



УДК 543.271

В.Ф. ПРИМИСКИЙ, к.т.н., заведующий отделом,

Е.А. ФЕДЧЕНКО, младший научный сотрудник, **М.Г. ШАТАЛОВ**, старший научный сотрудник

ЗАО Всеукраинский институт аналитического приборостроения («Украналит»), г. Киев

Р.Н. СУРИН, заместитель председателя правления по экологии

ОАО Ясиновский коксохимический завод, г. Макеевка Донецкой области

СИСТЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Представлена функциональная схема разработанного компьютеризированного газоаналитического измерительного комплекса для автоматического измерения выбросов коксовых батарей. Обоснован выбор технических, метрологических характеристик комплекса, проанализирована работа программного обеспечения.

газоаналитический комплекс, зонд, пробоподготовка, интерфейс, шкаф приборный, мониторинг

Производство кокса на коксохимических заводах Украины приводит к значительным выбросам и загрязнению атмосферы токсичными газами: оксидом углерода, оксидами азота, диоксидом серы, парниковыми газами: диоксидом углерода, метаном, взрывоопасным водородом.

Соблюдение отечественных и международных экологических нормативов к выбросам промышленных предприятий требует перехода от расчетных методик (по тепловому балансу) определения значений выбросов дымовых газов к инструментальным – приборным измерительным системам и комплексам [1].

Впервые в Украине ЗАО «Украналит» разработал и ввел в эксплуатацию систему экологического мониторинга для коксохимического производства. Коксовая батарея оборудована газоаналитической измерительной системой (ГИС) [2]. Система контролирует все источники вредных выбросов, выделяемых батареями. Анализ дан-

ных по каждой точке замеров обрабатывается с помощью современных компьютерных технологий и предоставляется диспетчеру цеха.

Система ГИС (рис. 1) предназначена для измерения концентрации оксида углерода – CO, диоксида углерода – CO₂, окиси и диоксида азота – NO, NO₂, NO_x, диоксида серы – SO₂, кислорода – O₂ в отходящих газах коксовой батареи № 1 Ясиновского коксохимического завода в газоходе борова перед шибером.

Диапазоны измерения концентраций дымовых газов и пределы допускаемой основной приведенной погрешности многокомпонентной системы ГИС соответствуют значениям, приведенным в табл. 1.

Система ГИС состоит из следующих основных функциональных блоков и узлов: зонда пробоотборного (ЗП), линии транспортирования газа (ЛТГ), влагоотделителя (ВД), шкафа приборного с установленными в нем систе-

