

ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ
В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 541.183

ИНФРАКРАСНЫЕ ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ
МЕТАНОВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ© 2019 г. А. В. Загнитько, Н. П. Зарецкий, А. В. Каникевич,
И. Д. Мацуков, Д. Ю. Федин

Поступила в редакцию 13.12.2018 г.

После доработки 16.01.2019 г.

Принята к публикации 20.01.2019 г.

DOI: 10.1134/S0032816219040359

Разработаны инфракрасные (и.к.) газоанализаторы метановоздушных выбросов со скоростью до 300 м/с и облаков паров регазифицированного сжиженного природного газа (с.п.г.) в атмосфере при температуре T от -90 до $+60^\circ\text{C}$.

Фотография и схема и.к.-газоанализатора приведены на рис. 1.

Газоанализатор состоит из двух последовательно соединенных блоков аспирации пробы I и ее анализа II. Аспирационный блок имеет цилиндрический корпус 1, внутри которого расположены высокопористая мембрана из меди 2, вентилятор 3 с вихревым диффузором, волокнистый фильтр 4 и выход газа 5. Блок предназначен для отбора пробы с формированием однородного профиля течения газа с помощью вентилятора 3 и фильтра 4. Смесь углеводородов и воздуха непрерывно отбирается из потока Q со скоростью Q_1 в блок II, а поток $Q_2 = Q - Q_1$ удаляется из устройства через выход 5. Высокопористая медная мембрана 2 и вентилятор 3 используются для предварительной фильтрации грубодисперсных аэрозолей и кратковременного нагревания анализируемого газа за счет теплообмена при быстром понижении температуры.

Блок II содержит электропечь 6, трубчатый канал с пористым медным наполнителем 7, взрывозащищенный вентилятор 8 с напряжением питания 5 В, обеспечивающий подачу анализируемого газа с расходом $Q_1 = 30\text{--}50\text{ см}^3/\text{с}$ в и.к.-сенсор 9 [1], плату измерения и управления 10 и выходной фильтр газа 11. Теплоизолированная плата 10 обеспечивает питание вентилятора 8, анализ показаний сенсора 9, управление нагревом электропечи 6 и передачу данных в компьютер. К ней подключены внешняя и внутренняя термпары (хромель—алюмель) для контроля температуры снаружи и внутри газоанализатора. Электропечь 6, управляемая микропроцессором платы 10, служит для нагревания анализируемого газа перед подачей в сенсор, когда температура снаружи га-

зоанализатора опускается ниже -10°C . Наполнитель 7 с открытой пористостью около 90% предназначен для увеличения скорости однородного нагрева газа.

Регистрация метана осуществляется и.к.-сенсором 9 типа “Mipex” с рабочей температурой от -40 до 60°C [1]. В его измерительную зону анализа газ поступает путем создания вентиляторами 3 и 8 принудительного потока конвективной диффузии, скорость которой существенно превышает скорость молекулярной диффузии молекул метана. Быстродействие сенсора зависит от его модели и составляет 0.1–0.35 с. В результате число измерений концентрации C в потоке Q за 1 с составляет $1/\tau$. Это позволяет определять среднеарифметическую концентрацию $\langle C \rangle$, ее стандартное отклонение σ_C и скорость изменения dC/dt в потоке $Q \leq 10^4\text{ см}^3/\text{с}$.

Инфракрасный газоанализатор имеет следующие основные характеристики. Прибор измеряет объемную концентрацию метана в диапазоне 0.5–100 об. % с относительной погрешностью менее 5% при температуре газовой смеси на входе $T \geq -40^\circ\text{C}$. Его быстродействие $\tau \approx 0.2\text{--}0.6\text{ с}$, скорость отбора метановоздушной смеси $10^3\text{--}10^4\text{ см}^3/\text{с}$. Газоанализатор может быть использован в течение 150–200 с для анализа углеводородов с температурой до -90°C .

При длительном понижении температуры метановоздушной смеси до -90°C предусмотрено разделение блоков I и II. В этом случае анализируемый поток $Q_1 \approx 40\text{ см}^3/\text{с}$ поступает в блок II через фильтр НЕРА для улавливания возможных газовых гидратов [2] и нагревается электропечью до $T \geq 5\text{--}10^\circ\text{C}$. Понижение наружной температуры газа до -90°C практически не влияло на величину τ .

