0,3$  Па). Люминесцентное излучение молекул через оптический фильтр попадает на фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) **4**, помещенный в термостат **5**. Температура в термостате держится постоянной с помощью регулятора **8**. Сигнал ФЭУ, пропорциональный квадрату содержания газа в анализируемом воздухе, поступает в электронный блок **9**, где он усиливается и преобразуется устройством в выходной унифицированный сигнал. Содержание газа определяют по шкале прибора **10**.

Существенным недостатком пламенно-фотометрического метода анализа является то обстоятельство, что прибор измеряет концентрацию всех соединений серы, находящихся в анализируемом атмосферном воздухе. Для достижения избирательности по определенному газу необходимо «убирать» из анализируемой газовой смеси все серосодержащие соединения, кроме нужного.

Вторым существенным недостатком является использование сверхчистого водорода, что значительно усложняет эксплуатацию газоанализатора. В то же время пламенно-фотометрический метод обладает очень высоким порогом чувствительности (до десятых долей миллиарда в минус первой степени) и прибор, реализующий этот метод, незаменим там, где необходимо измерять суммарную концентрацию всех серусодержащих соединений в анализируемой газовой смеси.

Пламенно-фотометрический метод пригоден также для определения соединений фосфора, атомы которого люминесцируют в пламени, излучая в видимой части спектра свет с максимумом при 526 нм.

### ***Хемилюминесцентные газоанализаторы***

От других видов люминесценции хемилюминесценция отличается только механизмом образования возбужденных частиц. Дальнейшее их поведение не зависит от механизма возбуждения.

Химические превращения в веществе сопровождаются перестройкой внешних электронных оболочек атомов, молекул. Свечение при хемилюминесценции вызывается молекулами (атомами, ионами) продуктов реакции в возбужденных электронных, колебательных и вращательных состояниях. При взаимодействии оксида азота (II), оксида углерода (II) и других газов с некоторыми реагентами, например с озоном или атомарным кислородом, при определенных условиях возникает хемилюминесценция. Измерение интенсивности возникающего излучения используется для определения концентрации этих газов.

В результате исследования взаимодействия между оксидом азота (II) и озоном было установлено, что хемилюминесценция в этом случае образуется в результате реакции:

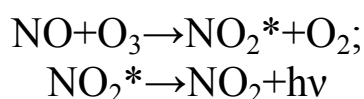


Схема датчика хемилюминесцентного газоанализатора представлена на рис. 4.

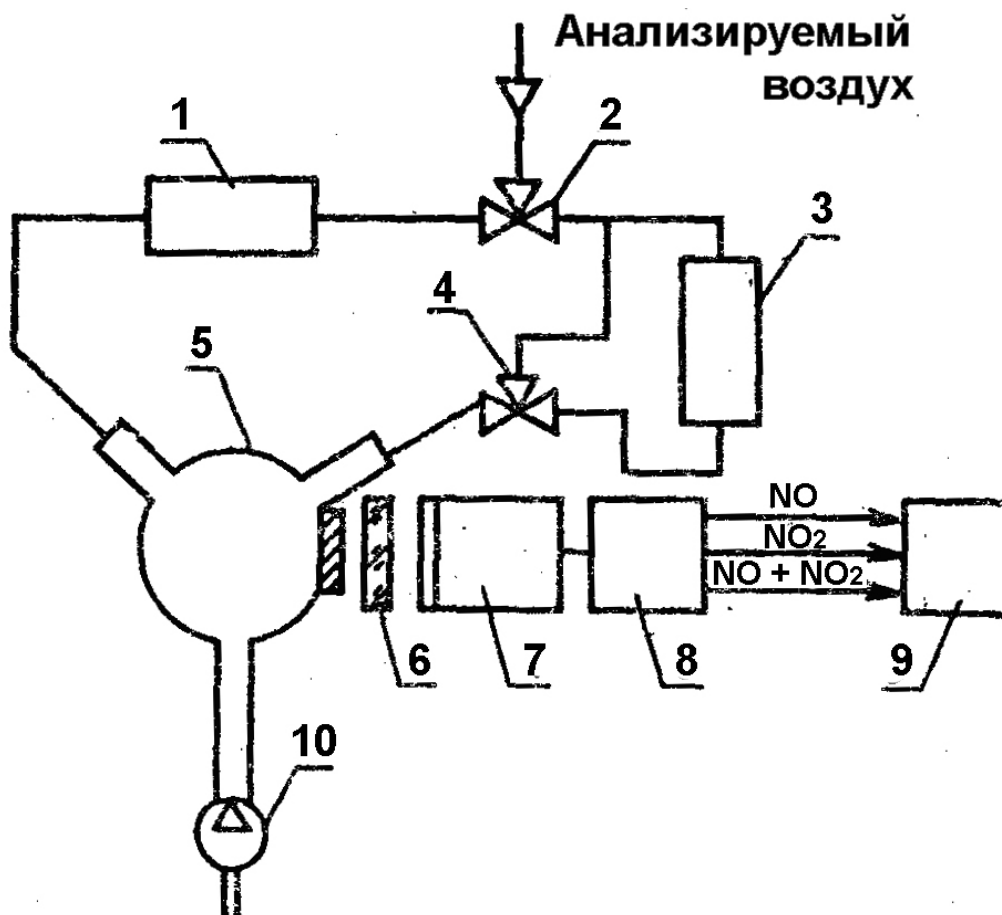


Рис.4. Принципиальная схема датчика  
хемилуминесцентного газоанализатора

Анализируемый воздух с помощью побудителя расхода **10** зазор между внутренним электродом и внутренней поверхностью засасывается из атмосферы и коммутирующим устройством **2** делится на два потока. Первый поток проходит через озонатор **1**, который имеет внутренний и внешний электроды, разделенные диэлектриком (стеклянной трубкой). Атмосферный воздух проходит через стеклянной трубки. При подаче на электроды высоковольтного импульса (10–12 кВ) частотой 500 – 700 Гц происходит разряд, в результате чего образуется озон.

Далее озонированный воздух поступает в реакционную камеру **5**.

Второй поток воздуха с помощью коммутирующего устройства **4** подается непосредственно в реакционную камеру **5**, где оксид азота (II), содержащийся в атмосферном воздухе, вступает в реакцию с озоном.



Кроме того, поток анализируемого воздуха через коммутирующее устройство **2** может поступать в каталитический конвертер **3**, где  $\text{NO}_2$ , содержащийся в атмосферном воздухе, на катализаторе будет восстанавливаться до  $\text{NO}$  и через коммутирующее устройство **4** поступать в реакционную камеру **5**. Хемилюминесцентное излучение через светофильтр **6**, который выделяет область люминесценции возбужденных молекул  $\text{NO}_2^*$ , поступает на ФЭУ **7**, электрический сигнал которого пропорционален концентрации  $\text{NO}$ . Далее сигнал поступает на электронный измерительный преобразователь **8**, где усиливается, а затем подается на вычислительное устройство. На вычислительное устройство преобразователя **8** поступают сигналы, соответствующие концентрациям  $\text{NO}$  и  $\Sigma\text{NO}+\text{NO}_2$ , где производится операция вычитания сигналов. После этой операции на измерительный прибор **9** подается три сигнала: величина одного пропорциональна концентрации  $\text{NO}$ , другого,  $\text{NO}_2$ , третьего  $\Sigma\text{NO} + \text{NO}_2$ .

