

К. т. н. В. Ф. РЫЖКОВ

Украинский НИИ аналитического приборостроения, г. Киев
E-mail: analyt@ukranalyt.com.uaДата поступления в редакцию
24.06 2003 г.Оппоненты Е. Н. ФЕДОРЧЕНКО, А. Н. ФОМИН
(НПП «Хартрон-ЮКОМ», г. Запорожье)

ПОРТАТИВНЫЙ ПЛАМЕННО-ИОНИЗАЦИОННЫЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР

Описан принцип действия, особенности работы и применения, технические характеристики портативного пламенно-ионизационного газоанализатора.

Приоритетное место в создании средств и методов контроля содержания вредных органических веществ в воздухе отводится инструментальным методам. Сегодня ставится задача разработки портативных автономных приборов, которые позволяли бы проводить измерения непосредственно на объекте или в полевых условиях, имели небольшие габариты и массу.

Среди многообразия методов анализа органических газов и паров один из наиболее широко используемых — пламенно-ионизационный, сущность которого заключается в измерении величины тока ионизации, полученного при введении в пламя водорода органических веществ. Этот метод отличает высокая чувствительность, широкий диапазон измеряемых концентраций, незначительные колебания чувствительности для различных органических веществ.

Электропроводность чистого водородного пламени чрезвычайно низка. Молекулы органических веществ, вводимые в пламя водорода, ионизируются, в результате чего электропроводность пламени резко возрастает. В зоне горения протекают такие реакции [1]: реакция горения, термическая диссоциация (пиролиз), химиоинициация, реакция рекомбинации. Интенсивность и равновесие этих реакций зависят от температуры пламени, расхода водорода и от скорости диффузии кислорода воздуха.

Реакция горения: $\text{H} + \text{O}_2 \rightarrow \text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H} + \text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{H}$.

Термическая диссоциация (на примере бензола): $\text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow 6 \text{CH}$.

Химиоинициация: $\text{CH} + \text{O} \rightarrow \text{CHO}^+ + \text{e}^-$.

В дальнейшем CHO^+ реагирует с молекулами воды: $\text{CHO}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CO}$.

Именно ионы гидроксония (H_3O^+) и обуславливают электропроводность пламени.

Далее ионы H_3O^+ вступают в реакцию рекомбинации: $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{H}$.

Если такое пламя поместить между электродами, к которым приложено постоянное напряжение, то между ними появится ток ионизации.

Показанный механизм ионизации объясняет пропорциональность сигнала детектора числу атомов углерода в молекуле органического соединения.

Чувствительность пламенно-ионизационного детектора — $10^{-12} \dots 10^{-9}$ г/с, линейный диапазон — $10^7 \dots 10^8$.

Пламенно-ионизационные детекторы широко используются при построении образцовых и рабочих газоанализаторов, компараторов, хроматографов,

различных измерительных преобразователей. Основной проблемой при создании портативных приборов на основе этого метода является сложность газовой схемы, другая проблема — обеспечение приборов высокоэффективным источником водорода.

В мире рядом фирм выпускаются портативные пламенно-ионизационные газоанализаторы. К лучшим из них следует отнести: AUTOFIM [2], PORTAFID [3], MICROFID [4]. Масса приборов колеблется от 3,7 до 5 кг. Все они в качестве источника водорода используют баллон с водородом, накачанным под высоким давлением.

В Украинском НИИ аналитического приборостроения разработан, прошел государственные испытания и выпускается портативный пламенно-ионизационный газоанализатор 623ПИ05 (рис. 1). Отличительной особенностью прибора является использование в качестве источника водорода аккумулятора водорода на основе гидридов редкоземельных металлов. Это позволило перейти на низкое рабочее давление и существенно уменьшить габариты встроенного источника водорода.



Рис. 1. Газоанализатор 623ПИ05

На рис. 2 показана функциональная схема газоанализатора 623ПИ05. Он состоит из газовой части, пламенно-ионизационного детектора и электрической части.

Газовая часть прибора предназначена для очистки от механических примесей, формирования и стабилизации газовых потоков водорода, анализируемой пробы и воздуха для горения водородного пламени.

В пламенно-ионизационном детекторе (ПИД) происходит преобразование информативного параметра концентрации органических веществ в пробе в ток ионизации, пропорциональный этой концентрации.

