

П.А. Первухин
(Академия гражданской защиты МЧС России;
e-mail: academia2009@bk.ru)

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК НЕФТЕПРОДУКТОВ

Анализируются методы и приборы индикации паров лёгких углеводородов в местах их утечек в подпочвенное пространство. Подчёркнуты достоинства и недостатки каждого метода. Обоснована применимость предложенных методов, показана перспективность их использования.

Ключевые слова: мониторинг, экология, обстановка, диагностика, метод, анализ.

P.A. Pervuhin METHODS AND INSTRUMENTS OF THE FINDING DRAIN OF PRODUCTS OF OILS

Methods and instruments to indication of the vapours light hydrocarbon in places their drain in underground space are analysed. Underline virtue and insufficient of each method. Applicability of the offered method is proved, perspectivity of its use is shown.

Keys words: monitoring, ecology, situation, diagnosing, method, analysis.

Как известно из статистических источников, по величине нанесённого ущерба народному хозяйству России загрязнение нефтью и нефтепродуктами выходит на первое место. Поэтому в настоящее время в МЧС России уделяется большое внимание проблеме мониторинга загрязнения грунта нефтью и нефтепродуктами.

На сегодняшний день существует несколько методов исследования подпочвенного пространства на наличие скрытых утечек жидкого углеводородного топлива, основными из которых являются лабораторно-полевой и ландшафтно-геологический методы, основанные на проведении буровых работ и последующего цикла лабораторных исследований с использованием хроматографического и спектрометрического методов определения нефти и нефтепродуктов в почве.

Однако всё больший интерес приобретает использование средне- и малогабаритных приборов, где индикация паров углеводородных топлив основана на физических, химических и физико-химических методах анализа. К сожалению, большая часть из них может быть реализована в виде громоздких и недостаточно мобильных установок либо в лабораторных условиях. К недостаткам этих методов также относится высокая стоимость как самого оборудования, так и проведения работ с их использованием.

С точки зрения практического применения, стоит задача выбора метода обнаружения подпочвенных утечек нефтепродуктов, основными требованиями к которому являются: надёжность, оперативность и экономичность.

Методика поиска утечек нефтепродуктов. Для поиска мест нефтепродуктовых утечек и оконтуривания их по площади и по вертикали, а также определения мест разлива используют традиционные, довольно громоздкие и дорогостоящие лабораторно-полевые ландшафтно-геологические методы, буровые работы. При этом для определения типа элементарного ландшафта, типа геохимических сопряжений в местных ландшафтах, которые и определяют характер перемещения углеводородных веществ, закладывают серию почвенных разрезов (ручных скважин). Количество их зависит от сложности ландшафтной геохимической обстановки и нефтепродуктового потока.

Почвенные разрезы (скважины) объединяют в систему профилей: они протягиваются в направлении движения поверхностного стока от места разлива до места промежуточной или конечной аккумуляции.

Минимальное количество профилей – 3, минимальное количество разрезов – 12 (по 3 на каждом профиле и 3 фоновых, по одному на каждый элементарный ландшафт). Если при этом количестве разрезов достоверно решить задачу выявления и оконтуривания нефтезагрязнения нельзя, то закладывается необходимое количество дополнительных разрезов.

Почвенные разрезы могут быть и опорными, и типа "прикопки" (отбор образцов проб для лабораторных исследований). Опорные разрезы закладываются уже на выявленных аномалиях вблизи мест разлива и на основных элементах ландшафтно-геохимического почвенного профиля. Цель изучения таких разрезов – определить глубину просачивания нефти, наличие внутрипочвенного потока, характер трансформации почвенного профиля.

До сих пор большое распространение всё еще имеет диагностика нефтяных загрязнений в лабораторных условиях с использованием спектрометрического метода определения нефти и нефтепродуктов в почве. Этот полуколичественный анализ используют, когда отсутствует специальное оборудование, стандартные растворы и графики, характеризующие данный тип загрязнений. Этот метод вполне пригоден для определения следующих типов веществ: нефти, мазутов, смазочных масел, дизельного топлива и др. Основой данного метода является извлечение суммы углеводородов из почвенного образца органическим растворителем и определение их концентраций в растворе.

Как видно, на сегодняшний момент традиционные методы обнаружения и разведки очагов нефтепродуктового загрязнения грунтов обычно дорогостоящие и трудоемкие. Поэтому всё большее значение

дорогостоящие и трудоемкие. Поэтому всё большее значение приобретает разработка и использование новых методов обнаружения мест скопления пролитых нефтепродуктов в грунте.