Один из распространенных приборов, работающих на этом принципе – газоанализатор типа 645ХЛ – 01.

## 5. Оптико-акустические газоанализаторы

Принцип действия датчика этих газоанализаторов (рис. 5) основан на оптико-акустическом эффекте, который заключается в том, что газ при прерывистом ИК-облучении в замкнутом пространстве периодически нагревается и охлаждается и при этом происходят колебания давления газовой смеси.

Инфракрасное излучение источников **2** прерывается (модулируется) с помощью обтюлятора с приводом **1**. Герметичная кювета сравнения **3** заполнена анализируемой газовой смесью без  $\text{CO}$ . Измерительная кювета **4** – проточная.

Если в измерительной кювете **4** в анализируемой газовой смеси отсутствует  $\text{CO}$ , то потоки инфракрасного излучения, поступающие в лучеприемные цилиндры **6**, равны, мембрана **8** конденсаторного микрофона **9**, воспринимающая сумму давлений, возникающих в правом и левом лучеприемных цилиндрах **6**, будет находиться в покое, так как колебания температуры и давления в надмембранном объеме скомпенсированы (т. е. равны нулю).

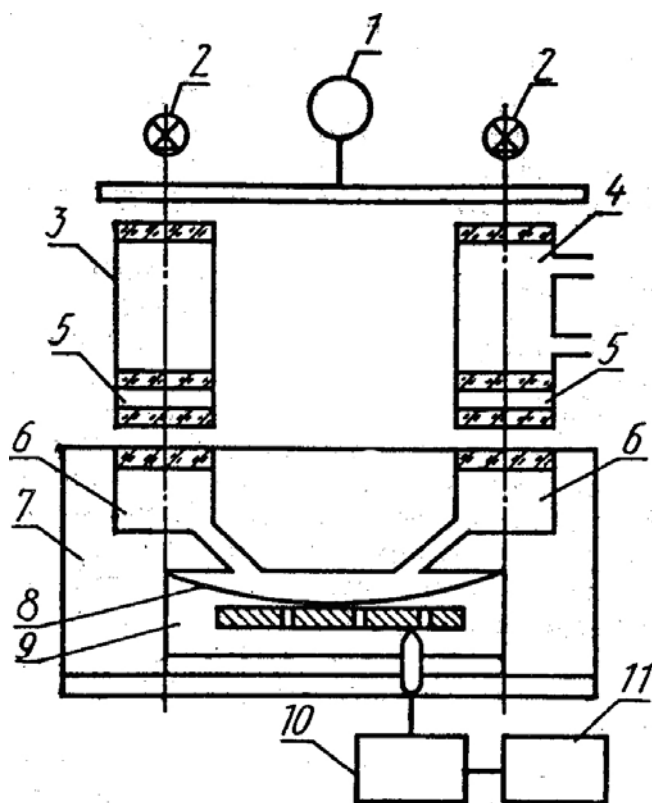


Рис. 5. Принципиальная схема датчика оптико-акустического газоанализатора

При появлении  $CO$  в воздухе, прокачиваемом через измерительную кювету 4, произойдет поглощение части спектра инфракрасного излучения и соответственно понижение температуры в правом лучеприемном цилиндре 6 приемника инфракрасного излучения 7, что в свою очередь связано с понижением давления в этой части приемника. Разница давления в правой и левой частях лучеприемника 6 приведет к колебанию мембраны 8. Амплитуда колебаний мембраны 8 конденсаторного микрофона 9 будет зависеть от концентрации  $CO$  в анализируемом атмосферном воздухе. Чем больше концентрация  $CO$ , тем больше поглощение излучения в кювете 4, тем больше перепад температур и давления в лучеприемных цилиндрах 6, тем больше амплитуда колебаний.

Колебания мембраны преобразуются конденсаторным микрофоном в переменное напряжение, которое поступает на вход усилителя 10, где усиливается и преобразуется в унифицированный сигнал, подаваемый на регистрирующий прибор 11. Показания регистрирующего прибора являются мерой концентрации  $CO$ , содержащегося в анализируемом атмосферном воздухе.

Для исключения влияния на показания прибора  $CO_2$ , содержащегося в атмосферном воздухе, спектр поглощения которого в

значительной мере совпадает с полосой поглощения  $\text{CO}$ , фильтровые камеры **5** заполнены  $\text{CO}_2$ .

Внутренние поверхности рабочей, сравнительной и фильтровой камер отполированы и покрыты золотом, что повышает их отражательную способность. Окошки камер выполнены из синтетического корунда, обладающего высоким пропусканием инфракрасного излучения.

Объем лучеприемных цилиндров **6** заполнен смесью  $\text{CO}$  и аргона, что обеспечивает избирательность анализа, так как в объеме мерной камеры лучеприемника колебания температуры и давления газа возникают только в результате поглощения инфракрасного излучения, соответствующего спектру поглощения  $\text{CO}$ .

На основе оптико-акустического метода создан газоанализатор ГИАМ – 1 для контроля оксида углерода (II) в атмосферном воздухе.

## **6. Пламенно-ионизационные газоанализаторы**

Принцип действия этих газоанализаторов основан на зависимости величины ионного тока, возникающего в процессе ионизации исследуемого газа, от содержания в нем контролируемого компонента.

Из известных способов ионизации газов (ионизация пламенем, тлеющим разрядом, радиоактивным излучением и облучением коротковолновым светом) при разработке газоанализаторов наиболее часто используют ионизацию пламенем и радиоактивное излучение. Преимуществом ионизационного метода является низкий порог чувствительности, широкий диапазон измерения, достаточная надежность и стабильность работы, быстроедействие. Основной недостаток – низкая избирательность к отдельным органическим компонентам при их совместном присутствии. В этом случае определяют либо их сумму, либо концентрацию компонентов с превалирующими ионизационными эффектами.

Для анализа суммы углеводородов  $\Sigma\text{CH}$  предназначены газоанализаторы типа 232 ИН-01, а для определения метана и  $\Sigma\text{CH}$  –

523-ИН-02. Датчиком в этих газоанализаторах является пламенно-ионизационная камера (рис. 6), которая по конструкции аналогична пламенно-ионизационному детектору в газожидкостном хроматографе.

К камере подводят два газовых потока: поток водорода с анализируемым газом и поток воздуха для поддержания горения водородного пламени.

При отсутствии в воздухе органических веществ пламя в камере имеет низкую электропроводность (фоновый ток  $10^{-11}$  А). Если в воздухе появляются органические вещества, то их ионизация в водородном пламени приводит к резкому увеличению ионного тока между электродами. При этом фиксируемый прибором ток пропорционален количеству органического вещества в воздухе, поступающего в камеру в единицу времени.