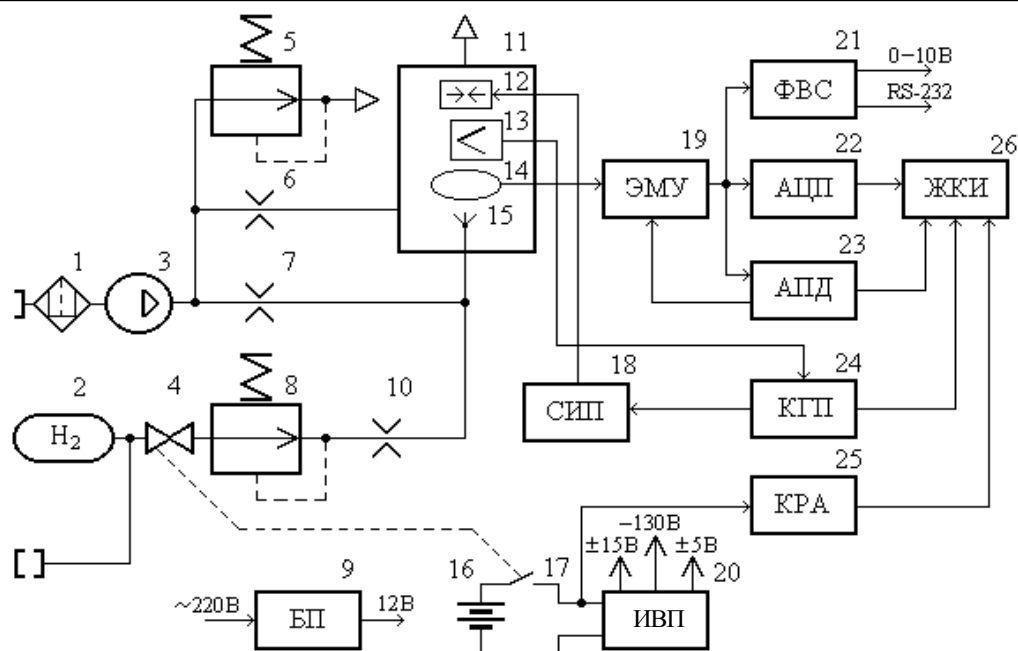


Рис. 2. Функциональная схема газоанализатора:

1 — пылевой фильтр; 2 — аккумулятор водорода; 3 — компрессор; 4 — запорный вентиль; 5 — стабилизатор давления; 6, 7, 10 — пневмосопротивления; 8 — стабилизатор давления; 9 — сетевой блок питания; 11 — пламенно-ионизационный детектор; 12 — электроды искрового поджигания; 13 — термопара; 14 — коллектор; 15 — горелка; 16 — электрический аккумулятор; 17 — выключатель; 18 — схема искрового поджигания; 19 — электрометрический усилитель; 20 — источник вторичного питания; 21 — формирователь выходных сигналов; 22 — аналого-цифровой преобразователь; 23 — автоматический переключатель диапазонов; 24 — схема контроля горения пламени; 25 — схема контроля разряда аккумулятора; 26 — жидкокристаллический индикатор

Электрическая часть газоанализатора выполняет такие функции:

- преобразование и усиление выходного сигнала ПИД;
- индикацию измерительной информации и формирование выходных сигналов;
- контроль за горением и автоматическое поджигание пламени водорода;
- контроль напряжения аккумуляторной батареи.

Анализируемый газ закачивается на вход газоанализатора через пылевой фильтр 1 компрессором 3. Забор пробы может осуществляться либо непосредственно из окружающей среды, либо с помощью пробозаборного зонда из мест отбора пробы.

Далее поток анализируемого газа, стабилизированный по давлению стабилизатором 5, делится с помощью пневматических сопротивлений 6, 7 на два потока: первый (с расходом 30 мл/мин) поступает в горелку ПИД 11 как проба, а второй (с расходом 200 мл/мин), коаксиально горелке, — как воздух для горения.

В качестве источника водорода в приборе применен аккумулятор водорода 2, представляющий собой емкость, заполненную порошком на основе гидридов интерметаллических соединений, способных активно и в больших количествах поглощать водород, а затем выделять его без дополнительного нагрева. Аккумулятор емкостью 50 мл, используемый в приборе, позволяет накапливать свыше 40 л водорода.

Аккумулятор перекрывается при помощи шарового крана 4, конструктивно объединенного с выключателем электрического питания 17. Поворот шарового крана в различные положения обеспечивает работу прибора от встроенного аккумулятора водорода или от внешнего источника водорода, а также режим зарядки встроенного аккумулятора.

Далее давление водорода понижается и стабилизируется стабилизатором 8. При помощи пневмосопротивления 10 поток во-

дорода ограничивается до значения 30 мл/мин и подается вместе с пробой в горелку ПИД.

Пламенно-ионизационный детектор 11 представляет собой герметичную конструкцию и включает в себя такие основные элементы:

- горелку 15, к которой подводится смешанный поток водорода и анализируемой пробы. Горелка служит также электродом, к которому приложено поляризующее напряжение (-130 В). Воздух для горения поступает коаксиально горелке;
- коллекторный электрод 14 в виде полого цилиндра с подключенным к нему электрическим выводом с изоляцией высокого сопротивления для съема измерительного сигнала;
- термопару 13 для контроля горения пламени;
- электроды искрового поджигания 12. Для образования искры к выводам электродов от повышающего трансформатора подводится напряжение порядка 6 кВ.

В корпусе датчика, в нижней его части, имеется отверстие для выброса воздушного потока с продуктами горения.