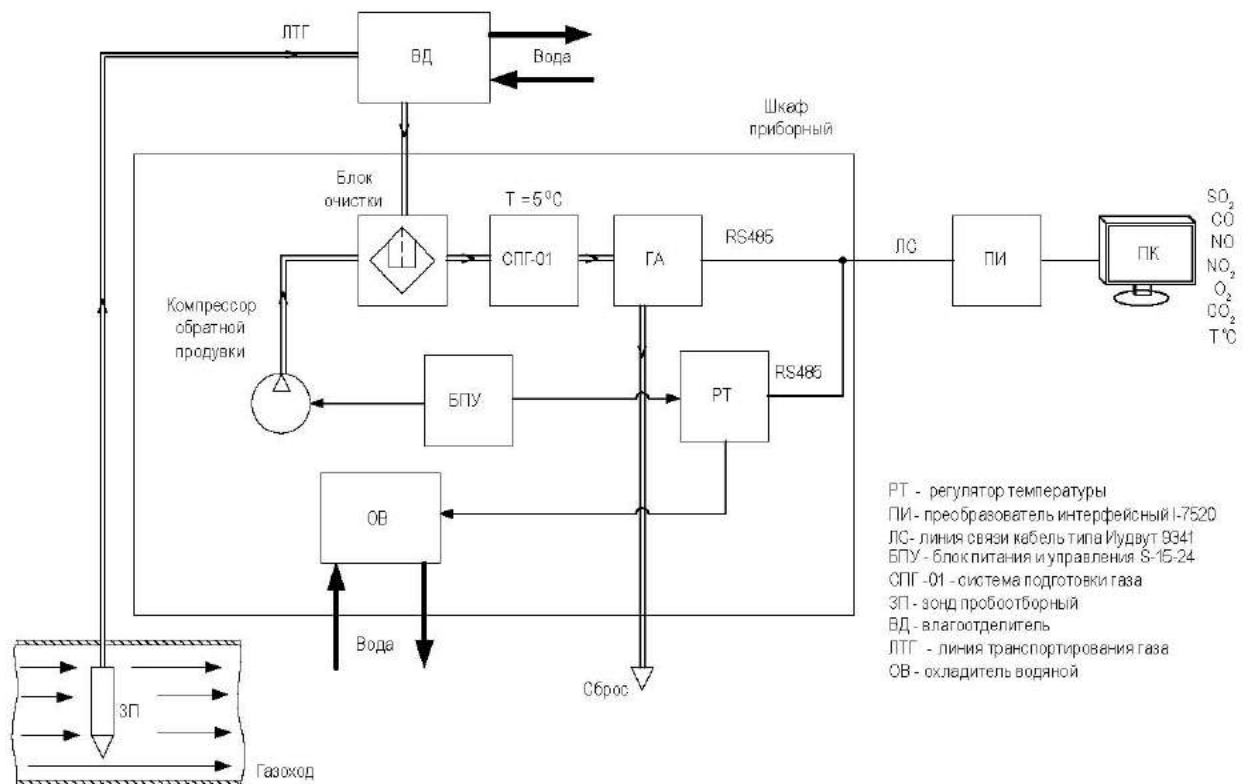


Рис. 1 – Система ГИС

Таблица 1 – Диапазоны измерения концентраций дымовых газов

Измеряемый компонент	Диапазон измерений	Основная приведенная погрешность, %
Оксид углерода (CO)	0 – 5000 мг/м ³	± 10,0
Оксид азота (NO)	0 – 5000 мг/м ³	± 10,0
Диоксид серы (SO ₂)	0 – 5000 мг/м ³	± 10,0
Диоксид азота (NO ₂)	0 – 1500 мг/м ³	± 10,0
Диоксид углерода (CO ₂)	0 – 16 % об.	± 5,0
Кислород (O ₂)	0 – 20 % об.	± 5,0

мой подготовки пробы и линией (кабелем) связи, преобразователя интерфейса (ПИ), персональной ЭВМ (ПК).

ЗОНД ПРОБООТБОРНЫЙ (ЗП)

Зонд пробоотборный предназначен для отбора пробы анализируемого газа из газохода коксовой батареи и состоит из фланца и трубки-зонда из нержавеющей стали 24×2 мм длиной 2,4–3,0 м. Зонд через фланец, установленный в технологическом колодце на полу в коксовой батарее, вводится в газоход, через который сбрасываются дымовые газы из батареи. Длина зонда выбрана таким образом, чтобы наконечник зонда находился на середине газохода. На конце трубки зонда имеется скос под углом 45° в сторону направления потока газа в газоходе. Фланец крепится к люку газохода болтами М8 через паронитовую прокладку. Второй фланец идентичен первому.

ЛИНИЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ АНАЛИЗИРУЕМОГО ГАЗА (ЛТГ)

Линия транспортирования анализируемого газа состоит из двух частей. Первая часть – линия от фланца ЗП до влагоотделителя (ВД). Она представляет собой термоизолированную металлическую трубку 10×1 мм. Вторая часть – линия от влагоотделителя (ВД) до шкафа приборного, выполненная из рилсановой (полиамидной) трубки 10×1 мм, заключенной в гибкий защитный гофрированный кожух.

