

К. т. н. И. Л. МИХЕЕВА, В. К. КУРИННЫЙ, В. Ю. ТАЯКИН,
Л. Д. МАЗЫРА

Украина, г. Киев, УкрНИИ аналитического приборостроения
E-mail: mil@faust.kiev.ua

Дата поступления в редакцию
19.11 2002 г.

Оппонент д. ф.-м. н. Ф. Д. КАСИМОВ
(СКБ КП, г. Баку)

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

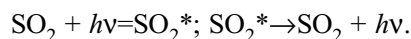
Описаны принцип действия, особенности работы и технические характеристики флуоресцентного газоанализатора диоксида серы и хемиллюминесцентного газоанализатора оксидов азота.

Для непрерывного круглосуточного мониторинга загрязнения атмосферного воздуха создаются автоматические станции контроля загрязнения атмосферы (АСКЗА), которые объединяются в систему передачи контрольно-измерительной экологической информации. АСКЗА комплектуются автоматическими газоанализаторами, задачей которых являются:

- автоматический отбор, подготовка к анализу и удаление после анализа газовой пробы;
- анализ концентрации измеряемого компонента и преобразование в электрический сигнал;
- обработка результатов измерений по заданному алгоритму;
- формирование унифицированных выходных сигналов (аналоговых или цифровых), используемых в дальнейшем в системах передачи информации;
- поддержание метрологических характеристик в заданных пределах.

В НИИ “Укрналит” освоены самые современные методы газового анализа, на основе которых создана серия автоматических газоанализаторов для контроля загрязнения атмосферного воздуха [1].

Для измерения содержания диоксида серы (SO_2) используется метод ультрафиолетовой (УФ) молекулярной флуоресценции. Он основан на возбуждении молекул SO_2 УФ-излучением с последующей регистрацией интенсивности флуоресцентного испускания, возникающего при переходе молекул из возбужденного состояния в основное:



Интенсивность флуоресцентного испускания ($\Phi_{\text{фл}}$) зависит от количества поглощенного возбуждающего излучения ($\Phi_{\text{в}}$) и для микроконцентраций описывается формулой [2, с. 42]

$$\Phi_{\text{фл}} = \left(2,3\Phi_{\text{в}}B_{\text{к}}kl \frac{\lambda_{\text{п}}}{\lambda_{\text{фл}}} \right) x, \quad (1)$$

где $B_{\text{к}}$ — квантовый выход флуоресценции анализируемого компонента;

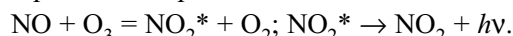
k — коэффициент поглощения анализируемого компонента;

- l — толщина поглощающего слоя;
- $\lambda_{\text{п}}$ — среднее эффективное значение длины волны возбуждающего излучения;
- $\lambda_{\text{фл}}$ — среднее эффективное значение длины волны флуоресцентного испускания;
- x — концентрация анализируемого компонента.

Так как все члены выражения (1), кроме x , в условиях проведения анализа остаются постоянными, то величина $\Phi_{\text{фл}}$ будет зависеть только от концентрации анализируемого компонента в анализируемой смеси. Именно эта зависимость используется во флуоресцентных газоанализаторах.

На базе этого метода разработана новая модель (667ФФ 05) автоматического газоанализатора диоксида серы в атмосферном воздухе.

Для измерения содержания оксида (NO) и диоксида (NO_2) азота используется хемиллюминесцентный метод анализа. Он основан на зависимости интенсивности хемиллюминесцентного испускания от концентрации в анализируемой смеси измеряемого компонента. В газоанализаторах оксидов азота используется химическая реакция между озоном (O_3) и оксидом азота (NO), в результате которой образуются возбужденные молекулы (NO_2^*). Переход молекул NO_2^* в основное состояние сопровождается хемиллюминесцентным испусканием в инфракрасном (ИК) спектральном диапазоне, интенсивность которого является мерой концентрации оксидов азота:



На базе этого метода разработана новая модель (645ХЛ 10) автоматического газоанализатора оксидов азота в атмосферном воздухе.

На рис. 1 представлена блок-схема газоанализатора 667ФФ 05.

