УДК 504.064:543

ТЕЧЕИСКАТЕЛЬ ЖИДКИХ ТОПЛИВ НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОСЕНСОРА

–––––––

THE LEAK DETECTOR OF LIQUID FUELS ON THE BASE OF PIEZOSENSOR

Кочетова Жанна Юрьевна
кандидат химических наук,
доцент кафедры физики и химии,
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил
Военно-воздушная академия
имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина

Кучменко Татьяна Анатольевна
доктор химических наук, профессор РАН,
заведующий кафедрой физической и аналитической химии,
Воронежский государственный университет
инженерных технологий

Тимошинов Олег Владиславович
студент,
Воронежский государственный
технический университет
zk_vva@mail.ru

Аннотация. В работе представлен аналитический обзор современных течеискателей нефтепродуктов. Предложен принципиально новый течеискатель топлив на основе пьезосенсора. Он отличается от существующих быстродействием, надежностью, миниатюрностью, ресурсо- и энергоэкономичностью. Течеискатель оснащен сигнальным устройством; может быть включен в систему обнаружения утечек топлив (керосинов, бензинов, дизельных топлив, биотоплив и др.); позволяет оценивать уровень загрязнения грунтов углеводородами нефтяного происхождения на разных срезах в полевых условиях.

Ключевые слова: течеискатель, нефтяные топлива, пьезосенсор, сигнализатор.

Kochetova Zhanna Yurevna
Candidate of chemical science,
Associate professor
of physics and chemistry department,
Military educational scientific center
of the Air Force
Military and air academy name of the prof.
of N.E. of Zhukovsky and Yu.A. Gagarin

Kuchmenko Tatyana Anatolyevna
Doctor of chemical science, Professor of RAS,
Manager of physical
and analytical chemistry department,
Voronezh state university
engineering technologies

Timoshinov Oleg Vladislavovich
Student,
Voronezh state technical university
zk_vva@mail.ru

Annotation. In this paper presented an analytical review of leak detectors of petroleum products. We are proposed a fundamentally new leak detector of fuels on the base of piezosensor. There are some differences from existing detectors such as: operation speed, reliability, diminutiveness, resource and energy efficient. The leak detector is equipped by a warning device; it may be includes in the leak detection system of fuels (kerosene, gasoline, diesel fuels, biofuels, etc.); it allows to measure the level of contamination of grounds by hydrocarbons of petroleum origin in the different layers of soils in the field conditions.

Keywords: leak detector, fuel oil, piezosensor, warning device.

Проблема экспрессного обнаружения утечек нефтепродуктов (НП) остается одной из актуальных в экологическом анализе. Существует около 30 различных методов обнаружения утечек НП при их производстве, транспортировании, хранении, использовании, основанных на физических и физико-химических явлениях. Подробнее с классификациями этих методов можно ознакомиться в трудах Ожерельева Д.А. [1], Мишкина Г.Б. [2].

В настоящее время для поиска мест утечек НП и оконтуривания по площади и по вертикали в основном используют дорогостоящие и громоздкие методы (лабораторно-полевой и ландшафтно-геологический), требующие буровых работ [3]. Большое распространение также имеют спектрометрические методы, в том числе с применением концентратомеров («ОСМА-350», «Колион-1В» и др.).

Существует метод подповерхностного зондирования грунтов, технология которого основана на использовании георадара подповерхностного зондирования (GPR). Изначально технология была призвана решать геологические, гидрогеологические и инженерно-геологические задачи [4, 5]. Для оконтуривания «линз» НП он был применен позже, в том числе А. Долгим [6], им же предложен программный комплекс автоматического профилирования и анализа георадиолокационных данных [7]. GPR-способ дает возможность существенно сократить затраты на обустройство минимально необходимого количества скважин и значительно повысить достоверность информации о зоне загрязнения. Идея его применения для изучения зон загрязнений грунтов НП основана на том факте, что на шкале электрофизических параметров абсолютного большинства природных сред жидкие НП (диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 2$) и вода ($\varepsilon = 81$) занимают противоположные места. Это означает, что малейшее замещение воды жидкими НП должно приводить к существенному изменению параметров GPR сигнала. Прежде всего, это касается отраженного сигнала от уровня грунтовых вод или от границ раздела «чистый грунт / загрязненный грунт».