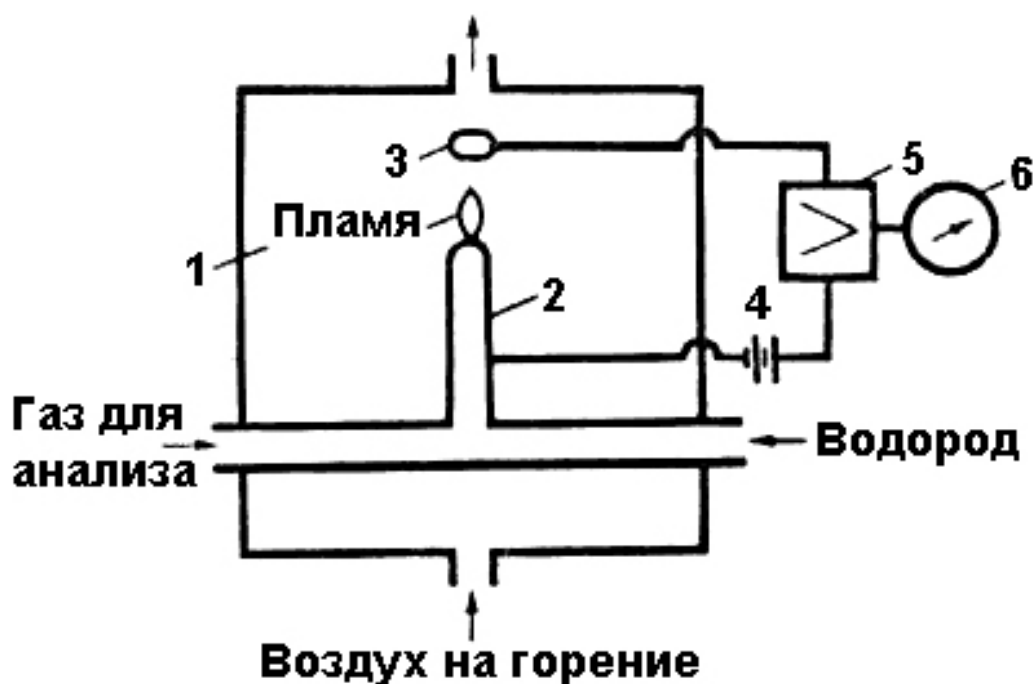


Рис. 6. Пламенно-ионизационная горелка:

- 1 – ионизационная камера; 2 – горелка; 3 – электрод;  
4 – источник напряжения; 5 – усилитель; 6 – регистрирующий прибор

Для анализа  $\Sigma\text{СН}$  и метана применение получил метод каталитического окисления, основанный на том, что температура окисления метана существенно выше температуры окисления всех остальных углеводородов.

Определение концентрации суммы углеводородов  $\Sigma\text{СН}$ , метана  $\text{СН}_4$  и суммы углеводородов за вычетом метана  $\Sigma\text{СН} - \text{СН}_4$  можно пояснить, используя упрощенную структурную схему (рис. 7).

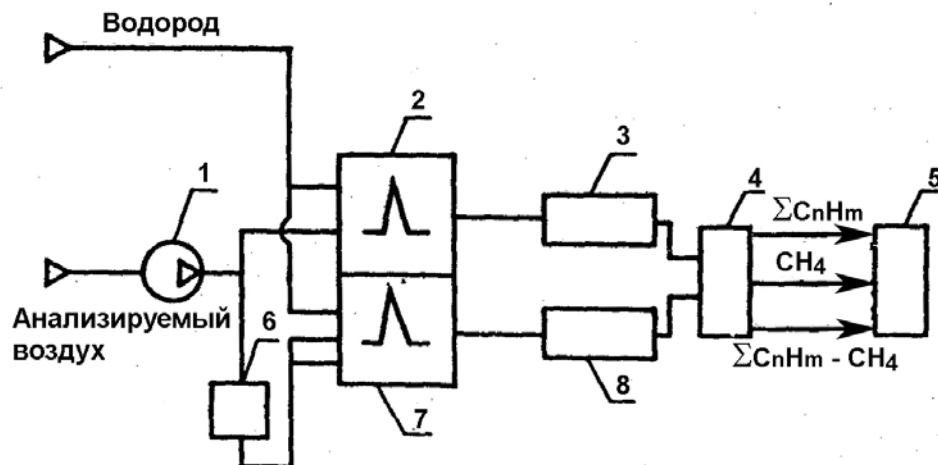


Рис. 7. Принципиальная схема работы газоанализатора для анализа  $\Sigma\text{СН}$  и метана

Для работы пламенно-ионизационных датчиков необходимы три газовых потока: анализируемый воздух, водород и воздух для горения. Анализируемый атмосферный воздух и воздух для горения поступают в ПИД из окружающей атмосферы с помощью побудителя расхода 1. Этот поток воздуха с помощью коммутирующих устройств делится на два потока. Далее один из них поступает в ПИД 2, который формирует сигнал, пропорциональный  $\Sigma\text{СН}$ . Второй поток проходит через каталитический окислитель 6, где все углеводороды (кроме метана) окисляются и поступают в ПИД 7, в котором формируется сигнал о содержании  $\text{СН}_4$  в анализируемом воздухе.

Токовые сигналы с ПИД 2, 7 поступают на электрометрические измерительные преобразователи 3, 8, которые усиливают и преобразуют их в унифицированные сигналы 0 ... 1 В. Далее оба сигнала подаются на устройство коррекции 4, которое осуществляет вычитание сигналов ( $\Sigma\text{СН} - \text{СН}_4$ ). С устройства коррекции 4 на регистрирующий прибор 5 поступают три сигнала, пропорциональные значениям:  $\Sigma\text{СН}$ ,  $\text{СН}_4$  и  $\Sigma\text{СН} - \text{СН}_4$ . Прибор 5 одновременно регистрирует три значения:  $\Sigma\text{СН}$ ,  $\text{СН}_4$  и  $\Sigma\text{СН} - \text{СН}_4$ .

## 7. Оптико-абсорбционные газоанализаторы

Принцип действия оптико-абсорбционных газоанализаторов основан на измерении поглощения инфракрасного излучения, степень поглощения которого зависит от концентрации анализируемого компонента в газовой фазе. Каждому газу присуща своя область длин волн поглощения. Это обуславливает возможность избирательного анализа газов. Сущность метода заключается в следующем: если поочередно (путем обтюрации) пропускать поток монохроматического ИК-излучения (прошедший через определенный интерференционный фильтр) через кювету с анализируемой смесью и без нее, то на приемнике ИК-излучения будет регистрироваться переменный сигнал, который несет информацию о количестве поглощенной энергии анализируемым газом, а следовательно, о концентрации анализируемого газа.