ВЛАГООТДЕЛИТЕЛЬ (ВД)

Влагоотделитель предназначен для предварительной осушки анализируемого газа. После ЗП проба анализируемого газа поступает по термоизолированной металлической трубке на ВД, где происходит предварительная осуш-



ка газа (первая ступень) до точки росы, соответствующей температуре 20–25 °С. Снижение температуры газа осуществляется в водяном холодильнике. Конденсат непрерывно направляется по металлической трубке через люк в газоход. Для нормальной работы влагоотделителя (ВД) необходим подвод проточной водопроводной воды.

ШКАФ ПРИБОРНЫЙ

В шкафу приборном установлены: многокомпонентный инфракрасный газоанализатор 325ФА20, система подготовки газов (СПГ-01), пылевые фильтры для очистки газовой пробы (установленные в блоке очистки) [3].

Анализируемый газ компрессором, установленным в системе СПГ-01, засасывает из газохода отходящие газы для анализа через ЗП, ЛТГ, ВД в шкаф приборный (ШП). В блоке очистки стекловолоконными и металлокерамическими фильтрами происходит предварительная очистка анализируемого газа от пыли, а в СПГ-01 происходит окончательная очистка от пыли и влаги. Влага удаляется методом вымораживания (вторая ступень) с помощью термоэлектрического холодильника, входящего в состав СПГ-01. Содержание влаги на выходе СПГ-01 соответствует содержанию влаги, соответствующей точке росы при температуре 5 °С. Очищенный от пыли и влаги анализируемый газ поступает на многокомпонентный инфракрасный автоматический газоанализатор 325ФА20 (ГА) для измерения и с его выхода попадает на выходной штуцер сброса для вывода за пределы рабочего помещения. Газоанализатор 325ФА20 производит измерения концентраций CO, CO₂, O₂, NO, NO₂, и SO₂. Измеренные значения концентраций CO, NO, NO₂, и SO₂ отображаются на цифровом индикаторном табло газоанализатора.

В ШП также установлен пневматический клапан для переключения газовых трактов в период калибровки нуля газоанализатора и обратной продувки для автоматической очистки пылевых фильтров в блоке очистки с помощью компрессора обратной продувки.

Для поддержания рабочих условий эксплуатации стальной корпус газоанализатора, расположенного внутри шкафа приборного (1500x800x600 мм), выполнен герметичным, и в нем поддерживается температура не выше 30 °С. Для этого в шкафу установлены водяной охладитель (ОВ), регулятор температуры (РТ), блок питания и управления (БПУ).

ГАЗОАНАЛИЗАТОР 325ФА20

Основным функциональным узлом ГИС является многоканальный инфракрасный газоанализатор 325ФА20, установленный в приборном шкафу. В основу

работы газоанализатора положен недисперсный инфракрасный метод газового анализа [4]. Метод основан на измерении величины ослабления интенсивности электромагнитного излучения при прохождении излучения через анализируемую газовую смесь. Для абсорбционного метода используется весь спектр электромагнитных колебаний. Например, пары ртути, хлора и фтора поглощают определенные длины волн в ультрафиолетовом спектре, а метан, оксиды углерода и азота (CH₄, CO, CO₂, NO) – в инфракрасном спектре излучения (метод инфракрасной спектроскопии). Основным диапазоном анализа является инфракрасная область спектра с длиной волны до 15 мкм. Для выделения узких участков спектра, характерных для CO, CO₂, CH₄, используют интерференционные оптические фильтры с минимальным коэффициентом поглощения. Количественное соотношение между концентрацией анализируемого газа и ослаблением интенсивности излучения описывается законом Ламберта-Бугера-Бэра. Закон устанавливает, что слои газа одинаковой толщины при прочих равных условиях всегда поглощают одинаковую часть электромагнитного излучения, которая падает на него, т.е. подчиняются формуле:

$$\Phi = \Phi_0 e^{-K_1 v} \quad (1)$$

где Φ – интенсивность монохроматического излучения после прохождения через слой газа;

Φ_0 – первичная интенсивность монохроматического излучения; K_1 – коэффициент поглощения; v – толщина слоя газа; e – натуральный показатель.