Измерительный токовый сигнал с ПИД преобразовывается электрометрическим усилителем (ЭМУ) 19 в сигнал напряжения. Электрометрический усилитель — трехдиапазонный. В конце каждого диапазона выходному напряжению усилителя 2 В соответствуют:

- на первом диапазоне — ток ПИД $2 \cdot 10^{-10}\text{ А}$ при концентрации метана в анализируемом воздухе 20 мг/м^3 ;
- на втором диапазоне — ток ПИД $2 \cdot 10^{-9}\text{ А}$ при концентрации метана в анализируемом воздухе 200 мг/м^3 ;

Технические характеристики газоанализатора
623ПИ05

Диапазоны измерения, мг/м ³	0—20—200—2000
Пороговая чувствительность, мг/м ³	0,2
Быстродействие, с	10
Погрешность, %, не более	15
Воспроизводимость показаний, %	1,5
Расход пробы, л/мин, не более	1
Источники электрического питания:	
— встроенная аккумуляторная батарея	
напряжение, В	12
— внешний источник постоянного тока	
напряжение, В	12
потребляемая мощность, Вт	2,5
— сеть переменного тока 220 В, 50 Гц	
потребляемая мощность, ВА	10
Источники газового питания:	
— встроенный аккумулятор водорода	
время непрерывной работы, ч	16
— внешний источник водорода	
давление, МПа	2,5
расход, мл/мин	35
Время непрерывной работы, ч	8
Диапазон рабочих температур, °С	5—40
Габаритные размеры, мм	120×240×200
Масса, кг	4,6

— на третьем диапазоне — ток ПИД $2 \cdot 10^{-8}$ А при концентрации метана в анализируемом воздухе 2000 мг/м³.

Выбор диапазона измерения осуществляется автоматически с помощью схемы автоматического переключения диапазонов (АПД) 23.

Выходной сигнал ЭМУ преобразовывается аналого-цифровым преобразователем 22 в цифровой вид и отображается с учетом выбранного диапазона измерения жидкокристаллическим индикатором (ЖКИ) 26. Он также поступает в формирователь (ФВС) 21, где формируются нормированные аналоговые и цифровые выходные сигналы газоанализатора.

Контроль горения и автоматическое поджигание водорода в ПИД осуществляются схемой контроля горения пламени (КГП) 24. При включении прибора (или при погасании пламени во время работы) по сиг-

налу термопары 13 схема формирует управляющие сигналы, по которым вырабатывается высокое напряжение в схеме искрового поджигания (СИП) 18. Отсутствие пламени в датчике индицируется на ЖКИ.

Контроль напряжения аккумуляторной батареи осуществляется схемой контроля разряда аккумулятора (КРА) 25. Снижение напряжения ниже 10 В также индицируется на ЖКИ. Все необходимые напряжения для работы электрической части газоанализатора вырабатываются источником вторичного питания (ИВП) 20 от электрического аккумулятора 16. Зарядка аккумулятора и работа прибора в лабораторных условиях осуществляются от сетевого блока питания (БП) 9.

Технические характеристики газоанализатора приведены в **таблице**.

Основное назначение прибора — измерение концентрации органических веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов, а также в воздухе санитарно-защитных и рабочих зон промышленных предприятий. Прибор с успехом может быть применен для контроля технологического и выбрасываемого воздуха различных производств. С его помощью можно эффективно определять места утечек газа и нефтепродуктов, места загрязнения остатками пролившихся нефтепродуктов, концентрацию углеводородов при сертификации рабочих мест, качество работы газоочистных сооружений на предприятиях и пр.

В настоящее время на базе газоанализатора 623ПИ05 разрабатывается портативный хроматограф для раздельного измерения концентрации органических веществ, что позволит проводить анализ многокомпонентных газовых смесей непосредственно на объекте.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Nunnikhoven R. Research of high-sensitivity flame-ionization detector // Analytical chemistry. — 1968. — Vol. 236. — P. 79—96.
2. Газоанализатор AUTOFIM (проспект ф. Sensotran, Испания).
3. Газоанализаторы PORTAFID (проспект ф. Intereng Meb-technic, Германия).
4. Газоанализатор MICROFID (проспект ф. Perkin Elmer, США).

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Грачев А. А., Мельник А. А., Панов Л. И. ПОВЕРХНОСТНЫЙ МОНТАЖ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ.— Одесса: ЦНТЭПИ, 2003.

Книга содержит материалы по вопросам конструирования, характеристики компонентов, печатных плат и применяемых материалов, описание технологических процессов и оборудования — все аспекты, касающиеся монтажа компонентов на поверхность печатных плат при сборке современной электронной аппаратуры.

Эта книга является первой в нашей стране монографией по технике поверхностного монтажа и предназначена для инженерно-технических работников и организаторов вновь создаваемых и возрождающихся предприятий по производству электронной аппаратуры, она может быть полезна студентам ВУЗов и техникумов.