Методы, на которых основаны газоанализаторы. В России наибольшую популярность приобрели следующие методы:

- фотоионизационный;
- ИК-спектроскопия;
- радиоактивный;
- подповерхностного зондирования;
- акустической эмиссии;
- лазерный газоаналитический;
- трассирующих газов;
- химико-каталитический;
- оптико-абсорбционный;
- электрохимический.

Сравнительный анализ методов индикации и газоанализаторов.

На мой взгляд, отмеченных выше недостатков лишены описанные ниже методы индикации взрывоопасных газов и паров жидких углеводородов в почвах.

Фотоионизационный метод. Устройства, использующие данный метод, основаны на сочетании фотоионизационного и инфракрасного детекторов. Принцип действия инфракрасного блока газоанализатора (ИК-блок) основан на поглощении инфракрасного излучения молекулами CO_2 и углеводородов на определенной для каждого компонента длине волны. Поток инфракрасного излучения проходит через оптические фильтры, поступает в измерительную ячейку, заполненную анализируемой смесью. Компоненты анализируемой смеси (CO_2 , углеводороды) поглощают инфракрасное излучение на характерных для каждого вещества длинах волн пропорционально их содержанию.

Фотоионизационный блок (блок ФИД) производит экспресс-анализ суммарного содержания паров большинства органических и ряда неорганических веществ. Принцип действия блока ФИД основан на измерении фотоионизационного тока, возникающего при ионизации молекул вещества в потоке ультрафиолетового излучения. Диапазон детектируемых веществ зависит от энергии ионной лампы. Возможна совместная работа блоков ФИД и ИК-газоанализатора или одного выбранного блока. В случае совместной работы блоков из суммарного результата, выдаваемого блоком ФИД, устраняются данные по содержанию метана, измеренные ИК-блоком.

В России данный метод нашел применение в газоанализаторе Есoprobe-5 (рис. 1). Данный прибор предназначен для измерения содержания диоксида углерода (CO_2), метана (CH_4), углеводородов (CH) в пересчете на метан (CH_4), а также для экспресс-анализа суммарного содержания паров большинства органических и ряда неорганических веществ.



Рис. 1. Прибор Есoprobe-5 с присоединенным зондом

Преимущества прибора:

- обнаружение, определение границ и контроль содержания углеводородов и других органических загрязнений почвы и грунтовых вод, вызванных разливом топлива;
- контроль загрязнения воздуха (ФИД анализатор);
- протечки от свалок и подземных резервуаров;
- протечки трубопроводов и отходов сельскохозяйственного производства;
- наблюдение за перемещением шлейфа загрязнений;
- наблюдение за процессами биологического восстановления;
- обнаружение и контроль газообразных токсичных веществ на промышленных предприятиях и в сельскохозяйственном производстве.

Еще одним примером использования данного метода является переносной двухдетекторный газоанализатор Колион-1В-04 (рис. 2).



Рис. 2. Газоанализатор Колион-1В-04

Он предназначен для одновременного измерения содержания паров углеводородов нефти и нефтепродуктов и других вредных соединений, а также диоксида азота в воздухе рабочей зоны. В газоанализаторе установлены два детектора: фотоионизационный (ФИД) - для измерения содержания нефти, нефтепродуктов и других вредных веществ и электрохимический – для селективного измерения диоксида азота.

Анализируемый воздух прокачивается через детекторы с помощью встроенного микрокомпрессора. Текущие значения измеряемых концентраций в $мг/м^3$ представляются в цифровом виде на двухстрочном жидкокристаллическом индикаторе.

В приборе имеется звуковая (общая для обоих каналов измерения) и световая (отдельная для каждого канала измерения) сигнализация о превышении измеряемыми концентрациями установленных порогов.

Фотоионизационный газоанализатор ФГ-2 (рис. 3) предназначен для неселективного измерения загрязненности атмосферы рабочей зоны различных производств, обнаружения очагов выбросов и разливов нефтепродуктов, поиска течей из резервуаров.