Наиболее перспективным методом поиска утечек считается лазерный газоаналитический, основанный на поглощении углеводородсодержащими газами (группы CH и CH_2) энергии источника ИК-излучения с длиной волны 3,39 мкм. Углеводородные легкие фракции благодаря высокой проницаемости частиц грунтов выходят на поверхность и образуют газовое облако над местом утечки. На основе лазерного газоаналитического метода разработаны переносные и транспортируемые на автомобилях приборы для обнаружения подземных «линз». В России используются лазерные газоаналитические автолаборатории «Искатель-1» и оборудование английских фирм «International Reseach» и «Development Ltd. and International Gas Detector» на основе гелий-неонового лазера [8]. Лучшим прибором на сегодняшний день считается газоанализатор непрерывного действия «LaserGasTM II Single Path» [9]. Прибор характеризуется высокой чувствительностью (до $20 \cdot 10^{-4}$ % об. по метану); быстродействием (время срабатывания 5–15 с); высокой точностью обнаружения мест утечек; отсутствием стадий пробоотбора и возможностью бесконтактной диагностики (дальность измерений до 500 м); работой в жестких условиях (давление до 20 бар, температура до 1500 ºС).

Распространен также метод трассирующих газов, основанный на поглощении в ИК-области спектра световой радиации трассирующим газом, выходящим на поверхность грунта в месте сквозного повреждения стенки резервуара [10]. Этим методом обнаруживают незначительные концентрации газов при выполнении обязательных условий: высокая проникающая способность газов через грунт; химическая неактивность газов; отсутствие трассирующего газа в атмосфере; высокий коэффициент поглощения в ИК-области спектра. Существенно на показания прибора влияют и климатические условия, поэтому на практике до недавнего времени его использовали редко. Возможности трассовых анализаторов расширила оптимизация оптической системы трассового измерителя, системы регистрации и обработки сигналов, высокие выходные характеристики, дополнительный ресурс непрерывных CO_2-лазеров.

В настоящее время возможно проведение месячных циклов измерений усредненного содержания C_2H_4 на приземной протяженной трассе в реальном времени (в условиях «замороженной» атмосферы) с пороговой чувствительностью 1 ppb. Использование в качестве отражателей TEA CO_2-лазеров с выходной энергией 4 Дж в импульсах излучения длительностью 60–120 нс и топографических целей, удаленных на 10–12 км, позволило проводить измерения с пороговой чувствительностью 20 ppb. В зависимости от метеоусловий дистанционные измерения C_2H_4 стали возможными с пространственным разрешением от 50 до 450 м до дальностей 2,5–3 км и пороговой чувствительностью 50 ppb [11].

Ограничение широкого применения перечисленных течеискателей в экологическом мониторинге окружающей среды обусловлено во многом их высокой стоимостью, громоздкостью, во многих случаях – зависимостью результатов от климатических условий, типов детектируемых топлив, вибраций, радиационного загрязнения, сложностью проведения измерений, интерпретации результатов анализа и обслуживания устройств [12]. Поэтому разработка экономичных, быстродействующих и мобильных устройств остается актуальной задачей эколого-аналитического контроля.

В последнее время на основе нанотехнологий разрабатываются одно- или многосенсорные системы типа «электронный нос» для экспресс-анализа состояния окружающей среды [13]. Специалисты считают, что наносенсоры найдут широкое применение в качестве первичных измерительных преобразователей в комплексной системе экомониторинга благодаря высокой чувствительности (10–10 г/см^3 и выше), селективности и малым размерам [14].

Цель исследований – разработка течеискателя жидких топлив на основе пьезосенсора, характеризующегося миниатюрностью, экономичностью, быстродействием, высокой чувствительностью к нефтеуглеводородам; позволяющего в полевых условиях без стадий пробоотбора и пробоподготовки в течение нескольких минут оценить уровень загрязнения грунтов топливами на разных срезах; определить источник и своевременно сигнализировать об утечках НП.