Разработанные газоанализаторы оказались устойчивыми к воздействию магнитного поля с напряженностью до 200 А/м и промышленной частотой 50–60 Гц. Их конструкция выдерживала

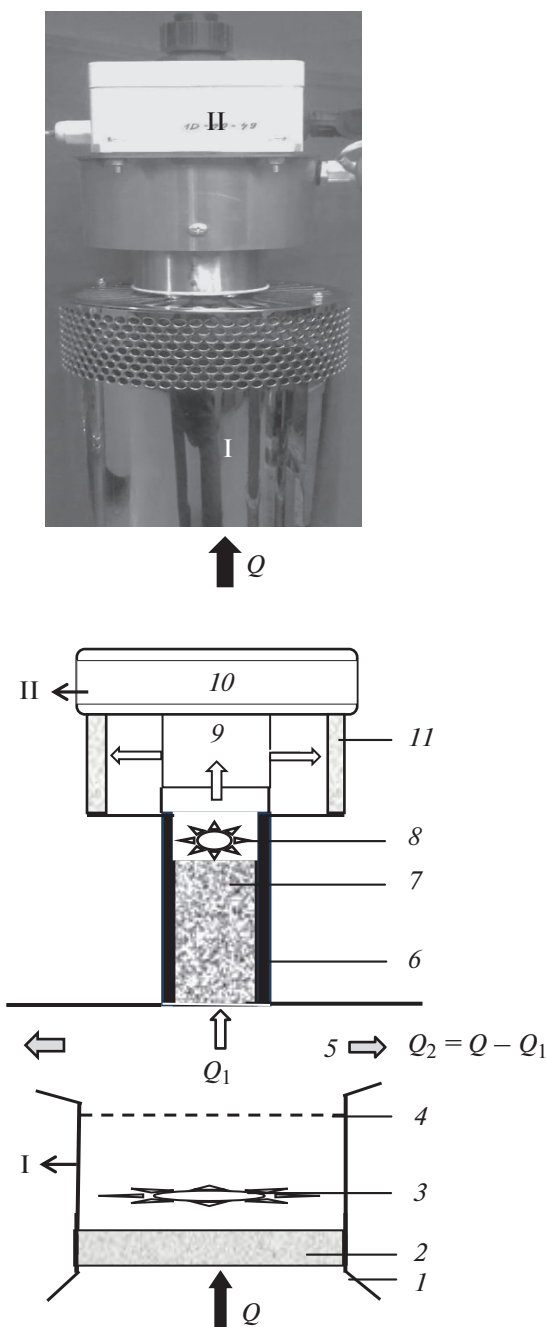


Рис. 1. Фотография и принципиальная схема и.к.-газоанализатора. I – блок аспирации, II – блок анализа; 1 – корпус, 2 – высокопористая мембрана, 3 – вентилятор, 4 – волокнистый фильтр, 5 – выход газа, 6 – электропечь, 7 – трубчатый канал с наполнителем, 8 – взрывозащищенный вентилятор, 9 – и.к.-сенсор, 10 – плата измерения и управления, 11 – выходной фильтр газа.

избыточное давление ударной волны до 10^5 Па и напор воздуха ≤ 300 м/с.

При анализе паров с.п.г. необходимо иметь в виду, что отечественный топливный с.п.г. для промышленного и коммунального назначения

