

О. Н. ГЕЙКО, И. Ш. АХМЕДЗЯНОВ, Ю. М. ЦВЕЛЫХ

Украина, г. Киев, УкрНИИ аналитического приборостроения  
E-mail: mil@ukranalyt.com.ua

Дата поступления в редакцию  
24.06 2003 г.

Оппоненты  
В. Ю. САВЕЛЬЕВ (НПП "Полет", г. Н.-Новгород),  
А. Н. ФОМИН ("Хартрон-ЮКОМ", г. Запорожье)

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ КОНТРОЛЬ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В АТМОСФЕРЕ

*Описаны комплекс 306АС-01 портативных средств измерения для передвижных лабораторий и комплекс ЭК-1 стационарных средств экологического контроля.*

Организация непрерывного контроля выбросов в атмосферу на предприятиях, помимо контрольной функции, нередко помогает оптимизировать технологические процессы, тем самым обеспечивая снижение уровня выбросов и экономию топлива.

В выбросах многих промышленных объектов содержание требующих контроля газов-загрязнителей меняется в очень широких пределах. На мусоросжигающих предприятиях это происходит из-за разнородности сжигаемых отходов, трудностей оптимизации процесса сжигания, на теплоэнергетических предприятиях — из-за использования разных видов топлива с разным качеством и составом. Чтобы в таких условиях обеспечить всеобъемлющий контроль, средства этого контроля должны иметь широкий диапазон измерения и при этом измерять с необходимой точностью. При контроле выбросов предприятий с большими объемными расходами важно даже малые концентрации измерять с хорошей точностью, иначе при расчетах мощности выбросов появляются большие ошибки.

При контроле состава выбросов необходимо измерять содержание трех—шести основных газов-загрязнителей одновременно. Поэтому, с точки зрения технико-экономической эффективности использования средств контроля, наиболее целесообразно применять многокомпонентные газоанализаторы.

Вместе с тем большинство выпускаемых и патентуемых в настоящее время газоанализаторов предназначено для измерения содержания одного—трех компонентов смеси. Методы измерения, на которых они основаны (электрохимический, оптико-акустический, хемиллюминесцентный, флуоресцентный, термокондуктометрический, термокаталитический, метод корреляционной ИК-спектрометрии), не позволяют создать газоанализатор, выполняющий непрерывный арбитражный контроль одновременно большого количества компонентов. Поэтому приходится создавать газоаналитические комплексы [1—9], включающие газоанализаторы с разными принципами действия, что увеличивает их стоимость и усложняет эксплуатацию.

По сравнению с перечисленными методами, инфракрасный спектроабсорбционный метод [10; 11, с. 629—675] позволяет создать средство измерения, в котором одним датчиком можно практически одновременно и непрерывно измерять содержание большого количества газовых компонентов.

В основе метода лежит закон оптического поглощения (абсорбции) Бугера—Ламберта—Бера, который для газовой однородной среды имеет вид [12, с. 301]

$$I(\nu) = I_0(\nu) \exp(-k(\nu)CL), \quad (1)$$

где  $I_0(\nu)$ ,  $I(\nu)$  — интенсивность излучения частоты  $\nu$  соответственно до и после прохождения среды толщиной  $L$  с концентрацией поглощающего компонента  $C$ ;

$k(\nu)$  — коэффициент поглощения для излучения частоты  $\nu$ , не зависящий от  $C$ ,  $L$ ,  $I_0$  и характерный для данного поглотителя.

Выполнив логарифмирование, получаем выражение

$$C = \ln [I_0(\nu)/I(\nu)] / k(\nu)L. \quad (2)$$

Измерение концентрации сводится к измерению величины  $\ln [I_0(\nu)/I(\nu)]$ .

Как известно, большинство газов имеет в инфракрасной области спектра набор полос поглощения, отличающихся спектральным положением и интенсивностью их максимумов. Наличие такой структуры дает возможность для каждого анализируемого компонента выбрать оптимальную по положению и интенсивности полосу поглощения с учетом наличия в смеси других компонентов и выделить нужный спектральный интервал с достаточной величиной пропускания с помощью селективных фильтров.

