

О.В. Свирюкова

(Московский государственный университет инженерной экологии;
e-mail: Svirukova@yandex.ru)

КОНТРОЛЬ ВОЗДУХА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ФОТОКОЛОРИМЕТРИЧЕСКИМИ ГАЗОАНАЛИЗАТОРАМИ

В статье приведён обзор фотоколориметрического метода анализа воздуха, проведены классификация и анализ фотоколориметрических газоанализаторов по типу чувствительного элемента, описаны их достоинства и недостатки, подробно описан принцип работы ленточного фотоколориметрического газоанализатора.

Ключевые слова: фотоколориметрические газоанализаторы, микроконцентрации, чувствительный элемент.

O.V. Svirukova

CONTROL OF INDUSTRIAL AIR BY PHOTOCOLORIMETRIC GAS ANALYZER

This article provides an overview of photocolometric method of analysis of air, classification and analysis conducted photocolometric gas analyzer according to the type of sensitive element, described their advantages and disadvantages, is described in detail the principle of tape photocolometric gas analyzer.

Key words: photocolometric gas analyzer, micro concentration, sensitive element.

Химическое производство растет вместе с человеческими потребностями. Не менее трети всех предприятий мира имеет дело с химическими веществами – производит их или использует в своих технологических процессах. Проблема промышленной безопасности значительно обострилась с появлением крупномасштабных химических производств. Основу химической промышленности составили производства непрерывного цикла, производительность которых, по существу, не имеет естественных ограничений. Постоянный рост производительности обусловлен значительными экономическими преимуществами крупных установок. Как следствие, возрастает содержание опасных веществ в технологических аппаратах, что сопровождается возникновением опасностей пожаров, взрывов, токсических выбросов и других опасных событий.

Оптимальным решением вопроса быстрого определения токсичных газов является применение автоматических газоанализаторов, устанавливаемых в зонах возможного выделения газов. Для анализа воздушной среды производственных помещений используют автоматические приборы, непрерывно регистрирующие концентрации анализируемого компонента в течение определённого времени.

При определении микроконцентраций токсичных и взрывоопасных газов широкое применение нашёл фотоколориметрический метод анализа. Этот метод позволяет определять концентрации веществ по изменениям оптических характеристик чувствительного элемента.

В основу работы фотоколориметрических газоанализаторов положена цветная избирательная реакция химического взаимодействия между компонентом газовой смеси, концентрация которого определяется, и реагентом, нанесённым на чувствительный элемент. Цветная избирательная химическая реакция сопровождается образованием в растворе окрашенных комплексов, концентрация которых определяется методом измерения светопоглощения.

Фотоколориметрические методы газового анализа имеют ряд существенных преимуществ, по сравнению с другими методами [1].

Первым преимуществом является высокая чувствительность, так как возможно накапливание определяемого компонента в индикаторном растворе или индикаторной ленте. Увеличение количества анализируемого газа, проходящего через индикаторный раствор или индикаторную ленту, позволяет почти неограниченно увеличивать чувствительность фотоколориметрических газоанализаторов. Фотоколориметрические газоанализаторы находят широкое применение для определения микроконцентраций различных газов в сложных газовых смесях и в воздушной среде, но непригодны для измерения больших концентраций.

Вторым преимуществом фотоколориметрических методов анализа является их высокая избирательность, которая определяется специфичностью подобранной химической реакции между определяемым компонентом газовой смеси и реагентом.

Третьим преимуществом фотоколориметрических методов анализа является возможность создания универсальных конструкций фотоколориметрических газоанализаторов. Один и тот же прибор с различными индикаторными растворами или различными индикаторными лентами может быть использован для определения концентрации различных газов.

На практике различают четыре вида фотоколориметрических газоанализаторов по типу чувствительного элемента [2].

1. Жидкостной чувствительный элемент

Физической основой метода измерения служит закон Бугера-Ламберта-Бера:

$$C = D_{\lambda} / (\varepsilon_{\lambda} l),$$

где C – измеряемая концентрация газа;

D_{λ} – оптическая плотность;

ε_{λ} – коэффициент поглощения;

l – длина кюветы.

В автоматических газоанализаторах с жидкостными чувствительными элементами используют дифференциальные схемы измерения с двумя фоторезисторами. Они могут быть выполнены с периодической и непрерывной подачей раствора и газа. Более эффективна периодическая подача равными порциями через одинаковые промежутки времени. Эти приборы имеют высокую чув-

ствительность. Однако все газоанализаторы этого типа имеют большое время запаздывания, что обуславливается плохими динамическими характеристиками канала измерения.

