

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ

УДК 53.089.62

ОСОБЕННОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФОТОКОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ

О.В. Свирюкова, В.А. Рылов, К.П. Латышенко

*ФГБОУ ВПО «Московский государственный
машиностроительный университет (МАМИ)», г. Москва*

Рецензент д-р техн. наук, профессор С.В. Пономарев

Ключевые слова и фразы: поверочные газовые смеси; поверочные оптические эквиваленты; поэлементно-эквивалентный метод; фотоколориметрические газоанализаторы.

Аннотация: Описаны различные методы поверки газоанализаторов, в том числе комплектной поверки с помощью поверочных газовых смесей и поэлементно-эквивалентного метода поверки.

Среди аппаратурных средств и методов контроля и анализа природной среды доминируют газоаналитические измерения. Для газоаналитических измерений, как важного раздела экопромышленного мониторинга, характерна проблематика задач разработки и совершенствования средств и методов контроля и анализа природной среды. Для подобной измерительной техники традиционно актуальна проблема разработки и создания соответствующего аппаратурного обеспечения. Однако для газоаналитических измерений существует соизмеримая по значимости и актуальности проблема разработки и совершенствования средств и методов метрологического обеспечения (МО). Это определено, прежде всего, спецификой физико-химической сущности самих газоаналитических измерений.

В последние годы имеет место значительное улучшение эксплуатационных характеристик газоаналитических приборов, используемых для контроля взрывоопасных и токсичных соединений в воздухе рабочей зоны.

Обычно для градуировки, поверки и проверки работоспособности газоаналитического оборудования используются баллоны с поверочными

Свирюкова Ольга Вячеславовна – аспирант кафедры «Мониторинг и автоматизированные системы контроля», e-mail: Svirukova@yandex.ru; Рылов Владимир Аркадьевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Мониторинг и автоматизированные системы контроля», главный конструктор проекта ИЦГК, ОАО НПО «Химвтоматика»; Латышенко Константин Павлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Мониторинг и автоматизированные системы контроля», ФГБОУ ВПО «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», г. Москва.

газовыми смесями (ПГС) под давлением. Поверочные газовые смеси получают путем смешения чистых исходных газов в заданных соотношениях. Они предназначены для градуировки, аттестации и поверки средств измерений содержания компонентов в газовых средах, аттестации методик выполнения измерений, а также для контроля правильности результатов измерений, выполняемых по стандартизованным методикам.

Большинство зарубежных фирм-изготовителей применяет ПГС в облегченных металлопластиковых и алюминиевых баллонах небольшого объема (до 2 л) и баллонах со специальным покрытием для хранения смесей коррозионных газов с воздухом.

С позиций физико-технической сущности газоаналитических измерений, существует аппаратная сложность, низкая рентабельность и конструктивная ограниченность базового промышленного метода метрологической аттестации на ПГС, что указывает на правомерность поиска наиболее оптимальных средств и методов.

Создание прибора и методики метрологической аттестации газоанализаторов систем контроля природной среды, исключая в собственной конструкции применение ПГС, является востребованной задачей.

Особенностью фотоколориметрических газоанализаторов является проведение поверки газоанализаторов на месте эксплуатации без применения газовых смесей.

Применительно для фотоколориметрических газоанализаторов разработаны и изготовлены метрологические устройства, исключая в собственной конструкции газоанализатора процессы информационного газодинамического преобразования. Для различных видов фотоколориметрических газоанализаторов (ленточных, порошковых) используются различные устройства, имитирующие изменение концентрации газа.

В ленточном фотоколориметрическом газоанализаторе в качестве носителя химического реактива, устройства его взаимодействия с анализируемой газовой пробой (абсорбера), а также сосуда для фотоколориметрирования (кюветы) служит одна и та же индикаторная лента. В таких газоанализаторах реакция протекает на слое текстильной или бумажной ленты, а концентрация определяемого компонента измеряется по ослаблению светового потока, отраженного от участка или прошедшего через участок индикаторной ленты, изменившей свою окраску в результате химического взаимодействия с определяемым компонентом. Примерами таких газоанализаторов являются стационарный фотоколориметрический газоанализатор (СФГ-М) и индивидуальный фотоколориметрический газоанализатор (ИФГ-М).