В системе десятичных логарифмов уравнение (1) приобретает вид:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot 10^{-K_1 v} \quad (2)$$

Если излучение прошло слой газа и при этом ослабилось в десять раз, т.е.

$\Phi: \Phi_0 = 1:10$, то из этого условия вычисляется $K_1, \text{см}^{-1}$:

$$K_1 = v^{-1} \quad (3)$$

Коэффициент K_1 , численно равен обратному значению толщины слоя газа, что ослабляет излучение в десять раз, зависит только от природы газа и длины волны излучения. Установлено, что коэффициент поглощения K_1 пропорционален концентрации газа:

$$K_1 = \epsilon_\lambda \cdot C, \quad (4)$$

где ϵ_λ – коэффициент, который зависит от длины волны излучения, C – концентрация измеряемого газа.

Объединив выражения (1) и (4), получим:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot e^{-\epsilon_\lambda \cdot C \cdot v} \quad (5)$$

Прозрачностью (проницаемостью) есть величина, равная:

$$T = \frac{\Phi}{\Phi_0} = 10^{-\epsilon_\lambda \cdot C \cdot v} \quad (6)$$

Прозрачность, отнесенная к 1 см толщины слоя v , называется коэффициентом проницаемости. Оптическая плотность (поглощение) выражается формулой:

$$D = \lg T^{-1} = \lg \frac{\Phi_0}{\Phi} = \epsilon_\lambda \cdot C \cdot v. \quad (7)$$

Из выражения (7) видно, что величины D и C связаны между собой линейной зависимостью. На практике это справедливо не для всех уровней концентраций исследуемого газа, а обычно только в пределах от нуля до некоторой определенной концентрации, характерной для каждого газа. Аналитическую связь между изменением интенсивности инфракрасного излучения и концентрацией газов находят экспериментально через снятие градуировочных характеристик. Оптическая плотность газа зависит от внешних условий – температуры и давления. Чтобы учесть эту зависимость, в рабочей кювете газоанализатора устанавливаются датчики температуры и давления, сигналы с которых затем используются для корректировки показаний.

На рис. 2 показана функциональная схема газоанализатора 325ФА20.

В газоанализаторе имеются две оптические кюветы, различающиеся длиной: 140 мм и 280 мм для измерения NO , SO_2 и CO , CO_2 соответственно. Через кюветы прокачивается анализируемый дымовой газ. Инфракрасное излучение от источника излучения (ИК) периодически прерывается модулятором-обтюратором (М), и пройдя через кювету (К1 и К2), поступает на приемники ИК-излучения – пироприемники (ПД1 и ПД2). Перед каждым ПД1 и ПД2 установлен интерференционный фильтр, полоса пропускания которого выбрана в соответствии с полосой поглощения измеряемого газа. Соответственно электрические сигналы с пироприемников ПД1 пропорциональны концентрации SO_2 и NO , а с пироприемников ПД2 – концентрации CO и CO_2 .

В качестве сигнала сравнения (опорного сигнала) используется сигнал от отдельного пироприемника (так называемый нулевой пироприемник не показан на рис. 2), на который поступает излучение, прошедшее через нулевой интерференционный фильтр, полоса пропускания которого находится за пределами спектра поглощения измеряемых компонентов.

Сигналы с пироприемников ПД1 и ПД2 усиливаются и нормируются нормирующими усилителями (НУ). Далее измерительный сигнал о концентрациях исследуемых газов подается на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), где преобразуется в цифровой код. Код передается в микропроцессор, где информация о концентрации исследуемых газов обрабатывается и передается на цифровое индикаторное табло. На выходном газовом канале газоанализатора последовательно установлены электрохимические ячейки, которые измеряют концентрации O_2 и NO_2 .