Рис. 3. Газоанализатор ФГ-2

Преимуществом данного прибора является простота в обращении, малые размеры и вес, быстрота измерений, малая потребляемая мощность (одной зарядки встроенных аккумуляторов достаточно для его использования в течение недели), встроенный микрокомпрессор, позволяющий отбирать пробу из вентиляционных систем с разрежением, наличие звуковой и световой сигнализации о превышении допустимого уровня загрязненности, режим автоматической работы прибора.

ИК-спектроскопия. Принцип действия основан на поглощении ИК-излучения молекулами контролируемых газов. Анализатор содержания нефтепродуктов HORIBA OSCMA-350 (рис. 4) проводит надёжный и простой анализ нефтепродуктов в почвах и жидкостях в диапазоне: 0-200 $г/л$. Анализатор содержания нефтепродуктов OSCMA-350 позволяет определять нефтепродукты в почве и воде, а также контролировать остаточное содержание нефтепродуктов в очищенных продуктах.



Рис. 4. Анализатор HORIBA OCMA-350

Для экстракции нефтепродуктов HORIBA разработала специальный экстрагент S-316, не наносящий вреда окружающей среде. Этот экстрагент можно регенерировать с помощью установки Solvent Reclaimer, выпускаемой HORIBA. Рабочий диапазон от 0 до 200 мг/л или от 0 до 1000 мг/кг.

Подповерхностное зондирование. Технология базируется на использовании георадара подповерхностного зондирования (РПЗ) (рис. 5), специально разработанного для указанных целей. В основе картографирования зон, загрязненных нефтепродуктами, лежит открытое и детально исследованное явление существенной зависимости электрических характеристик грунта от насыщения нефтепродуктом. РПЗ состоит из антенны для излучения и приема сигналов, генератора зондирующих сигналов с заданными характеристиками (синтезатор частоты), приемника отраженных сигналов, цифрового блока и компьютера.



Рис. 5. Георадар подповерхностного зондирования

Сигнал, излученный антенной РПЗ, распространяется под поверхность земли и ослабляется вследствие затухания во влажном грунте. При наличии подповерхностного аномального объекта часть сигнала отражается в направлении приемной антенны. Другая часть сигнала распространяется дальше и отражается от следующих объектов. Расстояние до объекта определяется временем задержки распространения радиоволн от антенны до объекта и обратно. Принципы построения аппаратуры и алгоритмы обработки сигналов, заложенные в предлагаемый РПЗ, дают возможность получить ряд преимуществ.

Радиоактивный метод. Метод основан на регистрации радиоактивного излучения вещества (растворенный в жидкости изотоп), проникающего в грунт через сквозные повреждения в стенке резервуара (рис. 6).

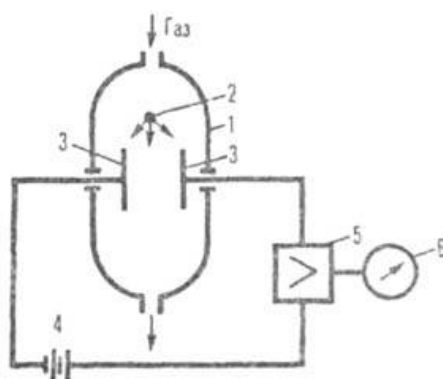


Рис. 6. Радиоизотопный ионизационный газоанализатор:
1 – ионизационная камера; 2 – источник ионизации; 3 – электроды;
4 – источник напряжения; 5 – усилитель; 6 – вторичный прибор

К радиоизотопным газоанализаторам, в которых ионизацию газов осуществляют радиоактивным излучением, относятся приборы на основе сечения ионизации, электронно-захватные и аэрозольно-ионизационные. В первых используют разницу в сечениях (вероятности) ионизации компонентов смеси. Ионизацию осуществляют обычно β -излучением ^{90}Sr , ^3H , ^{63}Ni , ^{147}Pm . Эти газоанализаторы неизбирательны, их применяют для анализа смесей $\text{H}_2\text{-N}_2$, $\text{N}_2\text{-CO}_2$, H_2 - этилен, $\text{H}_2\text{-CH}_4$, $\text{H}_2\text{-CH}_3\text{SiCl}_3$, $\text{H}_2\text{-BCl}_3$ и т.п.; диапазон измерения 0,01-100 %; время установления показаний – до 0,1 с.