Так, для фотоколориметрических ленточных газоанализаторов СФГ-М, ИФГ-М средством поверки служит специальный набор светофильтров (СНС), имитирующий изменение коэффициента пропускания индикаторной ленты при поэлементной поверке газоанализаторов. Специальный набор светофильтров представляет собой оптическое приспособление, устанавливаемое в измерительный преобразователь блока фотоприемника газоанализатора взамен индикаторной ленты – преобразователя ленточного кассетного (ПЛК). Газоанализаторы допускают поверку в эксплуатации с использованием в качестве образцового средства оптического эквивалента ПГС, при этом погрешность определения эквивалентных концентраций не должна превышать 5 %.

В состав поверочного приспособления (рис. 1), помимо СНС, входят два имитатора ПЛК (ИПЛК). Имитаторы ИПЛК-2 и ИПЛК-6 заменяют ПЛК и необходимы для запуска соответствующей программы газоанализатора при его поверке, штрих-коды ИПЛК-2 и ИПЛК-6 идентичны штрих-кодам ПЛК-2 и ПЛК-6. Комплект СНС является эквивалентом концентраций NO_2 при работе на длине волны 464 нм (ИПЛК-2) и концентрации H_2S на длине волны 570 нм (ИПЛК-6).

Специальный набор светофильтров выполнен в виде пластины из нержавеющей стали с четырьмя оптическими окошками. В окошки 2–4 (номера отверстий выбиты на боковой поверхности пластины) установлены светофильтры, оптическая плотность которых повышается с увеличением номера светофильтра (оптического окошка). Габаритные размеры СНС – $70 \times 22 \times 2,5$ мм, диаметр окошка – 9 мм, масса не более 30 г.

Порядок имитации загазованности измеряемыми компонентами с помощью комплектов СНС-ИФГ представлен на рис. 2.

Для имитации загазованности одним из продуктов следует перед включением прибора установить на опознаватель кассету с этикетками,

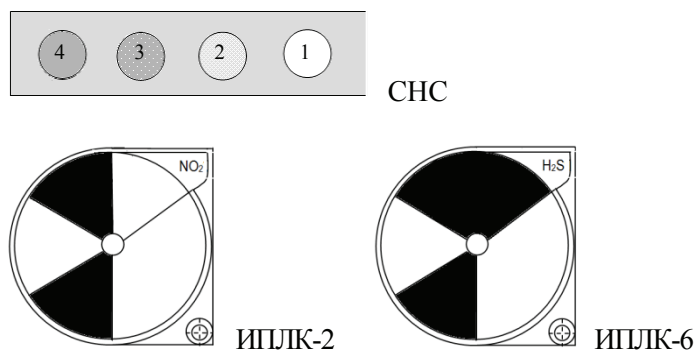


Рис. 1. Состав поверочного приспособления

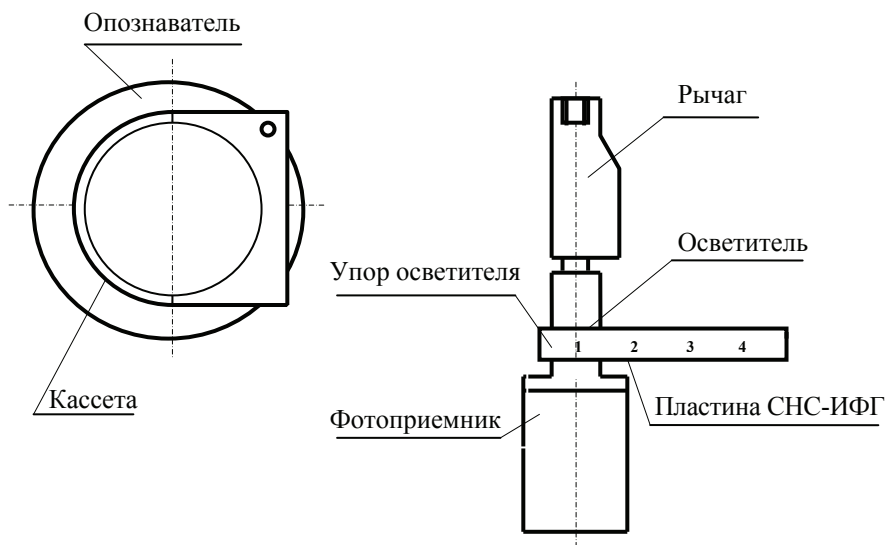


Рис. 2. Принцип работы поверочного комплекта СНС-ИФГ

соответствующими этому продукту так, как показано на приведенном рисунке и зафиксировать ее, опустив прижим. В зазор между осветителем и его упором ввести пластину СНС-ИФГ так, чтобы выступ осветителя вошел в отверстие под № 1.