На основе этого метода в АО «Украналит» разработаны два аналитических спектральных комплекса — комплекс ЭК-1 стационарных средств экологического контроля и комплекс 306АС-01 портативных средств измерения для передвижных лабораторий. В газоанализаторах обоих комплексов используется многокомпонентный спектральный датчик с высокой чувствительностью — за счет использования оригинальных многоходовых оптических кювет [12, 13] с длиной оптического пути до 8 м. (Выбор оптимальной длины кюветы подробно рассмотрен в работе [14].)

Избирательность при одновременном измерении нескольких компонентов обеспечивается применением удачно выбранных узкополосных интерференционных фильтров, специально разработанных и изготовленных в НПП «Оптика» [15].

**К**омплекс экологического контроля ЭК-1 (рис. 1) предназначен для экологического мониторинга выбросов промышленных объектов в атмосферу и включает в себя от одного до четырех

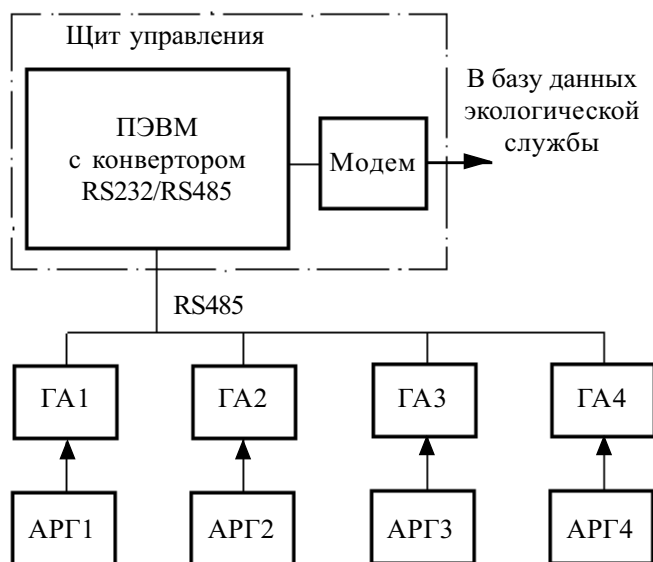


Рис. 1. Структурная схема комплекса экологического контроля ЭК-1

оптических многокомпонентных газоанализаторов “Спектр-4” (ГА) и персональную ЭВМ.

Процесс измерения полностью автоматизирован. ПЭВМ, установленная в помещении щита управления объекта, дистанционно управляет всеми газоанализаторами, выполняет обработку результатов измерения, организует индикацию на экране и архивирование данных. Связь с ЭВМ осуществляется по двухпроводному кабелю через интерфейс RS485 на расстоянии до 1200 м без повторителей и на неограниченном расстоянии с использованием повторителей.

Комплекс ЭК-1 может выполнять непрерывное измерение содержания CO, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> одновременно в четырех точках контроля. Такое количество каналов обеспечивает полноценный мониторинг практически всех промышленных объектов, включая теплоэлектростанции, мусоросжигающие предприятия, предприятия металлургических комплексов.

В технических решениях комплекса предусмотрена возможность расширять при необходимости его функции. Сюда входит:

- непрерывное измерение давления и температуры газов;
- измерение скорости потока в газоходе;
- вычисление объемного расхода потока;
- вычисление мощности газовых выбросов.

Для измерения объемного расхода газового потока с целью полномасштабной оценки мощности выбросов комплекс можно сопрягать с акустическим (ультразвуковым) расходомером АРГ-31 (АРГ) разработки НПО «ДАРС» (г. Днепропетровск). Он измеряет скорость потоков с погрешностью не более 2% в газоходах диаметром до 10 м, имеет аналоговый и цифровой выходы сигнала.

Метрологические характеристики комплекса контроля ЭК-1 приведены в таблице.

Комплекс ЭК-1 с газоанализаторами “Спектр-4” прошел длительные испытания и эксплуатируется на мусоросжигающем заводе “Энергия” в г. Киеве.