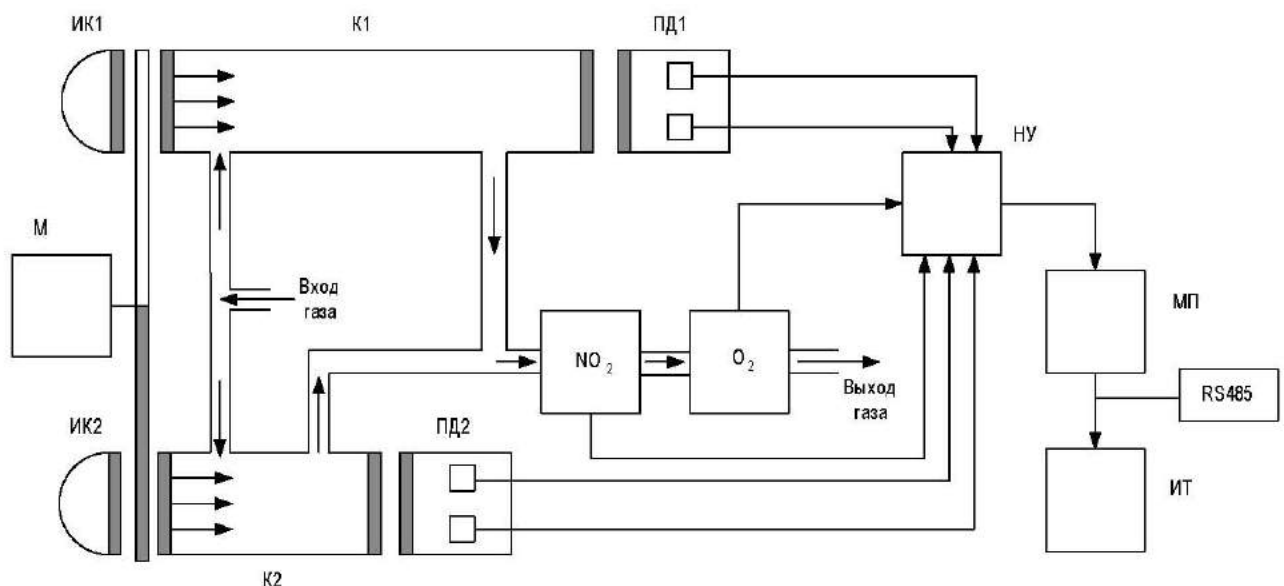


Рис. 2 – Функциональная схема газоанализатора 325ФА20

М – модулятор; ИК1, ИК2 – инфракрасный излучатель; К1, К2 – кювета; ПД1, ПД2 – пироприемник, НУ – нормирующие усилители, МП – микропроцессор; ИТ – индикаторное табло.



Сигналы, пропорциональные значениям концентраций газов в цифровом формате стандарта протокола RS485, по кабелю связи (кабель типа Belden 9341) поступают на преобразователь интерфейсов (ПИ) типа I-7520. После преобразования цифровых сигналов стандарта протокола RS485 в сигналы протокола RS232 последние поступают на персональную ПЭВМ, расположенную в помещении диспетчерской управления коксовой батареей.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ НА БАЗЕ ПЭВМ

Конфигурация начинки персонального компьютера в составе ГИС соответствует современным требованиям к компьютерной технике и программному обеспечению [5]. Это позволяет компьютеру проводить измерения, запоминать данные, обрабатывать измерительную информацию, поступающую с газоанализатора, и выдавать ее на экран монитора в форме, удобной для технического персонала. В корпусе ПК также размещены преобразователь интерфейсов I-7520 и блок питания для него.