Принцип работы комплектов СНС-ИФГ состоит в следующем: при последовательной установке в оптический канал газоанализатора двух светофильтров с разными коэффициентами пропускания разница коэффициентов пропускания светофильтров имитирует изменение коэффициента пропускания индикаторной ленты при ее экспонировании. При этом светофильтр 2 имитирует неэкспонированную индикаторную ленту. Переход со светофильтра 2 на светофильтр 3 или 4 имитирует экспонирование индикаторной ленты. Окошко 1 без светофильтра служит для самодиагностики газоанализатора.

Методика проверки сводится к выявлению эквивалентных концентраций. Выполняя операции проверки, проводят 10 циклов определения эквивалентных концентраций ($C_{э1}$ и $C_{э2}$) ПДК с получением их усредненных значений $\bar{C}_{э.ср1}$ и $\bar{C}_{э.ср2}$ после десятого цикла и вычисляют значения погрешностей ($\sigma_{э1}$, $\sigma_{э2}$) определения эквивалентных концентраций по формулам:

$$\sigma_{э1} = \frac{\bar{C}_{э.ср1} - C_{э.п1}}{C_{э.п1}} 100 \%; \quad (1)$$

$$\sigma_{э2} = \frac{\bar{C}_{э.ср2} - C_{э.п2}}{C_{э.п2}} 100 \%; \quad (2)$$

где $C_{э.п1}$, $C_{э.п2}$ – паспортные значения эквивалентных концентраций, ПДК.

Результат проверки считается положительным, если значения $\sigma_{э1}$, $\sigma_{э2}$, вычисленные по формулам (1) и (2), не превышают $\pm 5 \%$.

Необходимо отметить, что газоанализатор СФГ-М является также удачным примером решения не менее важных для газоаналитических систем безопасности задач по пространственному распределению компонентов и их интеграции в единую структуру. Существует два принципиально разных подхода к решению измерительных задач распределенных газоаналитических систем. Первый подход предполагает один малоинерционный многофункциональный газоанализатор, в который по пневмопроводу поочередно подаются пробы анализируемого газа со всех точек контроля. При втором подходе в каждой точке контроля устанавливают датчик, на выходе которого формируется электрический сигнал.

Типовой газоанализатор подвергает усилению, нормированию, переводу в цифровой код выходной сигнал первичного измерительного преобразователя (ПИП). Техническим решением, позволяющим существенно упростить задачу метрологического обеспечения территориально разнесенных газоаналитических устройств системы, является отказ от проведения каких-либо настроечных операций по месту (в каждой точке контроля).

Газоанализатор разбивается на две части: съемную (аналитический преобразователь) и стационарную (системный преобразователь). При таком подходе в распределенной газоаналитической системе можно выделить следующие составные части: аналитический преобразователь, сис-

темный преобразователь, концентратор и блок управления, питания и сигнализации. С другой стороны, при массовом производстве одним из важных критериев является технологичность. С этой точки зрения, в газоанализатор в качестве сенсора аналитического преобразователя монтируются твердотельные сенсоры, то есть выполненные по микроэлектронной технологии.

Применение поэлементно-эквивалентного метода (**ПЭМ**) необходимо там, где практически невозможно по разным причинам применение метода поверки по ПГС [1]. Поэлементные методы контроля стабильности и коррекции погрешностей и методы с применением физических эквивалентов анализируемой смеси (имитаторов) принципиально позволяют обеспечить создание средств контроля анализаторов на чисто инструментальной основе при уменьшении числа поверочных смесей или даже их исключении. В отличие от традиционных методов контроля такие ПЭМ могут быть разработаны только с учетом специфических особенностей принципа действия и конструкции анализатора и входящих в него измерительных преобразователей (**ИП**).