Анализируемый атмосферный воздух засасывается в газоанализатор через пневмовыход “Проба” с помощью побудителя расхода 11. Воздух очищается от аэрозольных частиц диаметром более 20 мк в пылевом фильтре 5, затем через электромагнитный клапан 8 и осушитель 9 поступает во флуоресцентную камеру 14.

Излучение от УФ-источника 2 с помощью объектива 3 фокусируется во флуоресцентной камере. Выделение спектральной области возбуждения флуоресценции молекул SO_2 осуществляется с помощью первичного интерференционного светофильтра 4. Для возбуждения флуоресценции SO_2 в этом газоанализаторе

заторе применена импульсная ксеноновая лампа типа СШ20-1, работающая с частотой 2 Гц. Возбуждение флуоресценции осуществляется в диапазоне 215—235 нм с $\lambda_{\max} = 225 \pm 2$ нм.

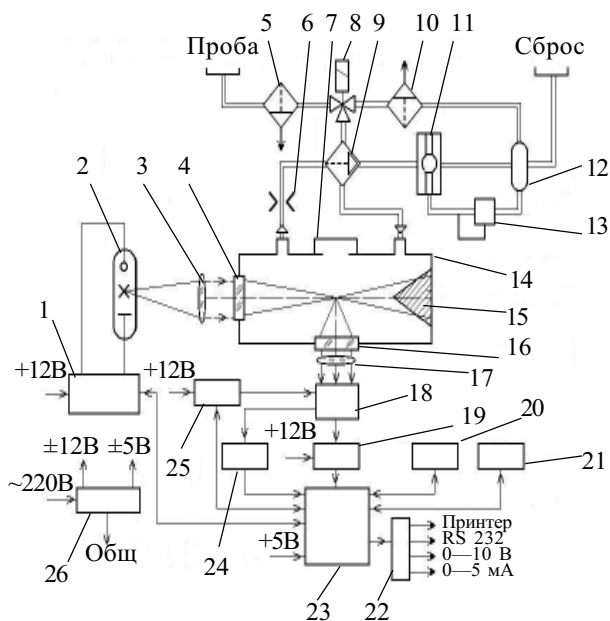


Рис. 1. Блок-схема газоанализатора 667ФФ 05:

1 — плата питания источника излучения; 2 — источник УФ-излучения; 3, 17 — объективы; 4, 16 — оптические светофильтры; 5 — фильтр пылевой; 6 — дроссель пневматический; 7, 15 — светоловушки; 8 — клапан электромагнитный; 9 — осушитель пробы; 10 — фильтр объемный; 11 — побудитель расхода; 12 — ресивер; 13 — стабилизатор давления газа; 14 — камера флуоресцентная; 18 — фотоэлектронный умножитель; 19 — плата делителя напряжения и формирования сигналов; 20 — клавиатура; 21 — алфавитно-цифровой индикатор; 22 — плата выходных сигналов; 23 — микропроцессорное устройство; 24 — датчик температуры; 25 — плата питания ФЭУ; 26 — блок питания

В камере происходит взаимодействие молекул SO_2 с УФ-излучением. Возникающее при этом флуоресцентное испускание передается с помощью объектива 17 на фотокатод фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) 18. Спектральная область регистрации флуоресцентного испускания выделяется из спектра флуоресценции диоксида серы с помощью вторичного интерференционного светофильтра 16. Светоловушки 7, 15 служат для уменьшения величины фонового сигнала, поступающего на ФЭУ.

Регистрация интенсивности флуоресцентного испускания осуществляется с помощью ФЭУ-85 в спектральном диапазоне 260—360 нм.

Импульсный информационный сигнал с ФЭУ поступает на плату формирователя сигнала 19 и, далее, на микропроцессорное устройство (МПУ) 23.

Анализируемый воздух, пройдя через флуоресцентную камеру, пневматический дроссель 6, внешнюю камеру осушителя, стабилизатор давления газа 13, с помощью побудителя расхода через ресивер 12 и пневмовыход «Сброс» выбрасывается в атмосферу.