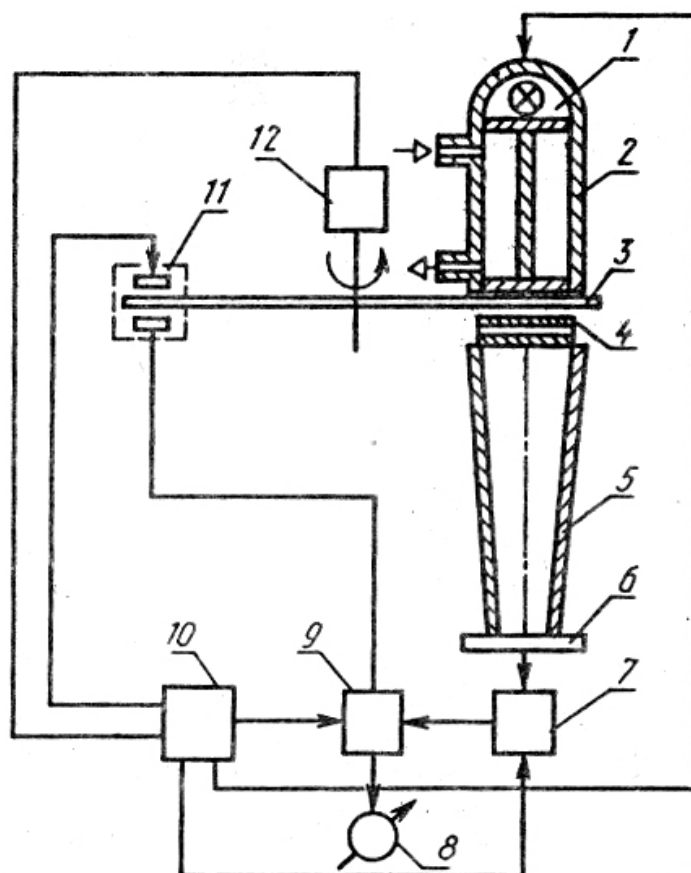


Рис. 8. Принципиальная схема оптико-абсорбционного газоанализатора

На рис. 8 представлена блок-схема газоанализатора I 121ФА-01. Он состоит из излучателя, создающего поток ИК- энергии, который попадает в кювету 2, имеющую два канала (измерительный и сравнительный); обтюратора 3, вращающегося от электродвигателя 12; интерференционного фильтра 4 определенной длины волны; фланца 5 с приемником ИК-излучения 6; предварительного усилителя 7; блока вторичной обработки информации 9, сигнал с которого поступает на показывающий прибор 8; блока питания с преобразователем напряжения 10 и оптоэлектронных пар, фиксирующих положение обтюратора.

## 8. Лазерные газоанализаторы

В последнее время при разработке газоанализаторов среди оптических методов большое внимание привлекают современные методы с использованием лазеров, обладающих уникальными характеристиками.

Для анализа загрязнения воздуха используется средняя инфракрасная область спектра, где сосредоточены основные колебательные полосы подавляющего большинства молекул. Видимая и ультрафиолетовая области в этом отношении менее информативны.

В основном на рынке представлены зарубежные лазерные газоанализаторы. Отечественная наука направлена на разработку приборов с использованием перестраиваемого (примерно по 80 длинам волн)  $\text{CO}_2$  – лазера (с узлом перестройки длины волны на базе дифракционной решетки), что делает возможным проведение анализа большого количества загрязнителей атмосферы (более 100 газов).

В лазерных газоанализаторах в основном используют оптико-акустический и прямой абсорбционный методы, которые были разобраны выше с обычными источниками инфракрасного излучения.

Лазерные газоанализаторы, оснащенные микропроцессорной системой управления и ПЭВМ со специальным программным обеспечением, обладают высокой степенью оперативности. Время анализа многокомпонентной (с числом компонентов до 10) смеси около 1 мин.

## **9. Измерение концентрации вредных веществ индикаторными трубками**

Концентрацию вредных химических веществ в воздухе можно быстро установить экспрессным методом с помощью индикаторных трубок (ТИ).

Основными преимуществами при измерениях с применением индикаторных трубок являются:

- быстрота проведения анализа и получение результатов непосредственно на месте отбора пробы воздуха;
- простота метода и аппаратуры, что позволяет проводить анализ лицам, не имеющим специальной подготовки;
- малый вес и габариты, а также низкая стоимость аппаратуры;
- достаточная чувствительность и точность анализа (погрешность не более 25 % с учетом влияния неконтролируемых факторов в сравнительно широких диапазонах температуры, давления и влажности воздуха);
- удобство при подготовке и выполнении измерений, в частности, не требуется регулировка и настройка аппаратуры перед проведением анализов;
- не требуются источники электрической и тепловой энергии и т. п.

Указанные преимущества способствовали широкому внедрению индикаторных трубок для контроля вредных веществ в воздухе и газовых средах в различные области хозяйственной деятельности – эксплуатацию энергетических, технологических, судовых машин и установок; санитарно-химический и специальный контроль, контроль газовых выбросов и т. п.

### ***Устройство и принцип действия***

Индикаторная трубка представляет собой герметично запаянную стеклянную трубку, заполненную твердым носителем, пропитанным определенным реактивом. Для каждого анализируемого вещества подбирается свой реактив. Реактивами могут служить только такие соединения, которые при быстром взаимо-



действии с анализируемым веществом образуют ярко окрашенные продукты реакции. Положение наполнителя (индикаторного порошка) в индикаторной трубке фиксируется воздухопроницаемыми прокладками. Индикаторные трубки герметизируют обычно запаиванием. Общий вид индикаторных трубок представлен на рис. 9.



Рис. 9. Общий вид индикаторных трубок

Концентрацию вредного вещества определяют по изменению интенсивности окраски (колориметрические индикаторные трубки) или длины окрашенного индикаторного порошка (линейно-колористические индикаторные трубки) при прокачивании через индикаторную трубку анализируемого воздуха. В отечественной практике наиболее широкое распространение получил линейно-колористический метод анализа.

Сущность метода заключается в изменении окраски индикаторного порошка в результате реакции с анализируемым веществом, находящемся в воздухе, пропускаемом через трубку. Длина изменившего первоначальную окраску слоя индикаторного порошка пропорциональна концентрации анализируемого вещества (рис. 10).

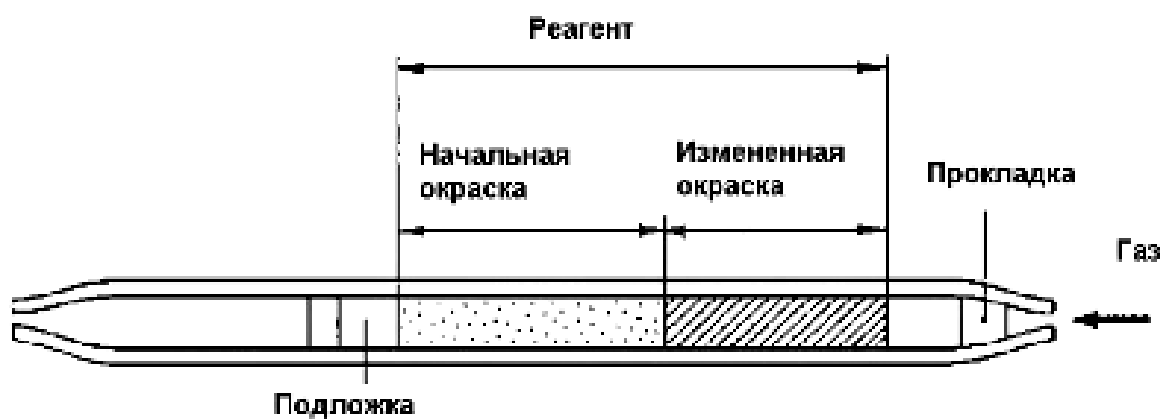


Рис. 10. Индикаторная трубка в разрезе

Концентрацию вещества измеряют по градуировочной шкале, нанесенной на трубку или прилагаемой отдельно. Градуировочную шкалу получают при пропускании через индикаторную трубку (из выпущенной серии) искусственных смесей с известным содержанием определяемого компонента.