Предлагаемый течеискатель работает по принципу пьезокварцевого микровзвешивания. Метод основан на зависимости собственной частоты колебаний (F_0, МГц), распространяемых в пластине пьезокварца, от массы вещества, нанесенного на поверхность боковых граней пластины. Для кварцевой пластины АТ-среза изменение частоты колебаний (ΔF) связано с изменением на ней массы вещества (Δm) зависимостью:

$$\Delta m = \Delta F \cdot S / 2{,}3 \cdot 106 \cdot F_0^2 \cdot K, \qquad (1)$$

где S – площадь электрода резонатора – тензочувствительной области пластины, см^2;
K – коэффициент, учитывающий характер распространения массы вещества на пластине пьезокварца.

Массовая чувствительность $\Delta m / \Delta F$ тем выше, чем выше собственная частота колебаний пьезокварца F_0 и меньше площадь электрода S. Для практических целей применяют пьезокварцы с $F_0 \leq 15$ МГц, так как увеличение собственной частоты колебаний ведет к снижению стабильности резонатора и росту погрешности измерений. Чувствительность метода пьезокварцевого микровзвешивания достигает 10^{-9}–10^{-10} г.

Для повышения чувствительности и селективности взвешивания летучих компонентов на электроды резонатора (или всю кварцевую платину) наносят тонкие покрытия-активаторы. Часто используют стандартные газохроматографические фазы, специфические реагенты, природные полимеры [15].

Для решения практических задач покрытия-активаторы, их массу и способ нанесения выбирают экспериментально с учетом устойчивости к парам определяемых соединений (возможности проведения многократных циклов «сорбция – десорбция» без изменения свойств покрытий), сорбционной емкости (ограничивает верхний предел измеряемых концентраций соединений), сорбционного сродства к исследуемым и мешающим компонентам и др.

Для детектирования паров нефтяных углеводородов с применением регрессионного анализа выбрано покрытие-активатор резонатора из многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) с массой $m_п$ = 3–5 мкг. На электроды резонатора МУНТ наносили методом ультразвукового суспензирования [16]. Концентрацию паров керосина (C, мг/м^3), самопроизвольно диффундирующих в околосенсорное пространство, контролировали датчиком JP8; относительную влажность и температуру воздуха – термогигрометром ДВТ-03.

Пьезорезонатор с покрытием-активатором электродов (пьезосенсор) закрепляли в держателе анализатора газов с открытым входом (рис. 1). В закрытый корпус анализатора газа включены: генератор возбуждения колебаний пьезосенсора, частотомер, блоки обработки, хранения и отображения информации, блок сигнализации, аккумулятор. Съемная открытая ячейка детектирования анализатора выполнена из нержавеющей стали, герметично крепится к корпусу анализатора, может иметь различный объем (20–800 см^3) в зависимости от решаемой задачи.

Рисунок 1 – Схема течеискателя жидких топлив

Перед каждым измерением без доступа паров нефтепродуктов в ячейку детектирования фиксируют базовую частоту колебаний пьезосенсора $F_{0П}$. Затем открытую ячейку детектирования устанавливают над источником паров НП таким образом, чтобы обеспечить герметичность внутри ячейки, а пары НП свободно диффундировали к электродам пьезосенсора. В результате сорбции летучих углеводородов на покрытии МУНТ частота колебаний пьезосенсора F уменьшается пропорционально концентрации НП в околосенсорном пространстве. Измерения проводят до установления равновесия в системе «грунт – воздух», о чем свидетельствует изменение частоты колебаний пьезосенсора $F_{равн}$ Δ (±5) Гц/мин. Аналитический сигнал (ΔF, Гц) – изменение частоты колебаний пьезосенсора в результате сорбции летучих углеводородов на МУНТ – рассчитывали по формуле:

$$\Delta F = F_{0П} - F_{равн}. \quad (2)$$

Аналитический сигнал сорбции паров разлитых топлив и время установления равновесия в системе «грунт – воздух» ($\tau_{равн}$, с) во многом определяются природой самих НП и грунтов, температурой и влажностью среды. Предварительно в лабораторных условиях установлены закономерности сорбции паров бензина, керосина, дизельного топлива из разных типов грунтов (мелко- и среднезернистых песков, суглинка, чернозема, урбанизированного грунта): построены изотермы, изостеры сорбции; установлены температурные коэффициенты K_t, учитывающие диффузию паров топлив из грунтов при различных температурах.