Представляют интерес средства поверки и поверочные приспособления других фотоколориметрических газоанализаторов.

Сам по себе ПЭМ достаточно широко был внедрен для поверки таких фотоколориметрических газоанализаторов, как СФГ-М, «Сирена», «Сирена 2», «Сирена 4», «Сирена А» [1, 2], которые являются газоанализаторами спектрального отражения. В указанных газоанализаторах в качестве измерительного преобразователя используются индикаторные порошки, представляющие собой гранулы полиэтилена низкого давления с нанесенным реактивом, дающим с измеряемым компонентом специфическую цветную реакцию.

Так, например, средство поверки фотоблока (**СПФ**) к фотоколориметрическому ленточному газоанализатору «Сирена М» предназначено для поверки фотоэлектрического преобразователя газоанализатора при выпуске из производства и на местах эксплуатации. Средство поверки фотоблока представляет собой серую трехпольную шкалу плотностей отражения, изготовленную на гладкой тонкой глянцевой фотографической бумаге.

Для градуировки и поверки фотоколориметрических порошковых промышленных стационарных газоанализаторов типа «Сирена» используют поверочные приспособления ПП, ПП2, ПП4. Принцип действия приспособления основан на отражении падающего излучения от поверхности цветных светофильтров, спектральные характеристики которых идентичны спектральным характеристикам индикаторных порошков в пределах спектральной области фотоблоков газоанализаторов «Сирена», «Сирена 2», «Сирена 4», «Сирена А». Приспособление состоит из цилиндра, неподвижно закрепленного на основании, и корпуса со светофильтром. В зависимости от расстояния между светофильтром приспособления и фотоблоком газоанализатора изменяется коэффициент отражения светофильтра, вследствие чего изменяется сопротивление фоторезистора, которое является выходным сигналом газоанализатора. Положение светофильтра относительно неподвижного цилиндра приспособления фиксируется с помощью мер длины, устанавливаемых под корпус со светофильтром.

Целесообразность замены действующей системы метрологического обеспечения газоанализаторов на поверку поэлементно-эквивалентным методом с поверкой фотоблока с помощью поверочных эквивалентов оправдано сокращением времени поверки газоанализаторов на месте их эксплуатации. Применение эквивалентно-поэлементных методов поддержания нормального функционирования фотоколориметрических газоанализаторов в процессе эксплуатации позволяет исключить необходимость использования аттестованных газовых смесей и в результате значительно увеличить метрологическую надежность приборов.

Перспективность ПЭМ метрологического обеспечения автоматических анализаторов основана на повышении их эффективности в условиях эксплуатации благодаря экспрессному и бездемонтажному контролю их качества при существенном уменьшении числа и объемов или исключении поверочных смесей с высокотоксичными, агрессивными и нестабильными компонентами. Это принципиально возможно при совместном применении поэлементного метода и метода физических эквивалентов.

Список литературы

1. Горелик, Д.О. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов. Аэроаналитические измерения / Д.О. Горелик, Л.А. Конопелько. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 432 с.

2. Горелик, Д.О. Экологический мониторинг. Оптико-электронные приборы и системы : учебник. В 2 т. Т. 2 / Д.О. Горелик, Л.А. Конопелько, Э.Д. Панков. – СПб. : Крисмас+, 1998. – 592 с.

3. Научно-производственное объединение «Химвавтоматика» [Электронный ресурс] : официальный сайт. – Режим доступа : <http://www.chimavtomatika.ru>. – Загл. с экрана.

4. ЗАО «Экодатчик» [Электронный ресурс] : официальный сайт. – Режим доступа : <http://www.ekod.ru>. – Загл. с экрана.

Features of Metrological Support for Photocolorimetric Gas Analyzers

O.V. Sviriyukova, V.A. Rylov, K.P. Latyshenko

Moscow State Engineering University, Moscow

Key words and phrases: calibration gas mixtures; calibration optical equivalents; element by element-equivalent method; photocolorimetric gas analyzers.

Abstract: The paper describes the various methods of checking the gas analyzers, including complete calibration using calibration gas mixtures and elementwise-equivalent method verification.

© О.В. Свирюкова, В.А. Рылов, К.П. Латышенко, 2013