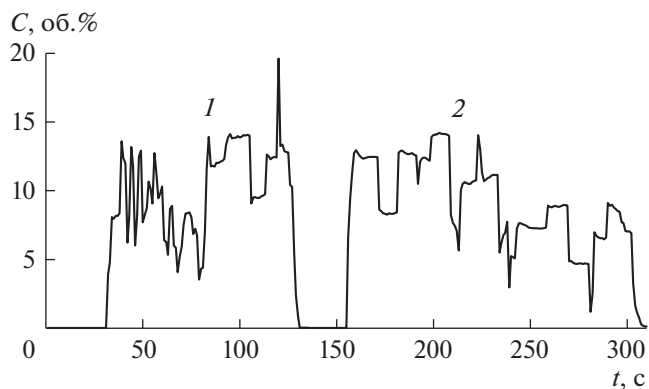


Рис. 2. Измеренные концентрации C паров регазифицированного с.п.г. в зависимости от времени t в потоке $Q \approx 9000-10000$ см³/с: 1 и 2 – нестационарные выбросы с.п.г. с начальной концентрацией 100 об. % в атмосферу с высокотемпературным испарением в динамическом режиме и смешиванием с воздухом при $T = 10-15^\circ\text{C}$. $\langle C \rangle = 9.81$ (1) и 9 (2); $\sigma_C = 3.29$ об. % (1) и 3.18 об. % (2). Концентрация метана в с.п.г. составляла ~ 95 об. %. Температура в центре облака при импульсном распылении более 6 т с.п.г. варьировалась от $10-15$ до $-(80-90)^\circ\text{C}$. Измерение C было синхронизировано с началом распыления с.п.г.

должен содержать не менее 92 об. % метана. Остальной состав определяется примесями, включающими этан, пропан, бутан, пентан и другие углеводороды, содержание которых не нормируется. Их сечение поглощения и.к.-излучения существенно превышает сечение поглощения инфракрасных волн молекулами метана. Это может привести к ошибке измерения объемной концентрации паров. В связи с этим был разработан стенд для калибровки газоанализаторов путем создания моделируемых по объемной концентрации углеводородных смесей паров с.п.г. с воздухом. Измеренные зависимости при концентрации примесей легких углеводородов >1 об. % существенно отличались от кривой калибровки устройства чистым метаном.

Отметим, что для сравнения концентрация метана анализировалась газоанализаторами “Сенсис-500” с английским и.к.-сенсором MSH-P/HR/5/V/P “Dynamant GB”, блоком “Кассандра” и интерфейсом RS-485. Забор пробы в сенсор осуществлялся за счет молекулярной диффузии через аэрозольный фильтр, поэтому их быстродействие составляло $\sim 20-30$ с. Конструкция сенсора с излучателем на основе вольфрамовой нити, пироэлектрическим приемником и.к.-излучения и рабочей температурой от -25 до 50°C существенно отличалась от отечественных сенсоров “Mirex”. Тем не менее, результаты измерения стационарной концентрации метана при $T > -20^\circ\text{C}$ и.к.-газоанализаторами различных типов оказались практически одинаковыми.

Разработана сеть и.к.-газоанализаторов с возможностью одновременного опроса и обработки данных более десяти устройств и передач их каждые 10 мс в компьютер, удаленный от облака углеводородов на безопасное, до 1200 м, расстояние. Собранный информация непрерывно поступает на сервер по оптоволоконной линии длиной до 10 км с сетевым интерфейсом 100 Мбит Ethernet. Программное обеспечение сохраняет данные в реальном масштабе времени на экране компьютера сервера.

Сеть и.к.-газоанализаторов использовалась при проведении масштабных экспериментов, связанных с импульсным распылением с.п.г. и образованием выбросов его паров объемом $>5 \cdot 10^4 \text{ м}^3$ в атмосфере с начальной скоростью $>100\text{--}150 \text{ м/с}$. Визуализация положения газоанализаторов на местности осуществлялась с помощью системы ГЛОНАСС-GPS. Сервер сбора данных был расположен на расстоянии более 5 км от облака. Получены данные о кинетике варьирования температуры от 40 до -90°C , концентрации и скорости ее изменения внутри облаков паров регазифици-

рованного с.п.г. объемом до 10^6 м^3 при моделировании аварий в системах его хранения (рис. 2).

Сетевая система и.к.-газоанализаторов с их визуализацией на местности может быть использована для мониторинга метановоздушных выбросов в атмосферу и экологического контроля объектов нефтегазовой промышленности, а также для разработки инженерных моделей при описании затопленных струй углеводородов [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малогабаритный измерительный преобразователь взрывоопасных газов МИП ВГ-02-Х-ХХ / МІРЕХ-02-Х-Х-Х.1 Х. Руководство по эксплуатации. ЕСАТ.413347.002 РЭ. ООО Оптисенс. СПб., 2012.
2. *Макогон Ю.Ф.* Газовые гидраты, предупреждение их образования и использование. М.: Недра, 1985.
3. *Абрамович Г.Н.* Теория турбулентных струй. М.: Наука, 1984.

Адрес для справок: Россия, 123182, Москва, площадь И.В. Курчатова, 1, НИЦ "Курчатовский институт", Курчатовский комплекс промышленной безопасности. E-mail: zagnitko_av@nrcki.ru