Измеряемый параметр	Диапазон измерения	Основная погрешность
Концентрация CO, г/м <sup>3</sup>	от 0—1 до 0—15	**
Концентрация NO, г/м <sup>3</sup>	от 0—1 до 0—6	**
Концентрация NO <sub>2</sub> , г/м <sup>3</sup>	от 0—0,2 до 0—0,6	**
Концентрация SO <sub>2</sub> , г/м <sup>3</sup>	от 0—0,5 до 0—15	**
Концентрация CH <sub>4</sub> , г/м <sup>3</sup>	от 0—1 до 0—5	**
Концентрация CO <sub>2</sub> , % об.	0—20	±(0,10+0,05 C <sub>n</sub> )
Температура газа, °C	от -30 до +33 от +33 до +800	± 1°C ± 2,0%
Давление/разрежение газа, кПа	от 0 до ±10	± 0,25 кПа
Скорость газопылевого потока, м/с	от 3 до 30	Вычисляется

\*\* — при измерении в поддиапазоне 0—20% от полного диапазона измерений погрешность ±10% верх него значения поддиапазона;

—при измерении в области 21—100% от полного диапазона погрешность ±10% от измеренного значения конце нтрации C<sub>n</sub>.

## На рис. 2 представлена блок-схема газоанализатора «Спектр-4».

После прогрева автоматически выполняется цикл установки нулевых показаний. По команде ЭВМ через схемы управления 25, 26 включаются насос 8 и клапан Кл1 и в многоходовую кювету 19 поступает атмосферный воздух через фильтр 7, осушитель-охладитель 9, клапан Кл2. После продувки выполняются несколько циклов измерения сигналов с приемника излучения 21, усреднение этих данных и занесение в память компьютера. Эти «нулевые» сигналы используются в дальнейшем при вычислении концентрации анализируемых компонентов до следующего цикла установки «нуля». Периодичность этой процедуры — 8 часов. При изменении температуры кюветы на 5°C и давления в ней на 1 кПа автоматически выполняется внеочередная установка «нуля».

После установки нулевых показаний клапан Кл1 переключается и в кювету 19 поступает проба по тракту “зонд—линия транспортирования—модуль осушки—насос 8—осушитель-охладитель 9—Кл2”. Клапан Кл2 служит для автоматической очистки газового тракта прибора выключением. Сначала включается клапан Кл1 и атмосферным воздухом продувается кювета 19, затем дополнительно включается клапан Кл2 и продуваются в обратном направлении модуль осушки, линия транспортирования, зонд.

Расход пробы контролируется датчиком расхода 13 на основе датчика MPX5010DP, измеряющего перепад давления на дросселе.

Излучение от излучателя 16 модулируется механическим модулятором 17, проходит через один из интерференционных фильтров в термостате 18, отражается многократно в сферических зеркалах кюветы 19 и попадает на приемник излучения 21. Используется интегрально чувствующий (от 2 до 20 мкм) пироэлектрический приемник МГ-30. Фотоэлектрические импульсные сигналы после линейного усилителя 22 поступают на синхронный детектор 23 с RC-фильтром, где преобразуются в сигналы постоянного тока и поступают на вход АЦП контроллера 24. В приборе используется контроллер 485SSDA12 фирмы V&B Electronics, поставляемый с уже записанной в него программой, выполняющей функции опроса цифровых сигналов, опроса канала АЦП, вывода управляющих сигналов по команде, принятой от ПЭВМ.

Инфракрасный излучатель с температурой T≈900 К помещен в термоизолирующий корпус с окошком из слюды. (Конструкция обеспечивает нужный нагрев малым током, быстрый выход в рабочий режим и нечувствительность к сквозняковым эффектам.) При такой температуре процесс окисления идет очень