Программа, выполненная в современном удобном виде, обеспечивает управление ГИС, а также приём и обработку данных с последующим запоминанием. Программа позволяет пользователю генерировать отчеты в формате MS Word. Программа работает в реальном временном режиме, а это значит, что в ней фиксируется время, которое отсчитывается системным таймером

компьютера. Визуальное отображение программы разработано в такой концепции, чтобы любой пользователь смог интуитивно разобраться в работе и возможностях программного продукта для последующей работы. Программа позволяет без лишних усилий наблюдать за результатами измерений. Данные выводятся на монитор в различных видах: числовых, графических. Визуально программа состоит из окон, разбитых на несколько секций. Программа имеет следующие окна: «Главная», «Графики», «За период». Переключения между окнами осуществляются посредством выбора соответствующей закладки. При вызове окна «Главная», которое является основным, в нём отображается вся необходимая и самая важная информация на текущий момент (рис. 3).

В окне «Главная» отображается информация о текущих значениях концентраций газов, состоянии системы; отображаются графики и сохраненные значения в миниатюре, а также температура.

В окне «Графики» расположены следующие компоненты:

- а) поле для отображения графиков; б) меню выбора текущего графика; в) поле ввода количества точек на графике; г) ползунок для просмотра графика.

Поле для отображения графиков имеет две градуированные шкалы по оси ординат – для отображения графиков одного из шести измеряемых компонент или всех шести газовых компонент одновременно.

Левая шкала градуирована в мг/м³ для отображения концентраций CO, NO, CO₂, SO₂. Правая шкала градуи-

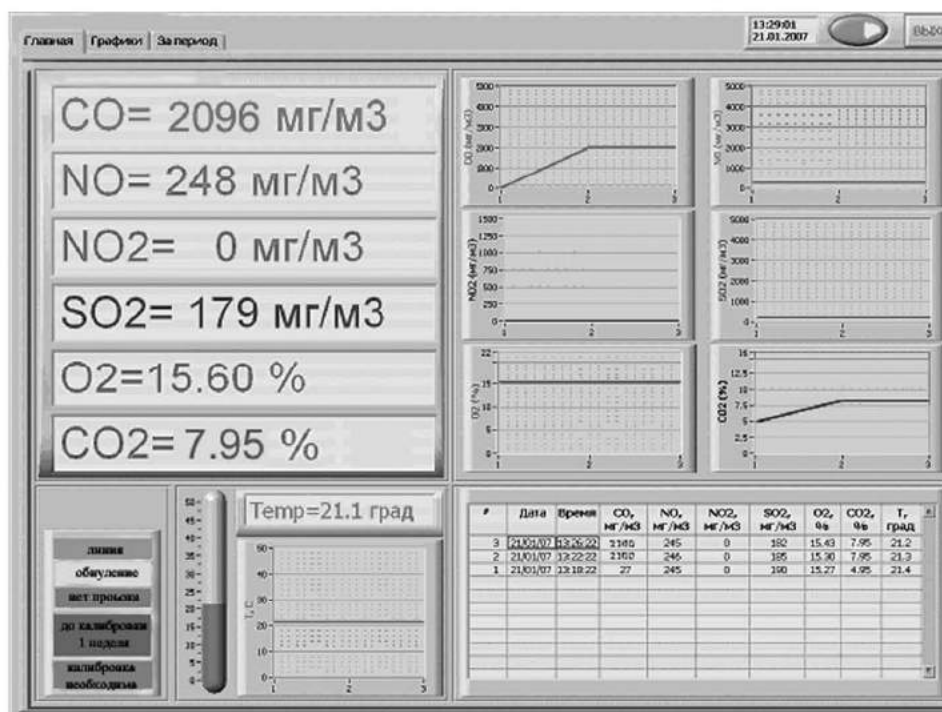


Рис. 3 – Визуальное отображение программы (окно «Главная»)

рована в процентах для отображения концентраций O_2 и NO_2 . Меню предназначено для выбора одного или всех газов, для которых будут строиться графики.