Радиоактивные изотопы должны обладать достаточной энергией гамма-лучей и периодом полураспада. Для обнаружения мест утечек в трубопроводе изотопы подбирают для каждого конкретного участка трубопровода в зависимости от его протяженности и глубины залегания. Наибольшее распространение получили изотопы натрия-24 с энергией

(1,4-2,8 МэВ) и периодом полураспада 15 ч, а также бром-82 с энергией гамма-лучей (1,32-1,48 МэВ) и периодом полураспада 36 ч. Место утечки (повышенная остаточная радиоактивность) обнаруживается автономным прибором (зондовым устройством).

Достоинства метода:

- позволяет обнаруживать места незначительных утечек нефти и нефтепродуктов;
- применим для любых резервуаров, содержащих нефть, нефтепродукты, воду и газ;
- эффективен для обнаружения мест незначительных утечек зондовым радиометром.

Недостатки метода:

- точность обнаружения незначительных утечек зависит от глубины залегания резервуара, и чем глубже подземное хранилище, тем ниже чувствительность наземных радиометров (при глубине залегания хранилища свыше 1,5 м наземный способ обнаружения мест утечек не рекомендуется);
- метод небезопасен для обслуживающего персонала и окружающей среды;
- технология заполнения резервуара радиоактивным изотопом и обнаружение мест утечек наземными радиометрами достаточно трудоемка.

Метод имеет ограниченное применение как за рубежом, так и в нашей стране из-за отсутствия комплексных мероприятий по биологической защите обслуживающего персонала, окружающей среды. Однако в некоторых странах, в том числе и в России, проводились интенсивные исследования по совершенствованию технологии контроля этим методом мест незначительных утечек.

Метод акустической эмиссии. Метод основан на регистрации высокочувствительными пьезоэлектрическими датчиками, сигналов акустической эмиссии от напряженного состояния стенки резервуара, микротрещин и от утечек жидкости.

Акустическая эмиссия (АЭ) является результатом высвобождения энергии из материала, находящегося в напряженном состоянии. Высокочувствительные пьезодатчики, расположенные на поверхности резервуаров, воспринимают волны механических напряжений, создаваемые утечкой жидкости или газа, и преобразовывают их в электрические сигналы.

Электрические сигналы с пьезодатчиков усиливаются в 100 тыс. – 1 млн раз. Для обнаружения мест утечек разработано специальное оборудование анализа затухания и времени прихода импульсов акустической эмиссии.

Достоинства метода:

- метод АЭ, реализованный в наземной, передвижной аппаратуре, весьма эффективен для контроля незначительных утечек (микроутечек), напряженного состояния стенки резервуаров, микротрещин и сильной коррозии;

- характеризуется высокой точностью обнаружения мест дефектов стенки резервуаров.

Недостатки метода: высокая стоимость обследования (до 2 тыс. долл. на обследование одного кв. метра подземного резервуара).

Лазерный газоаналитический метод. Метод основан на поглощении углеводородсодержащими (группы СН и СН₂) газами энергии источника инфракрасного излучения с длиной волны 3,39 мкм.

При появлении в подземном резервуаре утечки нефти или нефтепродукта углеводородные газы, вследствие высокой проницаемости частиц почвы, выходят на поверхность и образуют газовое облако над местом утечки.

На основе лазерного газоаналитического метода разработаны и используются переносные и транспортируемые на автомобиле приборы для обнаружения мест подземных утечек нефти, нефтепродуктов и газа.

Достоинства метода:

- высокая точность обнаружения мест незначительных утечек;
- высокая чувствительность аппаратуры (по метану, в % объемных – до $20 \cdot 10^{-4}$);
- быстродействие аппаратуры (5-15 с);
- бесконтактность метода;
- достаточно высокая эффективность для периодического контроля.

Метод находит широкое применение за рубежом и в нашей стране для периодического контроля появления утечек, в основном газа, как на магистральных трубопроводах, так и на других газотранспортных системах.

Лазерные газоаналитические лаборатории применяются также для обнаружения утечек нефти и нефтепродуктов (при наличии летучих компонентов группы СН и СН₂).

Так, в Англии фирмы International Research и Development Ltd. and international Gas Detectors на основе гелий-неонового лазера разработали прибор для быстрого обнаружения органических газов.

В РФ лазерная газоаналитическая автолаборатория "Искатель-1" используется для обнаружения утечек нефти и нефтепродуктов.

Лазерный газоаналитический метод используется, в частности, в газоанализаторах LaserGas II Single Path (рис. 7, 8) и LaserGas II Open Path (рис. 9, 10).