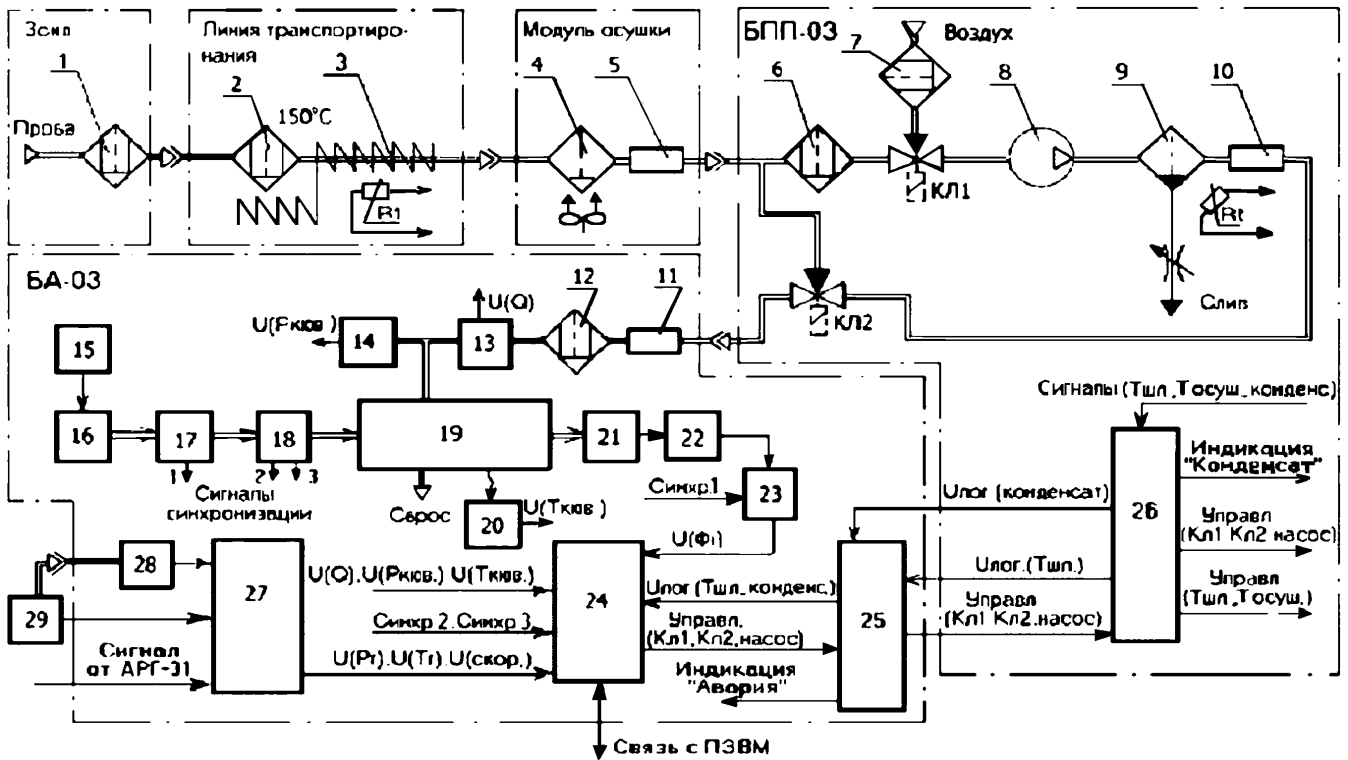


Рис. 2. Блок-схема газоанализатора «Спектр-4»

медленно и, в то же время, обеспечивается достаточная энергия лучистого потока в используемой спектральной области. Чтобы устранить влияние окисления излучателя на его спектральную характеристику, используется схема стабилизации тока 15 в цепи его питания.

Интерференционные фильтры закреплены в отверстиях диска, вращаемого электроприводом, и проходят поочередно через световой поток от излучателя. Полный оборот диск совершает за 30 с, что соответствует одному циклу измерения. Диск с фильтрами находится в термостате. Стабилизация температуры фильтров устраняет эффект смещения полосы пропускания при изменении его температуры.

Как показал опыт, этих мер оказалось достаточно, чтобы обеспечить высокую стабильность градуировочной характеристики в течение всего межповорочного интервала, что имеет первостепенное значение для арбитражных измерений.

Для повышения точности измерений применяется синхронное детектирование фотоэлектрических сигналов. Такой способ детектирования дает возможность сильно сузить полосу пропускания даже при значительной нестабильности несущей частоты и обеспечивает уверенную регистрацию слабых информационных сигналов на фоне шумов.

С целью защиты от электромагнитных помех приемник излучения и предварительный усилитель размещены на общей плате в экранирующем кожухе. Для электропитания ГА используется компьютерный источник вторичного питания, отличающийся хорошей стабилизацией, высокой надежностью, низкой стоимостью. Управление клапанами, насосом, нагревом термошланга осуществляется через устройства гальванической развязки.

Поскольку в датчике реализована однолучевая оптическая схема, в цикл измерения, кроме измерения  $n$ -го количества анализируемых компонентов с помощью  $n$  фильтров, вводится измерение на  $(n+1)$ -й длине волны с помощью  $(n+1)$ -го фильтра. Этот спектральный интервал свободен от поглощения компонентов пробы. Выходной сигнал по этому каналу используется в качестве реперного для контроля фонового поглощения и обеспечивает непрерывную корректировку показаний по  $n$  измерительным каналам в соответствии с изменением  $(n+1)$ -го реперного выходного сигнала. Такое решение позволяет компенсировать некоторые нестабильности, возникающие в схеме обработки сигнала, схемах питания, и, таким образом, повысить точность измерений.