Влажность и химический состав почвы учитывали измерением фонового значения интенсивности «запаха» ($\Delta F_{фон}$, Гц) незагрязненной керосином почвы перед проведением каждого анализа.

Течеискатель апробирован в ФГБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии № 97 ФМБА России». В ходе натурного эксперимента изучена миграция керосина марки ТС-1 в черноземе. Верхний травянистый слой высотой ~4 см на опытной площадке снимали, измеряли «запах» почвы в загрязненном секторе с шагом 5 см от предполагаемой точки утечки (L, см) по горизонтали и вертикали в первые 2 минуты, 2, 6, 12 часов и далее через каждые 12 часов на протяжении 10 суток.

Калибровку течеискателя проводили предварительно в лабораторных условиях по стандартным пробам чернозема. Для приготовления стандартных проб использовали чистый грунт с опытной площадки, отобранный на глубине 1–20 см и помещенный в открытый цилиндрический сосуд с диаметром, равным диаметру открытой ячейки детектирования (8 см). К 0,2 кг каждой тщательно перемешанной пробы грунта добавляли 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10; 20; 50; 75 мг керосина. Зависимость аналитического сигнала от концентрации керосина в грунте (C, мг/кг) аппроксимируется линейной зависимостью:

$$\Delta F = 1{,}56 \cdot C - 1{,}59 \ (R^2 = 0{,}9902). \qquad (3)$$

Время достижения равновесия в изученной системе экспоненциально возрастает с уменьшением концентрации керосина в исследуемом образце грунта и не превышает 240 с при содержании керосина в грунте на уровне 5 мг/кг.

По стандартным методикам [17] определяли пористость (P, %) и плотность (d, г/см^3) чернозема на разной глубине (h, см). Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Плотность и объемная пористость чернозема

h, см	0–2	2–5	5–10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–35
d, г/см^3	1,90	1,95	2,21	2,41	2,45	2,46	2,48	2,49
P, %	71,3	67,7	55,0	50,1	48,4	47,9	46,3	45,1

Температурный коэффициент, учитывающий изменение фонового значения и интенсивность испарения керосина, рассчитан методом интерполяции и равен 7 Гц / ºС. Зависимости распределения концентрации керосина по поверхности грунта в характерные периоды времени представлены на рисунке 2.

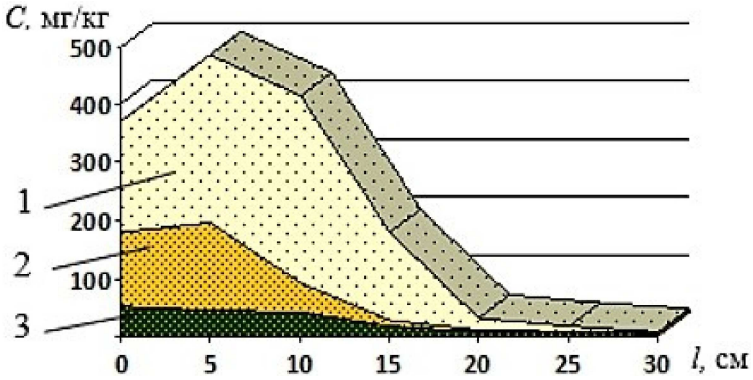

Рисунок 2 – Распределение керосина по поверхности чернозема через 2 мин. (1), 24 часа (2), 10 сут. (3) от начала утечки

Визуально установлено, что через 16 с горизонтальный радиус распространения составил 150 мм, т.е. скорость горизонтальной фильтрации в поверхностном слое $U_г$ = 9 мм/с. Через 1 мин после утечки максимальная концентрация керосина измерена на расстоянии 10 см от начала сектора. В последующие моменты времени через 2, 6, 12, 24 часов, 2–10 суток пик концентрирования керосина на поверхности почвы смещается к месту утечки (L = 5 см), при этом концентрация уменьшается в 2,2 раза через 1 сутки и в 2,9 раз через 10 суток. С течением времени интенсивность «запаха» керосина нивелируется на поверхности распространения, и через 14 суток после пролива C = 18 ± 2 мг/кг.