Стабилизированное питание источника излучения обеспечивается с помощью платы питания лампы 1, конструктивно расположенной в осветителе, стабилизированное питание ФЭУ — с помощью платы питания ФЭУ 25, конструктивно расположенной в блоке ФЭУ.

Датчик температуры 24 служит для контроля температуры ФЭУ и передачи информации о ней в МПУ.

Автоподстройка нуля и чувствительности осуществляется при прохождении через флуоресцентную камеру нулевого газа, получаемого путем очистки атмосферного воздуха от SO_2 с помощью объемного фильтра 10, заполненного специальным активированным углем.

На рис. 2 представлена блок-схема газоанализатора 645ХЛ 10, который работает в циклическом режиме измерения длительностью 40 с каждый.

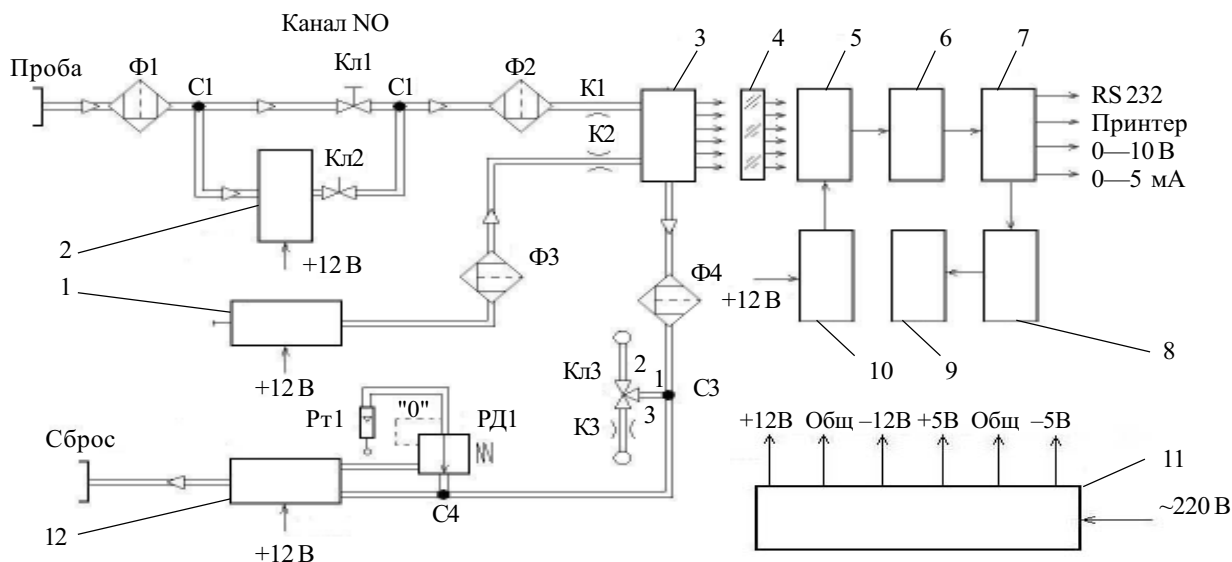


Рис. 2. Блок-схема газоанализатора 645ХЛ 10:

1 — генератор озона; 2 — конвертор каталитический; 3 — реакционная камера; 4 — оптический светофильтр; 5 — ФЭУ; 6 — формирователь сигнала; 7 — МПУ; 8 — клавиатура; 9 — алфавитно-цифровой индикатор; 10 — плата питания ФЭУ; 11 — блок питания; 12 — побудитель расхода; Ф1, Ф2, Ф3 — фильтры пылевые; Ф4 — фильтр объемный; С1, С2, С3, С4 — соединители; Кл1, Кл2, Кл3 — клапаны электромагнитные; К1, К2, К3 — капилляры ограничения потока; Рт1 — ротаметр; РД1 — регулятор давления газа

В первом цикле происходит измерение темнового тока ФЭУ. При этом клапаны Кл1 и Кл2 закрыты и побудитель расхода 12 прокачивает атмосферный воздух через открытый клапан Кл3 по линии 1—3 и капилляр К3, т. е. через реакционную камеру 3 атмосферный воздух не проходит.