Если в составе пробы конкретного объекта присутствуют компоненты, оптическое поглощение которых оказывает влияние на измерение какого-либо из  $n$  анализируемых компонентов, в цикл измерения дополнительно вводится измерение еще на одной или двух длинах волн с помощью интерференционных фильтров, выделяющих спектральный интервал, совпадающий с полосой поглощения, характерной только для этих мешающих компонентов. Выходные сигналы по этим каналам используются для вычисления поправок показаний в каждом цикле измерений.

Поступление сигнала на вход АЦП сопровождается синхронными импульсами, разрешающими программе запускать АЦП для считывания. Выборка данных для усреднения этого сигнала осуществляется в интервале времени  $\Delta t$ , когда через поток излучения проходит центральная зона фильтра. Синхроимпульсы служат также для распознавания фильтров.

Программа обработки измерительной информации для каждого из них производит вычисления информативного параметра  $D_i$  по формуле

$$D_i = \ln(U_i^0/U_i), \quad (3)$$

где  $U_i^0$  — значение сигнала с  $i$ -м фильтром при наполнении кюветы чистым воздухом (получен при установке «нуля»);  
 $U_i$  — значение сигнала с  $i$ -м фильтром при наполнении кюветы пробой.

Эта величина затем используется для вычисления концентрации по формуле

$$C_i = a_i D_i + b_i D_i^2 + c_i D_i^3, \quad (4)$$

где  $C_i$  — концентрация  $i$ -го компонента;  
 $a_p, b_p, c_i$  — параметры модели для  $i$ -го компонента.

В качестве параметров моделей использованы параметры полиномиальной регрессии, вычисленные по результатам градуировки. Такая модель позволяет минимизировать систематическую составляющую инструментальной погрешности прибора в широком диапазоне измеряемых концентраций.

Градуировка выполняется с помощью версии этой же программы, только в файл она записывает значения  $D_i$ . Параметры для поправок к модели для  $i$ -го измеряемого компонента по  $n$ -му мешающему компоненту получают, измеряя  $D_i$  и  $D_n$  при подаче в кювету  $n$ -го компонента различной концентрации. Чтобы минимизировать основную погрешность во всем широком диапазоне измерения, градуировка прибора выполняется по большому количеству точек концентрации с помощью генераторов поверочных газовых смесей (ПГС) 645ГР-03М и 667ГР-03М, разработанных и изготовленных в АО «Укрналит». Диапазон коэффициентов разбавления в этих генераторах от 5 до 3500 раз с относительной погрешностью разбавления не более  $\pm 2\%$ .

Как известно, при измерениях с помощью метода прямого оптического поглощения необходимо учитывать влияние температуры и давления анализируемого газа на его коэффициент поглощения [10, 16]. Способы устранения этого влияния путем термостатирования аналитической кюветы и стабилизации давления в ней громоздки и трудоемки. Авторами реализован другой способ устранения этих влияний. Прибор снабжен датчиком температуры (LM34DZ) 20 и датчиком абсолютного давления (MPX5100AP) 14 для контроля этих параметров в кювете. Сигналы датчиков поступают в компьютер, который вычисляет поправки к показаниям, используя поправочные коэффициенты, полученные по результатам предварительных спектральных исследований. Поскольку анализируемая проба выходит из кюветы непосредственно в атмосферу, давление в кювете не зависит от расхода пробы, всегда равно атмосферному давлению и изменяется очень медленно.

Для измерения температуры и давления в точке контроля служит зонд термоманометрический 29. Зонд оснащен термопарой NiCr—NiAl в герметичном чехле из нержавеющей стали и соединен эластичной трубкой с датчиком давления 28. Плата датчиков 27 служит для формирования на входе АЦП контроллера стандартных аналоговых сигналов

Для автоматизированных комплексов, работающих в круглосуточном режиме, кроме обеспечения необходимой точности измерений, не менее важно обеспечить метрологическую надежность приборов — устранение вероятности возникновения «скрытого» метрологического отказа. (Под этим подразумевается нарушение достоверности измерений по причине выхода за допустимые пределы каких-либо параметров или из-за нарушения представительности пробы при ее подготовке к анализу.)