Окно «За период» состоит из следующих блоков:

а) блок выбора периода; б) блок отображения графиков за период; в) блок отображения выбранных данных за период.

В этом окне отображаются все результаты, зафиксированные программой в цифровом и графическом виде. Предусмотрена возможность усреднения значений за любой период времени с интервалом в 4, 20, 60 мин или 24 часа.

Параметры представляемой измерительной информации устанавливаются компьютером автоматически. Периодичность смены результатов измерений по O_2 , CO , CO_2 , NO , NO_2 , SO_2 – 4 мин. Программа позволяет отдельно выбрать и посмотреть графики изменения концентраций газов и температуры за любой период времени и составить отчет с выводом для печати на принтер в виде законченного протокола.

После появления на экране монитора надписи «ДО КАЛИБРОВКИ – 1 НЕДЕЛЯ» следует выполнить все необходимые действия для проведения калибровки газоанализатора 325ФА20 с помощью поверочных газовых смесей. После калибровки газоанализатора необходимо занести дату ее проведения в соответствующий файл программного обеспечения.

ВЫВОДЫ

Созданная ГИС осуществляет экологический мониторинг коксохимического производства, позволяет улучшить технологические процессы на коксовой батарее, уменьшить вредные выбросы в атмосферу, оптимизировать потребление энергоресурсов. Компьютерная обработка измерительной информации позволяет архивировать результаты измерений и тем самым отслеживать отклонения технологического процесса от нормы.

Следует также отметить, что эксплуатация ГИС требует обязательного наличия квалифицированного пер-

сона службы КИП и А. Одной из технических проблем эксплуатации ГИС является забивание (закупоривание) входного пробоотборного зонда продуктами серы и как следствие – необходимости периодической механической чистки (специальным шомполом) зонда. Наличие соединений серы в анализируемом газе приводит к отравлению электрохимического сенсора на O_2 и необходимости его периодической замены. В настоящее время проводятся работы по новым техническим решениям, позволяющим увеличить регламент периодического обслуживания ГИС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безрук З. Д., Визнюк А. А., Приміський В. П. Створення систем технолого-екологічного моніторингу забруднення атмосфери // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2004. – № 2. – С. 66–71.
2. Баскова И. П., Федченко Е. А., Шаталов М. Г. Система мониторинга коксохимического производства // Тезисы доклада НТК «Приладобудування 2007: Стан і перспективи». – К. – С. 181–182.
3. Пат. 58419 Україна, МПК G 01 № 25/36. Багатоканальний газоаналітичний технологічний комплекс / О. А. Дашковський, С. С. Воробйов, А. О. Нагорний та ін. (Україна); ЗАТ «Всеукр. наук. — досл. інст. аналітичного приладобудування» (Україна). – № 2003043727; Заявл. 23.04.2003; Опубл. 15.07.2003. – Бюл. № 7.
4. Приміський В. П. Сучасні оптико-електронні схеми інфрачервоних газоаналізаторів // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2005. – № 1(9). – С. 234–242.
5. Пат. № 65505 Україна, МПК G 01 № 1/22. Газоаналітичний технологічний комплекс з мікропроцесорною системою / В. П. Бородавка, З. Д. Безрук, О. А. Дашковський та ін. (Україна); ЗАТ «Всеукр. наук. — досл. інст. аналітичного приладобудування» (Україна). – № 20031212310; Заявл. 24.12.2003; Опубл. 15.11.2005. – Бюл. № 11.

Поступила в редакцію 20. 03.2007

Надана функціональна схема розробленого комп'ютеризованого газоаналітичного вимірювального комплексу для автоматичного виміру викидів коксових батарей. Обґрунтовано вибір технічних, метрологічних характеристик комплексу, проаналізовано роботу програмного забезпечення.

Functional scheme of the developed computerized gas-analytical complex for measuring exhaust gases from coke-oven battery is shown. The choice of technical and metrological characteristics of the complex is proved; the work of software equipment is analyzed.