Во втором цикле анализируемый воздух по газовому тракту Проба—Ф1—С1—Кл1—Ф2—К1 поступает в реакционную камеру 3. В это же время озон, образованный с помощью генератора 1, через газовый тракт Ф3—К2 также поступает в реакционную камеру, где происходит термокаталитическая реакция озона с оксидом азота. Возникшее при этом хемилюминесцентное испускание через оптический светофильтр 4 поступает на ФЭУ 5. Электрический сигнал, несущий информацию о суммарном значении концентрации NO и темнового тока, с ФЭУ поступает в электронный тракт 6—9.

Регистрация интенсивности хемилюминесцентного испускания осуществляется с помощью ФЭУ-84-3 в спектральном диапазоне 700—1000 нм.

Озоно-воздушная смесь поступает в реакционную камеру во всех циклах непрерывно.

В третьем цикле анализируемый воздух поступает по газовому тракту Проба—Ф1—С1—конвертор 2—Кл2—Ф2—К1 в реакционную камеру. В каталитическом конверторе происходит преобразование NO₂ в NO при температуре 200°С.

Электрический сигнал, несущий информацию о суммарном значении концентрации NO, NO₂ и темнового тока, с ФЭУ поступает в электронный тракт газоанализатора.

ФЭУ работает в режиме счета фотонов. Импульсы, снимаемые с нагрузочного резистора ФЭУ, формируются с длительностью 2 мкс и поступают в МПУ 7, где происходит обработка полученной информации.

Стабилизация потока и разрежения в реакционной камере обеспечивается регулятором давления РД1 и капиллярами ограничения потока К1 и К2, конструктивно расположенными в реакционной камере.

Фильтры Ф1, Ф2 и Ф3 предназначены для очистки анализируемого воздуха от аэрозольных частиц, а фильтр Ф4 — для очистки от примеси озона в воздухе после реакционной камеры.

Контроль расхода осуществляется ротаметром Рт1.

Капилляр К3 предназначен для выравнивания потока через реакционную камеру при закрытых клапанах Кл1 и Кл2.

В таблице приведены технические характеристики газоанализаторов (ГА).

Газоанализаторы выполнены на базе микропроцессорной техники, имеют аналоговые выходные сигналы 0—5 мА, 0—10 В, а также последовательный интерфейс RS-232 для связи с персональным компьютером (ПК).

Специализированное МПУ обеспечивает:

- реализацию заданной программы (алгоритма) обработки информационного сигнала;
- поддержание параметров метрологических характеристик в требуемых пределах;
- обработку измерительной информации в двух режимах — мгновенном и с усреднением;
- хранение в памяти информации о результатах измерения с усреднением за 20 мин в течение предыдущих 8 суток (72 значения в сутки);
- хранение в памяти информации о результатах измерения четыре раза в сутки за период предыдущих 128 суток;
- представление измерительной информации в единицах массовой концентрации (mg/m³) и в единицах объемной доли (ppm);
- непрерывное тестирование узлов и блоков газоанализатора, самоконтроль и выдачу сигнала о неисправности;
- автоматическую подстройку нуля и чувствительности;
- возможность передачи измерительной информации в ПК;
- возможность распечатки протокола измерений в трех форматах (текущие, суточные и месячные результаты измерений).

Ядром МПУ является однокристалльный микроконтроллер ATmega103. Программа работы ГА полностью размещена во внутреннем flash-ППЗУ, а стек и переменные состояния системы — во внутреннем ОЗУ микроконтроллера. При этом МПУ менее всего подвержен сбоям в результате воздействия электромагнитных полей и различного рода помех. Задействован встроенный в микроконтроллер сторожевой таймер (watch dog), что обеспечивает автоматический перезапуск системы после сбоя. Для обеспечения привязки результатов измерений к астрономическому времени в системе применена ИМС часов реального времени DS1307, электропитание которой резервировано литиевым элементом, обеспечивающим пятнадцатилетний срок хода часов при выключенном основном источнике электропитания.