Количественное определение вредных веществ в воздухе по длине изменившего окраску слоя порошка в индикаторной трубке возможно при соблюдении условий: окраска слоя должна быть контрастной и интенсивной при минимально определяемых концентрациях; изменивший окраску слой должен иметь достаточную для измерений без больших погрешностей длину и четкую границу раздела окрасок; длина изменившего окраску слоя порошка должна увеличиваться с ростом концентрации определяемого вещества.

На рис. 11 представлены индикаторные трубки до и после анализа. На верхней трубке видно, что слой порошка после пропускания воздуха изменил окраску, длину которой можно определить по градуировочной шкале.



Рис. 11. Индикаторная трубка до и после анализа

Особое внимание при разработке и изготовлении индикаторных трубок уделяют их избирательности, т. е. возможности определять анализируемое вещество в присутствии сопутствующих примесей. Эту задачу решают, применяя фильтрующие трубки. Внутри фильтрующих трубок находятся наполнители, представляющие собой хемосорбент, полностью пропускающий определяемое вещество и улавливающий сопутствующие, мешающие анализу вещества. Их помещают перед индикаторной трубкой.

На результаты измерений могут оказывать влияние колебания температуры анализируемого воздуха. Это связано с тем, что изменение температуры влияет на объем отбираемого воздуха, степень поглощения анализируемых веществ и в некоторых случаях – на скорость реакции. Суммарное влияние всех этих факторов может привести к изменению длины окрашенного слоя. Для повышения точности измерений применяют таблицы температурных поправок или поправочные коэффициенты.

Согласно ГОСТ 12.1.014-84, относительная погрешность измерения концентрации вредных веществ в воздухе индикаторными трубками не должна превышать  $\pm 35\%$  в интервале от 0,5 до 2,0 ПДК и  $\pm 25\%$  при интервале выше 2 ПДК при климатических условиях: температура окружающей среды от 15 до 30 °С, относительная влажность от 30 до 80 %, барометрическое давление от 90 до 104 кПа (675–780 мм. рт. ст.).

Относительную погрешность ниже 5 % практически невозможно обеспечить по техническим причинам:

- неодинаковая плотность набивки индикаторного порошка в трубке;

- небольшое колебание высоты порошка;
- изменение диаметра стеклянных трубок;
- неравномерная пропитка носителя реактивами;
- неодинаковые размеры гранул носителя и т. д.

Кроме того, на погрешность измерения могут оказывать:

- качество градуировки индикаторных трубок при их изготовлении;

- соблюдение условий и сроков хранения трубок;
- исправность и правильность эксплуатации воздухозаборного устройства;

• правильность применения трубок при наличии в анализируемом воздухе примесей сопутствующих определяемому веществу.

Широкий выбор предлагаемых отечественными и зарубежными производителями индикаторных трубок позволяет определять в воздухе более сотни различных химических соединений, наиболее распространенные из которых приведены ниже.

Акрилонитрил	Изопентан	Ртуть (пары)	Хлор
Акролеин	Карбофос	Серная кислота	Хлорбензол
Аммиак	Керосин	Сероводород	Хлористый водород
Анилин	Кислород	Стирол	Хлоропрен
Арсин	Ксилол	Сумма углеводов	Хлорофос
Ацетальдегид	Масло компрессорное	Тетрагидротиофен	Хлорциан
Ацетилен	Метанол	Тиоэфир	Хромовая кислота
Ацетон	Метилакрилат	Толуилен диизоцианат	Цианид водорода
Бензин	Метилбензол	Толуол	Циклогексан
Бензол	Метилбромид	Триоксид мышьяка	Циклогексиламин
Бром (пары)	Метиленхлорид	Трихлорэтан	Эпихлоргидрин
Бромид водорода	Метилмеркаптан	Трихлорэтилен	Этанол
Бутанол, Изобутанол	Метилэтилкетон	Уайтспирит	Этилацетат
Бутилмеркаптан	Муравьиная кислота	Уксусная кислота	Этилен
Винилхлорид	Никельтетракарбонил	Фенол	Этиленгликоль
Водяной пар	Нитрогликоль	Формальдегид	Этиленоксид
Гексан	Нитроглицерин	Фосген	Этиленгликоль-ацетат
Гидразин	Нитроэфиры	Фосфин	Этилмеркаптан
Дизельное топливо	Озон	Фосфорная кислота	
Диметиламин	Оксид углерода	Фтористый водород	
Диметилсульфат	Оксиды азота	фурфурол	
Диметилсульфид	Пентан		
Диоксид азота	Перхлорэтилен		
Диоксид серы	Пропан		
Диоксид углерода	Пропанол, изопропанол		
Диоксид хлора			
Диэтиламин			
Диэтиловый эфир			

## **Воздухозаборные устройства для индикаторных трубок**

Для пропускания анализируемого воздуха через индикаторные трубки используют различные устройства. Они должны обеспечивать отбор пробы воздуха с небольшой погрешностью (3–5 %), быть герметичными, простыми в эксплуатации, портативными, окончание времени пропускания должно быть четко определено. Объем воздуха, пропускаемого через индикаторную трубку с помощью воздухозаборного устройства, должен выражаться в см<sup>3</sup>.

*Воздухозаборное устройство, предназначенное для использования с индикаторной трубкой, должно иметь те же характеристики потока, что и воздухозаборное устройство, используемое при градуировке индикаторной трубки.*

Во всех инструкциях по эксплуатации индикаторных трубок указано, что они должны применяться с конкретными, предназначенными для них типами воздухозаборных устройств. В противном случае погрешность измерения может превысить 100 %.

В отечественной и зарубежной литературе описаны воздухозаборные устройства к индикаторным трубкам самых разнообразных конструкций с различными техническими характеристиками. Выбор воздухозаборных устройств для просасывания воздуха через индикаторные трубки определяется требованиями, предъявляемыми к приборам для анализа вредных веществ в воздухе.

Полуколичественные измерения и индикация вредных веществ с успехом могут быть выполнены при отборе пробы воздуха резиновыми грушами.

Для количественных измерений вредных веществ воздух пропускают через индикаторные трубки, как правило, сифонными или поршневыми насосами. При использовании в воздухозаборных устройствах сифонов малого объема число необходимых сжатий сифона при отборе воздуха через трубку составляет обычно 1–10, а в случае большого сифона 1–3. Воздухозаборные устройства с большими сифонами способны создавать большее разрежение, чем приборы с малыми сифонами. Поэтому первые пригодны для использования с индика-

торными трубками, имеющими большое аэродинамическое сопротивление, в то время как вторые – для трубок с малым сопротивлением потоку воздуха.

На точность измерения концентрации вредных веществ в воздухе индикаторными трубками влияет не только объем пробы, но и характер изменения скорости воздуха в процессе проведения анализа.