В аналитических комплексах, представленных в этой работе, организован непрерывный контроль параметров, влияющих на достоверность измерений. Это:

- контроль правильности обмена данными между компьютером и аналитической частью комплекса;
- контроль расхода пробы с выводом сообщения о выходе за пределы нормы;
- контроль температуры кюветы, давления в ней с выводом сообщений о выходе за пределы рабочей области эксплуатации;
- контроль температуры термошланга;
- контроль работоспособности осушителей с автоматической блокировкой работы насоса при появлении конденсата в трубках газового тракта. (Для этой цели служат датчики конденсата 5, 10, 11. При замыкании их контактов каплями конденсата схема управления отключает насос и генерирует сигнал в ЭВМ для вывода на экран сообщения об отказе.)

Чтобы обеспечить достоверные измерения таких легко растворимых газов как  $\text{NO}_2$  и  $\text{SO}_2$ , система транспортирования и подготовки пробы спроектирована так, чтобы не вызывать изменений концентрации измеряемых компонентов. В газоанализаторе «Спектр-4» проба от зонда с фильтром грубой очистки 1 транспортируется к модулю осушки по гибкому обогреваемому газопроводу 3 из фторопласта с обогреваемым фильтром 2. Модуль осушки, благодаря оригинальной конструкции осушителя 4 (использование ионообменных капилляров), обеспечивает избирательное и очень быстрое удаление большей части влаги. Влагосодержание пробы снижается до уровня, соответствующего точке росы окружающего воздуха. Осушитель-охладитель второй ступени обеспечивает на выходе постоянный уровень влагосодержания, достаточно низкий, чтобы избежать конденсации влаги в аналитической кювете. Так как градуировка прибора и измерения выполняются при одном и том же влагосодержании пробы, остаточная влага не нарушает достоверности измерений.

Промышленные выбросы состоят из различных парообразных, газовых, аэрозольных компонентов, часть из которых обладает химически агрессивными свойствами. Так, в выбросах мусоросжигающих предприятий присутствуют такие очень агрессивные составляющие как пары HCl, HF. Правильный выбор материалов для элементов отбора и подготовки пробы, способов защиты аналитической части прибора обеспечивает долговечность и снижает трудоемкость при обслуживании. В газоанализаторе «Спектр-4» элементы отбора и подготовки пробы, которые требуют при обслуживании механической чистки, выполнены из коррозионностойких материалов — фторопласта-4, полиамида, оргстекла, сплава 12X18H10T. На поверхности остальных узлов, контактирующих с агрессивной пробой, нанесено многослойное покрытие из фторопластового лака по особой технологии. Все соединения газового тракта выполнены фторопластовой трубкой.

Программное обеспечение (ПО) комплекса ЭК-1 разработано в системе Borland C++ с использованием OWL и Windows API и ориентировано на работу под управлением Windows 98. Управляющая программа ПО реализована в виде пользовательского типа (класса) TGA Syst.

ЭВМ осуществляет дистанционное управление одновременно четырьмя газоанализаторами, производит обработку данных измерения, вывод показаний на монитор в цифровом выражении

и в форме графика одновременно для всех подключенных газоанализаторов. Программа выполняет архивирование результатов измерений в обоих формах представления, формируя суточные файлы данных раздельно для каждого газоанализатора, создает месячные папки данных, выполняет их усреднение по месяцам. Программа позволяет осуществлять ретроспективный просмотр всех файлов на экране, копирование на дискеты, распечатку на принтере параллельно с процессом измерения. Кроме этого, выполняется архивирование всех сообщений об отказах, отклонений контролируемых параметров от нормы, значений информативных сигналов при каждой установке "нуля" с регистрацией времени события. Это дает возможность проанализировать полученные результаты и сделать выводы об их достоверности. При подключении модема результаты измерений в соответствии с согласованным протоколом данных могут передаваться в базу данных экологической службы.

**А**налитический спектральный комплекс 306АС-01 предназначен для инспекционного контроля мощности выбросов промышленных предприятий, а также для оптимизации процессов горения. Выполнен в виде двух чемоданчиков типа "кейс" с дополнительными принадлежностями — набор пробоотборных зондов разной длины, совмещенных с датчиком температуры (термопара NiCr—NiAl), гибкий обогреваемый газопровод с обогреваемым фильтром, набор пневмометрических трубок для измерения скорости потока.