Рис. 7. Газоанализатор LaserGas II Single Path

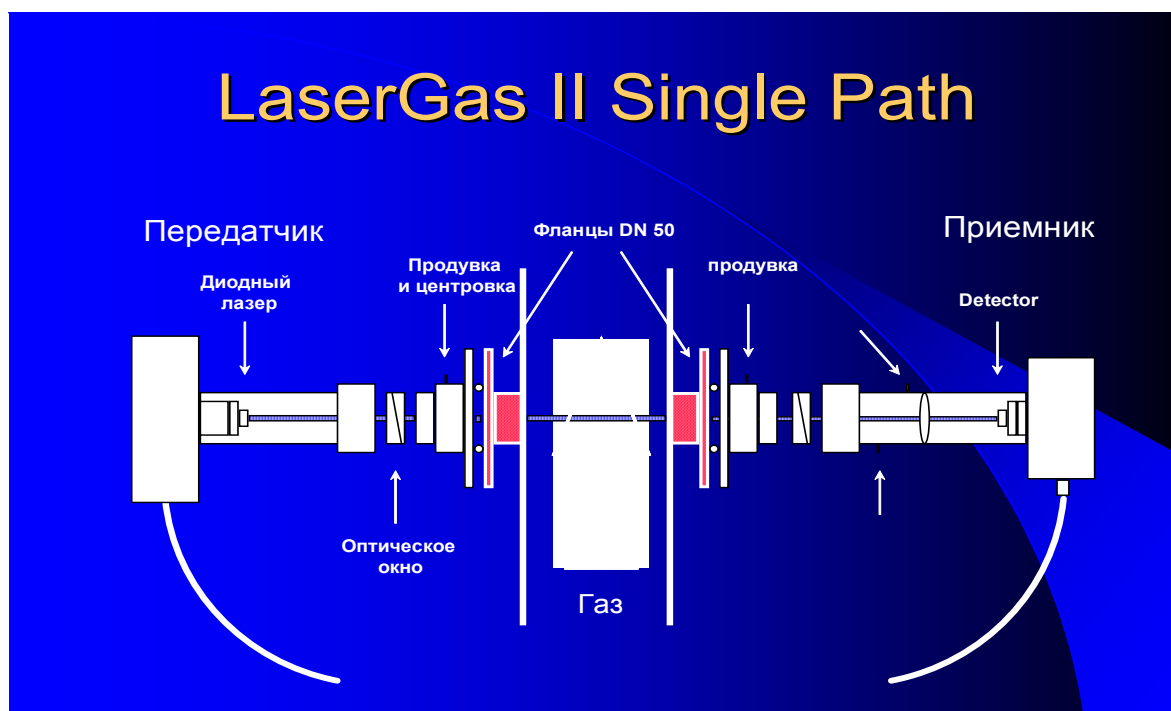


Рис. 8. Схема функционирования газоанализатора LaserGas II Single Path

Непрерывный анализ в сложных условиях (давление до 20 бар, температура до 1500 °C) без систем пробоотбора.

Достоинства:

- компактность (контроллер встроен в передающий блок);
- возможность подключения к Ethernet (помимо выхода 4-20 мА);
- напряжение питания: = 18-36 В или $\approx 100-240$ В, 50/60 Гц;
- упрощенное обслуживание;
- класс защиты IP66;
- программное обеспечение для Windows;
- взрывозащищенное исполнение.