Газоанализаторы с жидкостным чувствительным элементом не находят широкого применения в производстве из-за малого быстродействия и сложности технической реализации.

2. Чувствительный элемент порошкового типа

Порошковые фотоколориметрические газоанализаторы предназначены для контроля чистоты воздуха производственных помещений по комплексу газов H_2S , NH_3 и др. Указанные газоанализаторы представляют собой фотоколориметрические автоматические стационарные промышленные приборы циклического действия, использующие в качестве чувствительного элемента индикаторные порошки.

Принцип действия основан на изменении коэффициента отражения чувствительного элемента при воздействии на него анализируемого газа.

Достоинство порошковых фотоколориметрических газоанализаторов – большой ресурс работы чувствительного элемента, достигающий 8000 измерений.

Основные недостатки – увеличение погрешности измерения за счёт вторичного использования прореагировавшего чувствительного элемента, сложность устройства обновления чувствительного элемента.

3. Чувствительный элемент таблеточного типа

Физической основой метода измерения является зависимость коэффициента отражения чувствительного элемента от концентрации определяемого компонента в анализируемом воздухе.

Приборы данного типа имеют ряд достоинств:

- чувствительный элемент – мелкодисперсная чувствительная спрессованная смесь реактива, абсорбента и наполнителя, что обуславливает большую компактность;
- коэффициент массопередачи процесса адсорбции велик, что обеспечивает высокое быстродействие;
- твёрдый реактив более избирателен, чем жидкий, из чего следует малая основная погрешность прибора;
- время работы одного чувствительного элемента таблеточного типа очень велико.

Но, несмотря на все достоинства, данный тип приборов не нашел широкого применения. Основная трудность состоит в получении таблеточных чувствительных элементов.

Газоанализаторы с таблеточными чувствительными элементами подразделяют на три типа в зависимости от метода измерения скорости изменения коэффициента отражения поверхности чувствительного элемента.

4. Ленточный чувствительный элемент

Физической основой метода измерения является зависимость коэффициента пропускания или отражения ленточного чувствительного элемента от концентрации определяемого компонента в анализируемом воздухе.

Прибор этого типа работает по следующему алгоритму.

Над лентой, пропитанной специальным реактивом, продувается анализируемый воздух, из которого анализируемый компонент адсорбируется на поверхности ленты и вступает в цветовую химическую реакцию с реактивом, вследствие чего изменяется коэффициент поглощения ленты. Место реакции (реакционная камера) освещается источником света до и после прохождения анализируемого воздуха.

Измеряемая концентрация $C_{ИЗМ}$ вычисляется по формуле:

$$C_{ИЗМ} = A / (T M_H K_M),$$

где T – время экспонирования;

A – относительное изменение оптического свойства ленточного чувствительного элемента, вычисляемое по результатам измерений выходного сигнала фотометра до и после экспонирования;

M_H – номинальное значение чувствительности индикаторной ленты данного типа;

K_M – коэффициент чувствительности ленты, установленной в газоанализатор, отражающий относительное отличие чувствительности данной ленты от значения номинальной чувствительности (определяется при выпуске ленты из производства и указывается в сопровождающем её документе и на поверхности кассеты).

Существует два способа подачи ленты: дискретный и постоянный. Дискретный способ применяют, если необходимо измерять концентрацию с заданной точностью, постоянный – если необходима только сигнализация о нахождении определяемого компонента в анализируемом воздухе.

Для ленточных фотоколориметрических газоанализаторов характерен весьма малый расход рабочего раствора и связанная с этим лёгкость достижения высокой чувствительности, так как отношение реагирующих количеств газа и реагента может быть очень большим. Однако из-за неоднородности поверхности ленты и некоторых других факторов погрешность ленточных фотоколориметрических газоанализаторов выше погрешности, например, жидкостных фотоколориметрических газоанализаторов.

Сейчас в основном изготавливают бумажные ленточные чувствительные элементы, которые отличаются от тканевых большей стабильностью и воспроизводимостью показаний, большим сроком хранения. Они не требуют предварительной технологической обработки.

Недостатком бумажных ленточных чувствительных элементов является неоднородность оптических свойств, низкая механическая прочность, ограниченный ресурс, малый срок службы.

Классификация фотоколориметрических газоанализаторов по режиму работы прибора, типу *первичного измерительного преобразователя (ПИП)* и методу измерения представлена на рис. 1.