Разработанный течеискатель позволяет устанавливать вертикальное распределение керосина. Измерения проводят путем последовательного съема верхних слоев грунта. Установлено, что через 2 мин. после начала эксперимента концентрация керосина максимальна на поверхности грунта и равномерно уменьшается до слоя L = 10 см. В этом слое наблюдается геофизический барьер, и происходит накопление керосина. Скорость вертикальной миграции керосина также составила 9 мм/с. Через 2 часа и в последующие дни измерений максимум концентрации наблюдался в том же слое грунта со скачкообразным ростом плотности и снижением объемной пористости (табл. 2). Через 10 суток концентрация керосина в срезе грунта 10–15 см превышала концентрацию на поверхности грунта в 2,5 раза (рис. 3).

Из рисунка 3 следует, что изученный чернозем представляет собой плоскослоистую среду, где до глубины 10 см наблюдается его максимальная пористость и проницаемость. В следующем слое (10–20 см) пористость и проницаемость снижаются, что приводит к накоплению керосина в верхнем слое грунта. Последующие слои (15–30 см) характеризуются незначительно уменьшающейся проницаемостью, концентрация керосина в них примерно одинакова. На глубине 50 см расположен слой глины, препятствующий дальнейшему проникновению керосина в грунтовые воды.

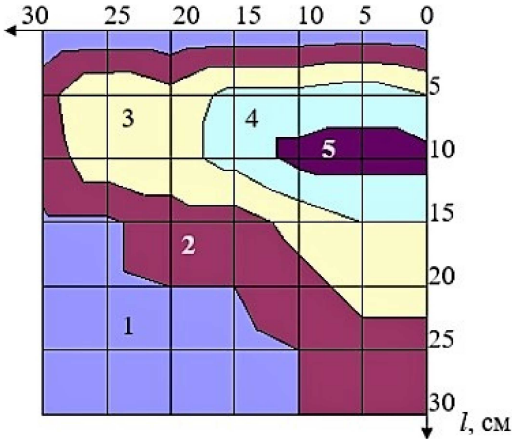

Рисунок 3 – Вертикальное распределение керосина в черноземе через 10 суток после утечки

Таким образом, течеискатель позволяет в полевых условиях без стадий пробоотбора и пробоподготовки определять концентрацию нефтепродуктов не только на поверхности грунтов, но и на вертикальных срезах. По характеру горизонтального распределения нефтепродуктов и их концентрациям на различных срезах возможно установление источника и времени утечки, а также прогнозирование распространения нефтетоплив в грунтах.

Течеискатель возможно использовать при непрерывном мониторинге утечек топлив: в его конструкции предусмотрена сигнальная система с тремя порогами срабатывания; для предотвращения механических повреждений к дну открытой ячейки детектирования присоединяется перфорированная пластина из нержавеющей стали. Сигнализатор устанавливается в местах возможных утечек (на станциях перекачки НП, складах и др.) на расстоянии 5–15 см от особо уязвимых мест (например, стыки трубопроводов, насосы, задвижки).

При проведении натурных испытаний контролировали изменение частоты колебаний пьезосенсора без нагрузки парами нефтепродуктов в ячейке с открытым входом, обусловленное, прежде всего, погодными условиями и динамикой химического состава атмосферы. Установлено, что в течение суток ΔF пьезосенсора в реальных условиях без нагрузки парами керосина может меняться от ±70 до ±280 Гц. Поэтому в анализаторе непрерывного действия во избежание ложных срабатываний целесообразно применять не абсолютный аналитический сигнал, а скорость его изменения ($\Delta F / \Delta\tau$, Гц/с). Результаты испытаний анализатора представлены на рисунке 4.

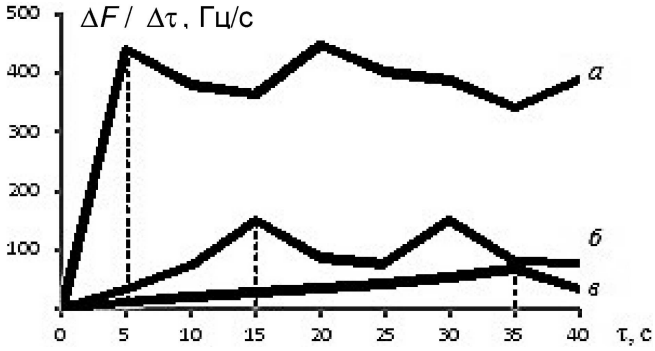

Рисунок 4 – Хроночастотограмма сорбции паров керосина при его содержании в околосенсорном пространстве:
а) 3 ПДК; б) ПДК; в) 1/10 ПДК