Большинство воздухозаборных устройств позволяют пропускать заданный объем воздуха через индикаторную трубку с различной скоростью: в начале анализа скорость высокая, а в конце – низкая. При высокой скорости пропускания в начале анализа значительно удлиняется окрашенный слой, с уменьшением скорости степень удлинения уменьшается и к концу анализа при малой скорости пропускания длина слоя практически не увеличивается, а происходит выравнивание его границы. Такой характер пропускания исследуемого воздуха имеет большое преимущество перед пропусканием с равномерной скоростью.

Выпускаемые воздухозаборные устройства имеют различные всасывающие характеристики, которые оказывают влияние на характер индикации вредных веществ.

### ***Аспиратор сильфонный АМ-5***

Аспиратор сильфонный АМ-5 предназначен для пропускания исследуемой газовой смеси через индикаторные трубки при экспресс-определении содержания газовых компонентов в воздухе.

Аспиратор (рис. 12) представляет собой сильфонный насос ручного действия, всасывающий воздух за счет раскрытия пружинами предварительно сжатого сильфона. Воздух выходит из сильфона через клапан при сжатии пружин.

Резиновый сильфон **6** с пружинами **7** обеспечивает ход аспиратора, который ограничивается цепочками **8** и **13**. Цепочка **13** присоединена к винту **14** и втулке **16**, с помощью которых аспиратор настраивается на объем всасываемого воздуха за один рабочий ход, равный  $(100 \pm 5)$  см<sup>3</sup>. Цепочка **8** соединена с рычагом **9**, конец которого при натяжении цепочки приподнимает клапан **11**, прекращая пропускание анализируемого воздуха через индикаторную трубку. При сжатии сильфона до упора через клапан **11** выбрасы-

ваются воздух из камеры сиффона. Дно сиффона, к которому крепятся цепочки **8** и **13**, съемное и снимается при необходимости замены клапана или введении рычага **9** под клапан. К трубке **2** присоединяют индикаторную трубку при выполнении измерения, подвеска **5** с отверстием служит для отламывания запаянных концов индикаторной трубки при ее вскрытии перед определением содержания газовых компонентов в анализируемом воздухе.

Перед анализом необходимо убедиться, что рычаг **9** введен под клапан и открывает его при натяжении цепочки **8** резким движением в конце хода аспиратора.

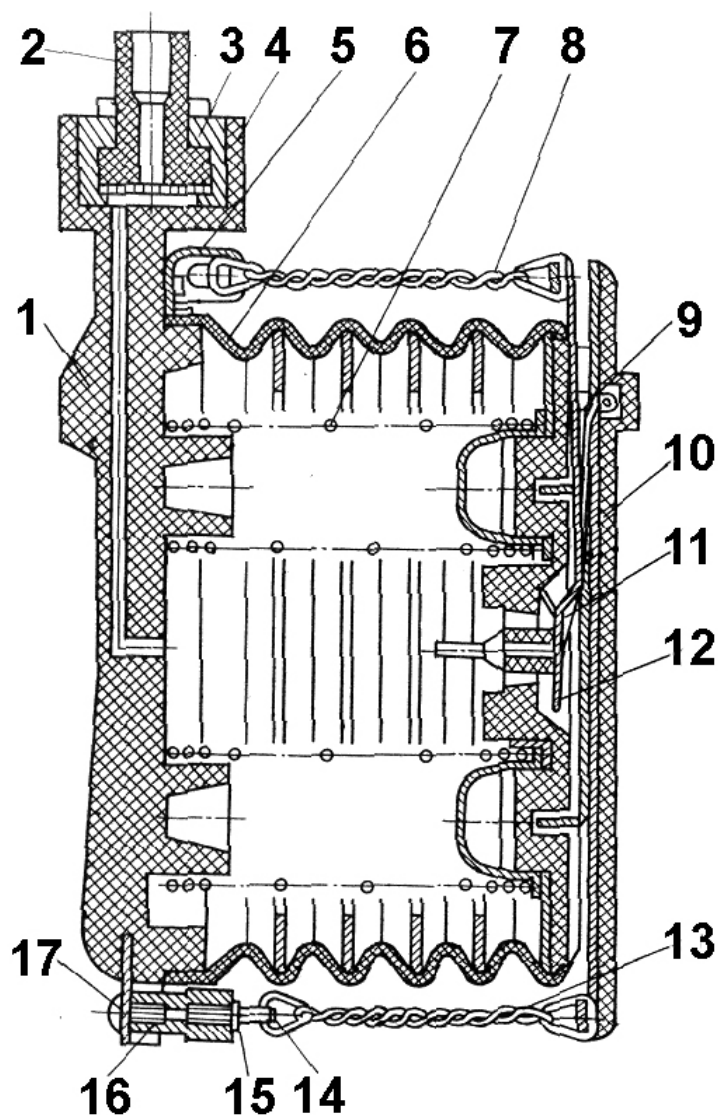


Рис. 12. Аспиратор АМ-5:

1 – крышка, 2 – трубка, 3 – штуцер, 4 – подвеска, 6 – сиффон, 7 – пружина, 8, 13 – цепочки, 9 – рычаг, 10 – дно, 11 – клапан, 12 – седло клапана, 14, 17 – винты, 15 – контргайка, 16 – втулка

Для введения рычага под клапан вставляют в трубку **2** невоскрывтую индикаторную трубку, сжимают сильфон, снимают дно и затем осторожно устанавливают дно на место так, чтобы рычаг был введен под клапан. Проверяют время раскрытия аспиратора без трубки. Для этого сжимают сильфон и отпускают. Если аспиратор открывается медленно (более 2 с), необходимо очистить фильтр и всасывающее отверстие.

### **Ручной поршневой насос Китагавы**

В качестве воздухозаборного устройства для индикаторных трубок используют ручной поршневой насос (рис. 13). Массивный латунный поршень **1** перемещается внутри легкого металлического цилиндра **2**, обеспечивая воздухонепроницаемое уплотнение даже при перепаде давления до 101,3 кПа. Регулирующий жиклер **3** из нержавеющей стали расположен в соединительном патрубке **4**. Он обеспечивает пропускание воздуха через индикаторные трубки со стабильной и оптимальной скоростью. Одноходовой обратный клапан **5** обеспечивает быстрое вытеснение воздуха из насоса после отбора пробы и приведение прибора в рабочее положение без отсоединения от него индикаторной трубки. Пластмассовый корпус **6** защищает стенки насоса от повреждений при случайном ударе или падении.

На штоке поршня **7** нанесена шкала отбираемых объемов воздуха от 0 до 100 мл через каждые 10 мл, что обеспечивает воспроизводимый объем пробы. Насос приводят в рабочее положение с помощью рукоятки **8**.