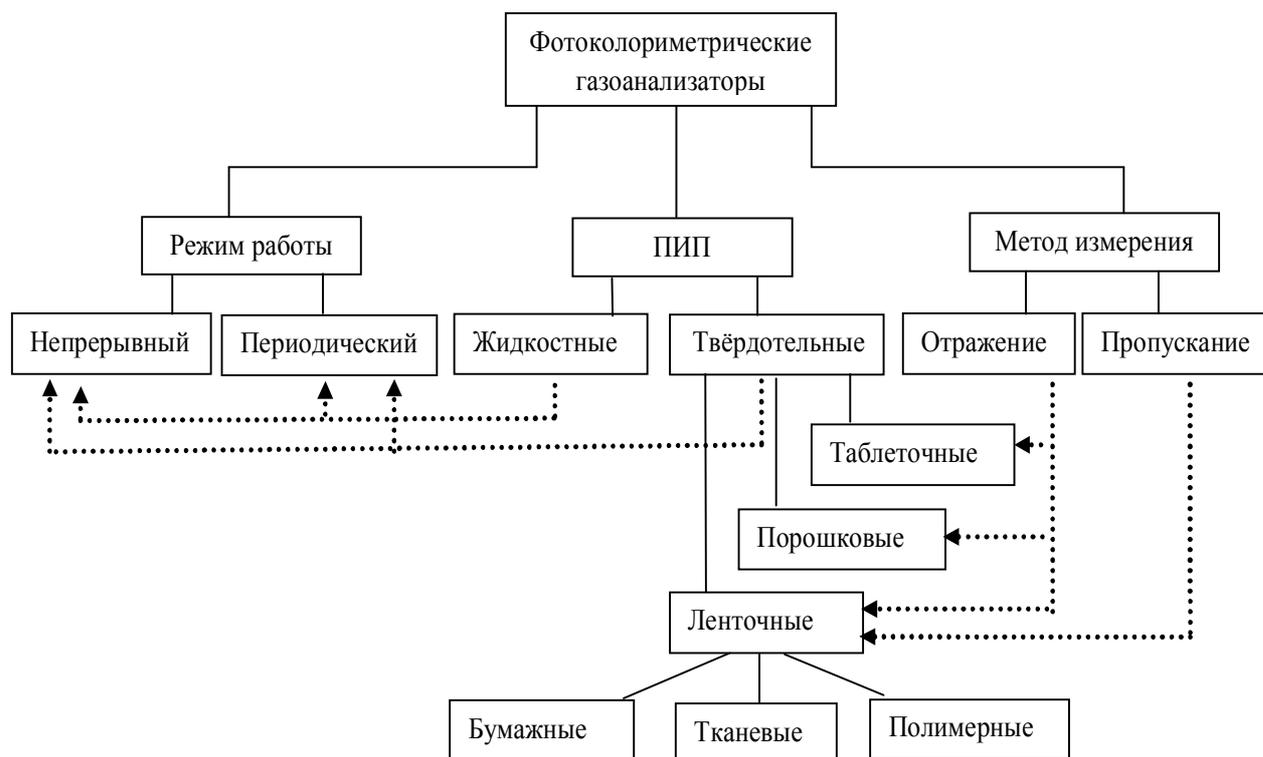


Рис. 1. Классификация фотоколориметрических газоанализаторов

В НПО "Химавтоматика" создан газоанализатор типа СФГ-М (рис. 2), который является стационарным автоматическим прибором циклического действия, предназначенным для контроля химических компонентов в воздухе рабочих зон и сооружений в диапазоне от 0 до 5 *предельно-допустимых концентраций (ПДК)*, и имеет два исполнения. Технические характеристики газоанализатора СФГ-М представлены в табл. 1 [3].



Рис. 2. Стационарный фотоколориметрический газоанализатор СФГ-М

Технические характеристики газоанализатора СФГ-М

Измеряемые компоненты	NO ₂ , Cl ₂ , H ₂ S, HCl, NH ₃ , НДМГ, N ₂ H ₄ , O ₃ , SO ₂	
Диапазон измерений	0-5 ПДК	
Основная погрешность	в диапазоне 1-5 ПДК, относительная	± 25 %
	в диапазоне 0-1 ПДК, абсолютная	± 0,25 ПДК
Температура окружающей среды	-20 ... +40 °С	
Маркировка взрывозащиты блока датчика	1ExibdПВТЗ	
Ёмкость кассеты с индикаторной лентой	не менее 2500 циклов	
Габаритные размеры	блока датчика	200×300×170 мм
	блока питания	213×185×117 мм
Масса	блока датчика	до 5 кг
	блока питания	до 2 кг

Это прибор, основанный на фотоколориметрическом методе определения концентраций токсичных химических веществ в воздухе, с выводом информации об измеряемой концентрации на цифровой дисплей. Показания прибора отображаются одновременно на двух дисплеях: блока датчика и блока питания. Двухуровневая неперестраиваемая сигнализация (1 ПДК и 5 ПДК) осуществляется замыканием сухих контактов реле блока питания, которые позволяют коммутировать цепи переменного тока до 100 мА напряжением до 400 В.