Особый подход к разработке программного обеспечения, т. н. "программирование, управляемое событиями", сделал программу нечувствительной к перезапуску процессора в любой момент времени. Кроме этого, надежность и безотказность работы электронного модуля в целом достигается за счет применения элементов с низким энергопотреблением и, соответственно, малонагруженных. Импульсные преобразователи напряжения (источник питания ФЭУ, импульсного осветителя, электроразрядных генераторов газов) выполнены по обратнойходовой схеме с ключевым МОП-транзистором и ШИМ-стабилизацией, что позволило как обеспечить точность ста-

Тип ГА	Диапазон измерений, мг/м ³	Инструментальная погрешность измерения, %	Порог обнаружения, мг/м ³	Масса, кг	Габаритные размеры, мм
667ФФ 05 (SO ₂)	0—5,0	±3	0,003	10,0	200×400×330
645ХЛ 10 (NO, NO ₂)	0—10,0	±3	0,003	12,0	200×400×330

билизации, так и минимизировать потребляемую мощность и наводки на другие цепи ГА. Элементы силовой электроники имеют большой "запас прочности", например, нагрузку, потребляющую 7 А, коммутирует стоамперный МОП-транзистор. Минимизировано число разъемов и проводного монтажа в приборах.

Улучшение метрологических характеристик ГА достигнуто также за счет оптимизации конструкции электронных модулей. Первичные преобразователи сигналов максимально приближены к источникам этих сигналов. Например, усилитель-формирователь сигнала с ФЭУ расположен на плате делителя напряжения непосредственно на цоколе ФЭУ, в термостатах по возможности используются датчики температуры со встроенным АЦП (DS1621). Источники стабилизированных напряжений приближены, а где это возможно, конструктивно объединены с потребителями этих напряжений.

Максимально, насколько это возможно, использованы цифровые методы обработки сигнала. Там, где без аналоговых схем нельзя обойтись, применена

современная элементная база ведущих мировых производителей. Схемотехника проста, но тщательно проработана. Особо следует подчеркнуть применение АЦП интегрирующего типа (дельта-сигма) для преобразования медленно изменяющихся сигналов (температура), что позволяет достичь высокой точности даже в условиях сильных помех.

Конструктивно ГА выполнены в унифицированных металлических корпусах. Электропитание ГА осуществляется от компьютерного источника вторичного электропитания (АТ или АТХ, отличающихся высокой надежностью при длительной непрерывной работе, а также низкой стоимостью).

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. <http://www.ukranalyt.com.ua>.

2. Михеева И. Л., Стефаняк В. В., Маергойз М. Д. Построение математической модели и оценка погрешности флуоресцентного газоанализатора двуокиси серы в атмосферном воздухе / В кн.: Методы и средства обеспечения газоаналитических измерений. — Киев: УкрНИИАП, 1983. — С. 42—52.

ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ. СИМПОЗИУМЫ



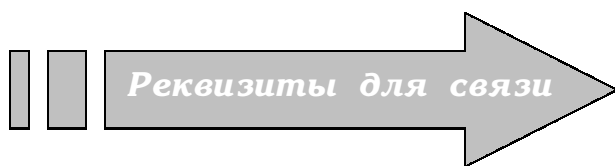
г. Ижевск
29—30 мая 2003 г.
**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
“ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИННОВАЦИОННЫХ
ПРОЕКТАХ”**

В целях обмена опытом и накопленной научной информацией между учеными вузов России, Германии, Словакии, Венгрии, Сирии, Египта Ижевский государственный технический университет Министерства образования Российской Федерации при содействии промышленных предприятий и Министерства промышленности и транспорта Удмуртской республики проводит научно-техническую конференцию с международным участием “ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТАХ”.

На конференции планируется рассмотреть доклады по следующим основным направлениям:

- информационные технологии жизненного цикла продукции;
- математическое, компьютерное моделирование технических и социально-экономических систем;
- инновационные технологии в машиностроении;
- инновационные технологии в рекламе и дизайне;
- инновационные технологии в радиоэлектронике и связи.

К началу работы НТК будет издан сборник материалов конференции.



Россия, Удмуртская республика
426069, Ижевск, Студенческая, 7, ИжГТУ,
отдел инновационного маркетинга
Тел./факс (3412) 58-03-99.
E-mail: market@istu.udm.ru