Рис. 9. Газоанализатор LaserGas II Open Path

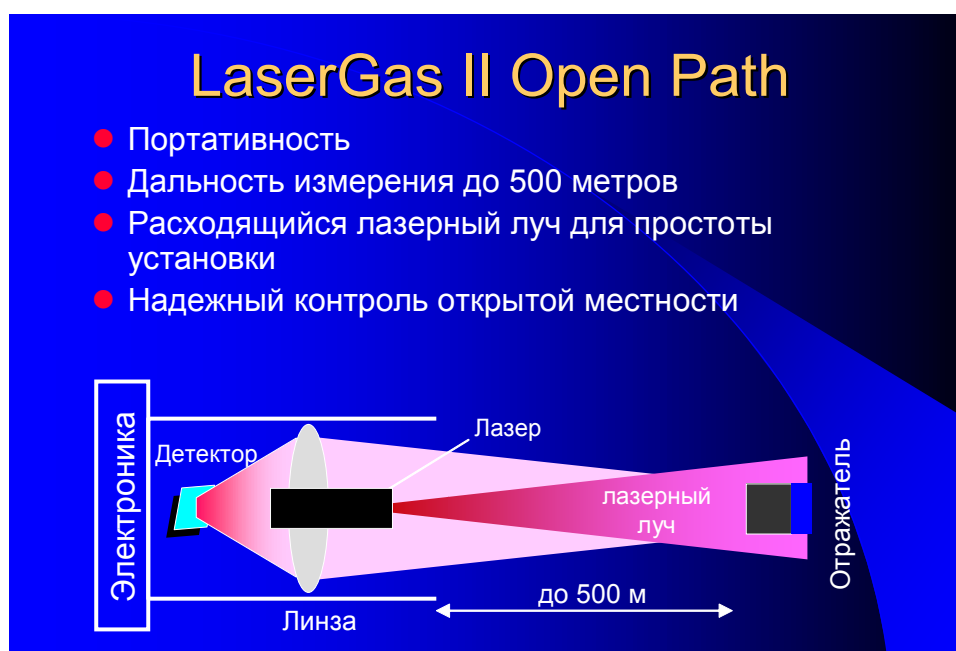


Рис. 10. Схема функционирования газоанализатора LaserGas II Open Path

Метод трассирующих газов. Метод основан на поглощении в инфракрасной области спектра световой радиации трассирующим газом, выходящим на поверхность грунта в месте сквозного повреждения стенки резервуара. Метод предполагает обнаружение незначительных утечек в резервуарах по выходу на поверхность трассирующих газов, закачиваемых в резервуар под давлением. При выборе трассирующего газа необходимо руководствоваться следующим:

- высокой проникающей способностью газа через грунт;
- нетоксичностью газа в концентрациях, используемых для обнаружения;
- химической неактивностью;
- отсутствием такого трассирующего газа в атмосфере;

- высоким коэффициентом поглощения в инфракрасной области спектра.

Всем этим требованиям удовлетворяет закись азота.

Способы обнаружения утечек сводятся к анализу проб воздуха над поверхностью резервуара.

Достоинства метода:

- высокая чувствительность к величине незначительных утечек;
- применим независимо от конструкции, диаметра резервуаров.

Недостатки метода:

- высокая трудоемкость технологии контроля мест утечек;
- зависимость от климатических и погодных условий;
- небезопасен для обслуживающего персонала при высоких концентрациях тассирующего газа, который является токсичным.

Имеет ограниченное применение как за рубежом, так и в нашей стране из-за высокой трудоемкости технологии контроля.

Газоанализаторы можно классифицировать на несколько типов в зависимости от выполняемых задач – это газоанализаторы горения, газоанализаторы для определения параметров рабочей зоны, газоанализаторы для контроля технологических процессов и выбросов, газоанализаторы для очистки и анализа воды и т.п., также они делятся по конструктивному исполнению на портативные, переносные и стационарные, по количеству измеряемых компонентов (может быть измерение какого-то одного вещества или нескольких), по количеству каналов измерения (одноканальные и многоканальные), по функциональным возможностям (индикаторы, сигнализаторы, газоанализаторы).

Газовые анализаторы горения предназначены для наладки и контроля котлов, печей, газовых турбин, горелок и других топливосжигающих установок. Позволяют также проводить мониторинг выбросов углеводородов, оксидов углерода, азота, серы.

Газоанализаторы (газосигнализаторы, детекторы газов) для контроля параметров воздуха рабочей зоны. Отслеживают наличие опасных газов и паров в рабочей зоне, в помещении, шахтах, колодцах, коллекторах.

Газоанализаторы стационарные предназначены для контроля состава газа при технологических измерениях и мониторинге выбросов в металлургии, энергетике, нефтехимии, цементной промышленности. Газоанализаторы измеряют содержание кислорода, оксидов азота и серы, фреона, водорода, метана и других веществ.

Классификация по функциональным возможностям.

1. Индикаторы – это приборы, которые дают качественную оценку газовой смеси по наличию контролируемого компонента (по принципу "много – мало"). Как правило, отображают информацию посредством ли-

нейки из нескольких точечных индикаторов. Горят все индикаторы – компонента много, горит один – мало. Сюда же можно отнести и течеискатели. При помощи течеискателей, снабженных зондом или пробоотборником, можно локализовать место утечки из трубопровода, например, газа-хладагента.