Для контроля конкретного химического компонента в газоанализаторе используется соответствующий тип *преобразователя ленточного кассетного (ПЛК)* с избирательным для данного компонента расходуемым *ленточным чувствительным элементом (ЛЧЭ)*, являющимся первичным измерительным преобразователем (рис. 3). При установке ПЛК в газоанализатор автоматически происходит настройка на измерение соответствующего компонента. ПЛК предназначен для хранения ЛЧЭ, свежие участки которого подаются в зону экспонирования блока питания с помощью лентопротяжного механизма этого блока. ПЛК является расходуемым элементом и подлежит периодической замене. Замена ПЛК на ПЛК того же типа не требует последующих операций наладки газоанализатора. ПЛК сохраняет свои характеристики в течение 1 года.



Рис. 3. Преобразователь ленточный кассетный

В табл. 2 представлены ПЛК на вредные вещества, определяемые газоанализатором СФГ-М в двух исполнениях, и их ПДК.

Таблица 2

Преобразователи ленточные кассетные

Определяемый компонент	ПДК р.з., мг/м ³	Марка преобразователя	Исполнение газоанализатора
Cl ₂	1	ПЛК-21	1
NO ₂	2	ПЛК-22	
O ₃	0,1	ПЛК-23	
N ₂ H ₄	0,1	ПЛК-24	
НДМГ	0,1	ПЛК-25	
H ₂ S	10	ПЛК-26	2
NH ₃	20	ПЛК-27	
HCL	5	ПЛК-28	
SO ₂	10	ПЛК-31	

ПЛК представляет собой корпус с цилиндрической полостью, в который уложен свёрнутый в рулон ЛЧЭ. Корпус имеет щель, через которую ЛЧЭ вытягивается из корпуса. На верхней стороне корпуса расположена этикетка с данными о типе ПЛК и дате его изготовления. На нижней стороне расположена наклейка, на которой нанесён штрих-код, позволяющий ввести в газоанализатор сведения о типе ПЛК (контролируемое вещество) и о значении коэффициента чувствительности ЛЧЭ.

Чувствительность ленты вычисляют по формуле:

$$M = \frac{0,1}{C_D T},$$

где C_D – концентрация контролируемого вещества в газовой смеси, ПДК;

T – среднее время экспонирования, за которое оптическое свойство ленты меняется на 10 %, с.

Размерность чувствительности: $\frac{1}{\text{ПДК} \cdot \text{с}}$.

Коэффициент чувствительности ЛЧЭ вычисляют по формуле:

$$K_M = \frac{M}{M_H},$$

где M – средняя чувствительность ленты;

M_H – номинальная чувствительность индикаторной ленты данного типа.

Работа газоанализатора основана на фотометрическом наблюдении за изменением оптического свойства (коэффициента пропускания) рабочего участка индикаторной ленты (ЛЧЭ), пропитанной специальным составом, обеспечивающим цветовую химическую реакцию с контролируемым веществом. При контакте рабочего участка ЛЧЭ с анализируемым воздухом, содержащим пары контролируемого вещества, изменение коэффициента пропускания рабочего участка ЛЧЭ происходит тем быстрее, чем выше концентрация контролируемого вещества.

Экспонирование (обдув рабочего участка ЛЧЭ анализируемым воздухом) осуществляется в газоанализаторе в несколько этапов, каждый из которых сопровождается фотометрической оценкой результата, учётом времени экспонирования. Реализованный в газоанализаторе принцип действия базируется на связи между временем экспонирования, результатом фотометрирования, чувствительностью ЛЧЭ и концентрацией контролируемого компонента.

В последнее время фотоколориметрические газоанализаторы находят всё большее применение в связи с совершенствованием технологических процессов химических производств и необходимостью определения в производственных газах малых примесей тех или иных компонентов.

Литература

1. *Павленко В.А.* Газоанализаторы. М.-Л.: Машиностроение, 1965. 296 с.
2. *Гуревич М.М.* Фотометрия (теория, методы и приборы). Л.: Энергоатомиздат, 1983. 268 с.
3. <http://www.chimavtomatika.ru>.