Комплекс 306АС-01 выполняет следующие функции:

- непрерывное измерение содержания CO, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>;
- измерение давления и температуры в точке отбора пробы;
- измерение скорости газопылевых потоков;
- вычисление объемного расхода потока;
- вычисление мощности газовых выбросов.

Его метрологические характеристики аналогичны характеристикам комплекса ЭК-1.

Измерение всех параметров газовых выбросов производится в полуавтоматическом режиме с помощью портативного компьютера типа "Note book".

Управляющая программа организована таким образом, чтобы оператор последовательно выполнял необходимые действия, следуя указаниям на экране компьютера. Компьютер, используя результаты измерений, оперативно вычисляет необходимые параметры данного объекта и формирует файл в виде квитанции, где фигурируют все данные, регламентированные экологической службой.

Комплекс в составе передвижной лаборатории инспекционного контроля, разработанной в АО «Укр-аналит» на базе автомобиля «Газель», успешно прошел длительные эксплуатационные испытания на промышленных объектах Донецкой области в жестких условиях эксплуатации.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Газоанализатор GN30-SP для определения концентраций NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO: Проспект/SICK.— 2000.— Германия.
2. Стационарная система анализа дымных газов IMR 8000: Проспект/IMR.— 1999.— Германия.
3. Система контроля содержания SO<sub>2</sub> и NO в выбросах промпредприятий SE 102: Проспект/МПП "Смог".— 1998.— Ужгород.
4. Универсальный газовый монитор 1302: Проспект/Московск. центр ф. «Брюль и Кьер».— 2001.— Дания.
5. Автоматическая система контроля атмосферного воздуха и выбросов: Проспект/PPM Systems Oy.— 2000.— Финляндия.
6. Model DI2000, In-Situ Stack Multigas Analyser System: Проспект/Thermo Environmental Instruments Inc.— 1999.— США.
7. Continuous Emissions Monitoring Systems: EX 4700 A (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O), SM 8100 A (SO<sub>2</sub>, NO): Проспект/Lear Siegler Measurement Controls Corporation.— 1998.— США.
8. Хемиллюминесцентный анализатор NO/NO<sub>x</sub> Model RS-325 L: Проспект/Рикен Кейки.— 1997.— Япония.
9. Ваня Я. Анализаторы газов и жидкостей.— М.: Энергия. 1970.
10. Бреслер П. И. Оптические абсорбционные газоанализаторы и их применение.— Л.: Энергия, 1980.
11. Шишловский А. А. Прикладная физическая оптика.— М.: Физматгиз, 1961.
12. Перегуд Е. А., Горелик Д. О. Инструментальные методы контроля загрязнения атмосферы.— Л.: Химия, 1981.
13. А. с. 871125 СССР. Многоходовая оптическая кювета / Е. Г. Тохтуев, О. Н. Гейко, В. П. Пашинский.— 1981.
14. А. с. 807075 СССР. Многоходовая оптическая кювета / Е. Г. Тохтуев, О. Н. Гейко, В. П. Пашинский и др.— 1981.
15. Тохтуев Е. Г., Пашинский В. П. Выбор оптимальной длины кюветы для фотоабсорбционного газоанализатора / В кн.: Метрологическое обеспечение аналитических приборов и систем.— Киев: ВНИИАП, 1979.— С. 79—83.
16. Орлов М. А., Горлушко В. М. Метод оценки эффективности использования узкополосных интерференционных фильтров для оптических абсорбционных газоанализаторов / В кн.: Основные направления повышения технического уровня газоаналитических приборов.— Киев: ВНИИАП, 1988.— С. 104—111.
17. Дашковский А. А., Забава В. П., Федянин А. С. Зависимость оптической прозрачности газа от параметров анализируемой газовой смеси / Тез. докл. НТК "Состояние и перспективы развития систем и приборов анализа состава веществ".— Ужгород.— 1978.— С. 179.



## ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПОДПИСЧИКОВ "ТКЭА" ВЫ МОЖЕТЕ ЗАКАЗАТЬ

по электронной почте <tkea@odessa.net> pdf-файлы любых статей, опубликованных в журнале за период с 1998 по 2003 год.

С содержанием номеров можно ознакомиться на сайте

<http://tkea.wallst.ru>

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПОДПИСЧИКОВ "ТКЭА"