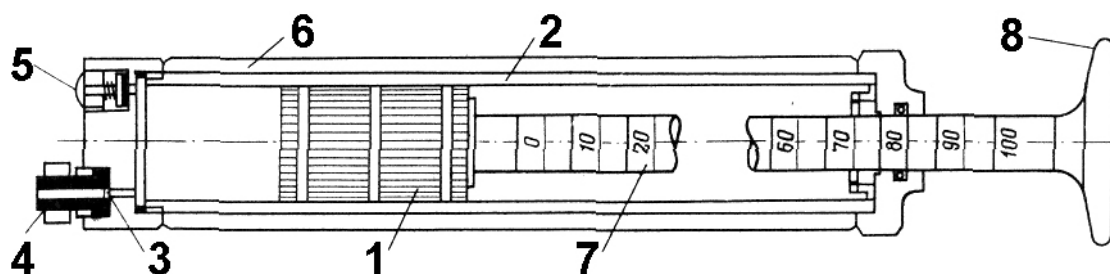


Рис. 13. Ручной поршневой насос Китагавы:

- 1 – поршень латунный, 2 – цилиндр, 3 – жиклер, 4 – соединительный патрубков, 5 – обратный клапан, 6 – корпус, 7 – шток поршня, 8 – рукоятка



Поршневые насосы входят также в комплекты приборов химической разведки для быстрого обнаружения в полевых условиях с помощью индикаторных трубок паров отравляющих веществ в воздухе.

### **Применение индикаторных трубок**

1. Надрежьте стеклянный корпус индикаторной трубки с двух концов.

2. Вскройте индикаторную трубку по надрезам.

3. Подсоедините индикаторную трубку к насосу-пробоотборнику (если необходимо, перед индикаторной трубкой подсоедините аналогично подготовленную фильтрующую трубку).

4. Прокачайте через трубки воздух в требуемом количестве (указано на этикетке).

5. Определите концентрацию вещества по контрольной шкале по длине изменившего окраску индикаторного слоя или по интенсивности его окраски.

При размытости границы раздела окрасок слоев отсчет концентрации измеряемого вредного вещества по шкале проводят по нижней и верхней частям границы. За результат измерения принимают среднее значение.

Результат измерения концентрации вредного вещества приводят к нормальным условиям: температура 293 К и атмосферное давление 101,3 кПа (760 мм. рт. ст.)

Концентрацию  $C_n$  при нормальных условиях (в мг/м<sup>3</sup>) рассчитывают по формуле:

$$C_n = C_t (273+t) 101,3 \text{ k} / 293 \text{ P},$$

где:  $C_t$  – результат измерения концентрации вредного вещества при температуре окружающего воздуха  $t$  (°С) и атмосферном давлении  $P$  (кПа), мг/м<sup>3</sup>;  $k$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры и влажности окружающего воздуха на показания индикаторных трубок (определяется по графику или таблице).

Для определения средних концентраций за продолжительный промежуток времени выпускаются индикаторные трубки **длительного действия**. Указанные индикаторные трубки работают аналогично трубкам для экспресс-анализа и позволяют получить результаты непосредственно на месте отбора проб.

Чувствительность индикаторных трубок длительного действия рассчитана на их работу в течение нескольких часов. Для длительного отбора проб воздуха используют специальный портативный насос, работающий от аккумулятора.

## **10. Газоанализаторы как средство контроля выбросов**

Контроль выбросов включает в себя контроль загрязняющих веществ в отработавших газах транспортных средств и в источниках промышленных выбросов.

К транспортным средствам, в отработавших газах которых контролируют загрязняющие атмосферу вещества, относятся автотранспортные средства с бензиновыми карбюраторными и дизельными двигателями, железнодорожный транспорт, речные и морские суда, а также авиационный транспорт.

Количество соединений, выделяющихся с отработавшими газами, зависит от типа двигателя, его технического состояния, режима работы и состава топлива. В составе отработавших газов идентифицировано более 500 органических соединений.

Автомобили и двигатели подвергаются нескольким типам испытаний. Автомобили в эксплуатации подвергаются испытаниям 2-го типа, при которых в процессе технического обслуживания, после ремонта агрегатов, систем и узлов контролируют содержание оксида углерода (СО) и углеводородов.

При государственных приемочных, периодических и инспекционных испытаниях, а также в процессе исследований и разработок дополнительно проводят испытания 1-го и 3-го типов. В процессе этих испытаний контролируют массу оксида углерода (СО), углеводородов и оксидов азота в выбрасываемых в атмосферу отработавших газов при выполнении ездового цикла, ими-

тирующего движение автомобиля в городских условиях (испытания 1-го типа). При испытаниях 3-го типа контролируют состав картерных газов.

Для контроля состава отработавших газов автотранспорта в процессе эксплуатации разработаны отечественные газоанализаторы оксида углерода и углеводородов по принципу действия как оптико-акустические, так и оптико-абсорбционные, а также хемилюминесцентные для определения оксидов азота. Применяются также индикаторные трубки.

Газоанализаторы содержат систему пробоподготовки. Газ из выхлопной трубы автомобиля засасывается в трубопровод, где предварительно охлаждается, и поступает в фильтр. В результате охлаждения газа образуется конденсат, который также поступает в фильтр. Фильтр состоит из отстойника, фильтров грубой и тонкой очистки. Из трубопровода газ с конденсатом поступает в отстойник. При этом газ еще более охлаждается с образованием дополнительной порции конденсата. Весь конденсат скапливается в отстойнике; его периодически (вручную) сливают через отверстие, закрываемое пробкой. Осушенный выхлопной газ через фильтр грубой очистки, в котором задерживаются частицы сажи и грязи, а также остатки конденсата, и фильтр тонкой очистки, в котором оседают мелкие частицы этих же компонентов, поступает в измерительный преобразователь.

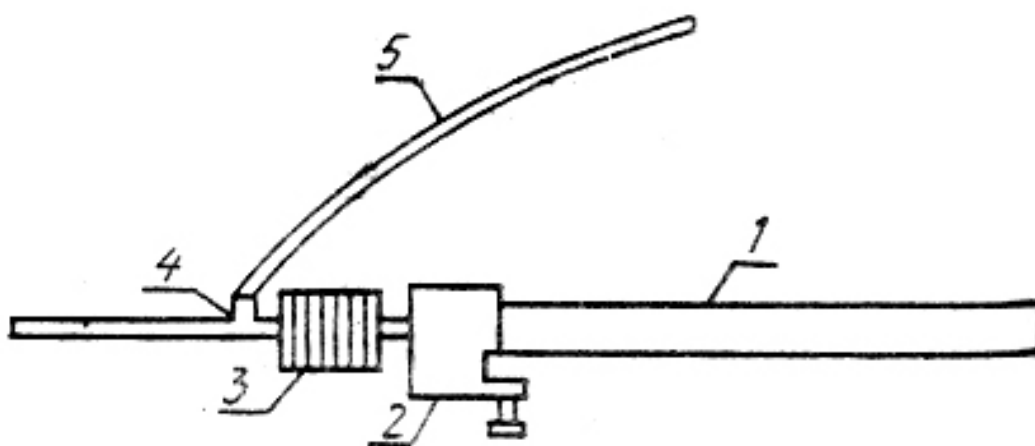


Рис. 14. Присоединение пробоотборника к выхлопной трубе автомобиля

Для определения содержания оксида углерода (СО) с помощью индикаторных трубок используют пробоотборник (рис. 14), который состоит из воздухозаборной трубки **1**, снабженной конденсатором **3** для охлаждения отбираемой пробы и отделения влаги, отводимой штуцером **4**, устройством **2** для крепления на выхлопной трубе автомобиля и соединительной трубки **5**, к которой присоединяют индикаторную трубку.

При испытаниях 1-го типа, а также испытаниях авиационных и дизельных двигателей применяют стационарные газоаналитические системы. При этом, в соответствии с международными рекомендациями, СО и СО<sub>2</sub> определяют инфракрасным методом, углеводороды – пламенно-ионизационным, оксиды азота – хемилюминесцентным.