2. Сигнализаторы также дают весьма приблизительную оценку концентрации контролируемого компонента, но при этом имеют один или несколько порогов сигнализации. При достижении концентрацией порогового значения срабатывают элементы сигнализации (оптические индикаторы, звуковые устройства, коммутируются контакты реле).

3. Вершина эволюции приборов газового анализа – это непосредственно газоанализаторы, являющиеся многофункциональными приборами.

Классификация по конструктивному исполнению. Как и большинство контрольно-измерительных приборов, приборы газового анализа могут иметь разные массогабаритные показатели и режимы работы. Тяжёлые и громоздкие газоанализаторы, предназначенные, как правило, для длительной непрерывной работы, являются стационарными. Менее габаритные изделия, которые могут быть без особого труда перемещены с одного объекта на другой и достаточно просто запущены в работу - переносные. Совсем маленькие и легкие - портативные.

Классификация по количеству измеряемых компонентов. Газоанализаторы могут быть сконструированы для анализа сразу нескольких компонентов. Причем анализ может производиться как одновременно по всем компонентам, так и поочередно, в зависимости от конструктивных особенностей прибора.

Классификация по количеству каналов измерения. Приборы газового анализа могут быть как одноканальными (один датчик или одна точка отбора пробы), так и многоканальными. Как правило, количество каналов измерения на один прибор бывает от 1 до 16. Измеряемые компоненты для разных каналов могут быть как одинаковыми, так и различными, в произвольном наборе. Для газоанализаторов с датчиком проточного типа (термокондуктометрические, термоманнитные, оптико-абсорбционные) задача многоточечного контроля решается при помощи специальных вспомогательных устройств - газовых распределителей, которые обеспечивают поочередную подачу пробы к датчику из нескольких точек отбора.

Классификация по назначению. К сожалению, невозможно создать один универсальный газоанализатор, с помощью которого можно бы было решать все задачи газового анализа. Контроль разных газов, в разных диапазонах концентраций производится с использованием различных методов и способов измерения. Поэтому конструируются и выпускаются приборы для решения конкретных задач измерения. Основные такие задачи: кон-

троль атмосферы рабочей зоны (безопасность), контроль промышленных выбросов (экология), контроль технологических процессов (технология), контроль загрязнения атмосферы жилой зоны (экология), контроль выхлопных газов автомобилей (экология и технология), контроль выдыхаемого человеком воздуха (алкоголь) и т.п. Отдельно можно назвать контроль газов в воде и других жидкостях.

Сравнительный анализ, проведённый в данной статье показывает, каких недостатков лишены методы индикации взрывоопасных газов и паров жидких углеводородов в почвах.

Предложенный материал поможет специалистам быстрее сориентироваться в непростом мире газового анализа.

Литература

1. Блинов И.Г., Герасимов В.В., Кошак А.А. Перспективные методы сокращения потерь нефтепродуктов от испарения в резервуарах. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2007. – 180 с.
2. Кошак А.А., Блинов И.Г., Новоселов В.Ф. Системы улавливания легких фракций нефти и нефтепродуктов из резервуаров: Учебное пособие. – Уфа, 2007.
3. Агапов А.М., Вуколов В.К., Пашинин В.А., Пушкин И.А., Семин А.А. Технология экспресс-обнаружения урансодержащих альфа-загрязнителей // Технологии гражданской безопасности. - М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), №4, 2007. – 85 с.
4. Валуев Н.П., Мойш Ю.В., Никоненков Н.В. Способ радиационного контроля материалов и изделий в транспортных средствах и устройство для его осуществления. Патент РФ №2142145 // Бюллетень "Изобретения, товарные знаки и промышленные образцы", №33, 1999.
5. Валуев Н.П., Суханов В.Е. Современные высокочувствительные приборы радиационного мониторинга транспортных потоков // Сборник научных трудов "Производство. Технология. Экология.", №10, Том 1. - М., 2007.
6. Шатров М.Г., Камфер Г.М. Газоанализаторы в нефтехимической промышленности. – М.: Недра, 2006. – 206 с.
7. Павленко В.А., Газоанализаторы. - М.: Нефтяник, 2005. – 195 с.
8. Бражников В.В., Дифференциальные детекторы для газовой хроматографии. - М.: Прибор, 2004. – 159 с.
9. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств. – М.: Химик, 2007. – 197 с.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 17 ноября 2009 г.