Контроль загрязняющих веществ в *источниках промышленных выбросов* (ИВП) в атмосферу может быть разделен на следующие этапы: отбор проб из газохода, транспортировка пробы к анализу, анализ концентрации загрязняющих веществ.

В зависимости от принципов, которые лежат в основе устройств пробоподготовки и пробоотбора, различают контроль ИПВ методом непосредственного измерения пробы и методом динамического разбавления пробы.

Схема контроля ИПВ методом непосредственного измерения пробы приведена на рис. 15.

Пробу отбирают из газохода зондом, представляющим трубку из нержавеющей стали диаметром 10 ... 30 мм и длиной 0,5 ... 2,5 м. Первичная очистка газа от пыли производится с помощью металлокерамического фильтра **1**, устанавливаемого на зонде **2** либо внутри газохода (метод внутренней фильтрации), либо снаружи (метод внешней фильтрации). При использовании внутренней фильтрации не требуется дополнительного подогрева фильтра **3** для предотвращения выпадения на нем конденсата, но в этом случае зонд подвергается воздействию пылевых частиц, движущихся с высокими скоростями (до 30 м/с), и быстро выходит из строя. В случае внешней фильтрации фильтр более долговечен. Однако этот метод требует применения дополнительного обогрева фильтра, что значительно усложняет конструкцию зонда.

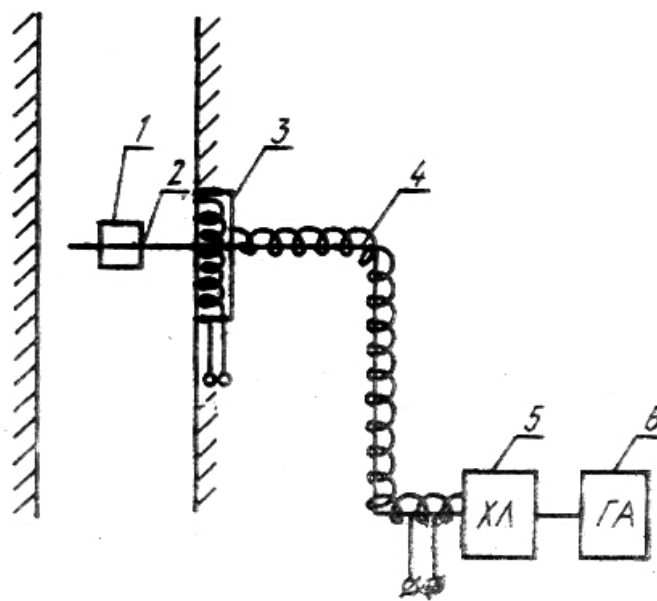


Рис. 15. Схема контроля ИПВ методом непосредственного измерения пробы

Для того чтобы предотвратить выпадение конденсата вместе с легкорастворимыми загрязняющими веществами, необходимо поддерживать температуру пробы при ее транспортировке к газоанализатору выше температуры точки росы (для горячим источников). В этом случае следует использовать обогреваемые газовые магистрали 4. Магистраль может быть выполнена из фторопластовой трубки диаметром 8... 10 мм, обогреваемой снаружи.

Высокотемпературная проба должна быть охлаждена в холодильнике 5 перед ее подачей в газоанализатор 6. Выпавший при охлаждении конденсат может быть проанализирован в лаборатории на содержание легкорастворимых загрязняющих веществ. По данным о расходе воздуха через газоанализатор, времени анализа, количестве конденсата и содержании в нем загрязняющих веществ может быть рассчитана добавка в показание газоанализатора, учитывающая искажение результатов при охлаждении пробы.

Для измерения концентрации загрязняющих веществ в промышленных выбросах используют хемотронные газоанализаторы (для контроля содержания суммы оксидов азота в технологических линиях по производству азотной кислоты и аммиака, в отходящих газах котлоагрегатов ТЭС), оптико-акустические универсальные (для непрерывного контроля CO,

NO и SO<sub>2</sub> в газовых выбросах от промышленных предприятий), а также индикаторные трубки.

Одним из перспективных методов контроля промышленных выбросов является метод динамического разбавления, который основан на разбавлении пробы из газохода чистым воздухом или азотом в заданном отношении.

Преимущества метода динамического разбавления пробы заключаются в возможности использовать:

- газоанализаторы микроконцентраций (атмосферные газоанализаторы),
- необогреваемые газовые магистрали, так как проба разбавляется уже при отборе и при этом устраняется опасность конденсации влаги и выпадения легкорастворимых загрязняющих веществ.

## Литература

1. Горелик, Д. О. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов. Аэроаналитические измерения / Д. О. Горелик, Л. А. Конопелько. – М.: Изд-во стандартов, 1992 – 432 с.

2. Санитарно-химический контроль воздуха промышленных предприятий / С. И. Муравьева, М. Д. Бабина, А. Г. Атласов, И. С. Новикова; под ред. С. И. Муравьевой. – М.: Медицина, 1982. – 352 с.

3. Руководство по контролю вредных веществ в воздухе рабочей зоны: справ. изд. / С. И. Муравьева, М. И. Буковский, Е. К. Прохорова и др. – М.: Химия, 1991. – 368 с.

## Оглавление

Введение.....	3
1. Общие сведения об автоматических газоанализаторах .....	4
2. Электрохимические газоанализаторы .....	7
3. Фотоколориметрические газоанализаторы .....	9
4. Люминесцентные газоанализаторы .....	11
Флуоресцентные газоанализаторы .....	11
Пламенно-фотометрические газоанализаторы .....	13
Хемилюминесцентные газоанализаторы .....	15
5. Оптико-акустические газоанализаторы.....	17
6. Пламенно-ионизационные газоанализаторы .....	19
7. Оптико-абсорбционные газоанализаторы.....	22
8. Лазерные газоанализаторы .....	23
9. Измерение концентрации вредных веществ индикаторными трубками.....	24
Устройство и принцип действия.....	24
Воздухозаборные устройства для индикаторных трубок.....	29
Аспиратор сильфонный АМ-5 .....	30
Ручной поршневой насос Китагавы.....	32
10. Газоанализаторы как средство контроля выбросов .....	34
Литература .....	39

Учебное издание

**Орлов Владимир Юрьевич  
Швыркова Наталия Степановна**

**Экологический мониторинг.  
Газоанализаторы для контроля  
загрязнения атмосферного воздуха**

*Методические указания*

Редактор, корректор И. В. Бунакова  
Компьютерная верстка И. Н. Ивановой

Подписано в печать 15.06.09. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бум. офсетная. Гарнитура "Times NewRoman".

Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,78.

Тираж 100 экз. Заказ .

Оригинал-макет подготовлен в редакционно-издательском отделе  
Ярославского государственного университета  
им. П. Г. Демидова.

Отпечатано на ризографе.

Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова.  
150000, Ярославль, ул. Советская, 14.





**В. Ю. Орлов  
Н. С. Швыркова**

**Экологический  
мониторинг.  
*Газоанализаторы для  
контроля загрязнения  
атмосферного воздуха***