Время от момента ввода пробы до появления максимума на хроночастотограмме уменьшается по мере увеличения концентрации паров нефтетоплив в околосенсорном пространстве. Так, для керосина τ = 35 с при детектировании паров с концентрацией 1/10 ПДК; при увеличении концентрации керосина в воздухе до 3 ПДК τ уменьшается в 7 раз. Сигнальное устройство газоанализатора срабатывает только в том случае, если частота колебаний пьезосенсора растет с заданной скоростью (например, 90 Гц/с соответствует содержанию керосина в воздухе 3 ПДК).

Дрейф аналитического сигнала сорбции паров керосина обусловлен высокой чувствительностью метода пьезокварцевого микровзвешивания и особенностями конструкции анализатора с открытым входом: в негерметичной ячейке детектирования не достигается концентрационное равновесие в системе «сорбат – сорбент», а происходит накопительная сорбция и самопроизвольная десорбция паров при незначительном колебании их концентрации в околосенсорном пространстве.

Вне зависимости от того, утечки какого продукта необходимо отслеживать – бензина, керосина, дизельного или биотоплива, течеискатель может предложить подстраиваемые под конкретные нужды пороги срабатывания сигнализации. Быстродействие и высокая чувствительность пьезосенсорного течеискателя позволяет проводить раннюю диагностику – гораздо быстрее, чем типичная система дистанционного управления и сбора данных выдает предупреждение. Для использования разработанного устройства в системах обнаружения утечек планируется оснащение течеискателя цифровыми коммуникациями, обеспечивающими не только локальную, но и удаленную сетевую сигнализацию и диагностику через системы управления зданиями, электронную почту, SMS, Интернет. Экономичность, миниатюрность, простота в обслуживании и доступность течеискателя позволит создать простые и сложные системы с модульной архитектурой для конкретных нужд мониторинга утечек нефтяных топлив.

Литература:

1. Ожерельев Д.А. К вопросу о методах обнаружения утечек и несанкционированных врезок на магистральных нефтепроводах // Науки о земле. – 2015. – № 1. – С. 85–94.
2. Мишкин Г.Б. Классификация систем обнаружения утечек на магистральных трубопроводах нефти, газа и нефтепродуктов // Молодой учёный. – 2010. – № 11 (22). – Т. I. – С. 56–58.
3. Чернова О.С. Основы геологии нефти и газа : учеб. пособ. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 372 с.
4. Вопросы подповерхностной радиолокации : монография / под ред. А.Ю. Гринева. – М. : Радиотехника, 2005. – 416 с.
5. Ground Penetrating Radar : Theory and Applications / edited by Harry M. Jol. Elsevier. – Amsterdam, 2009.
6. Долгий А., Долгий Ан., Золотарев В. Опыт использования подповерхностного радиолокационного зондирования для оценки параметров загрязнения грунтов нефтепродуктами : доклад на 4-ой конф. «Георадар-2004». – М., 2004. – URL : http://www.lrt.lv/~diag/rus/zond1.htm (дата обращения: 12.12.2016).
7. Долгий А.И., Хатламаджиян А.Е., Ковдус В.В. Программный комплекс автоматического профилирования и анализа георадиолокационных данных «GEORAILWAY+» // 4-я межд. науч.-практ. конф. «Инженерная и рудная геофизика – 2008». – Геленджик: EAGE, 2008. – С. 22–26.
8. Промышленная безопасность газопроводов и газовых сетей / под ред. Р.П. Чапцова. – Челябинск, УФА : Изд. ЦНТИ, 2004. – 294 с.
9. Описание лазерного газоанализатора LaserGasTM II Single Path : технические характкеристики. – URL : http://www.rtsafrica.co.za/Documents/neo-monitors.pdf (дата обращения 25.06.2016).
10. Андреев Ю.М., Балдин М.Н., Грузинов В.М. Методы экспрессного анализа рассеянных углеводородов в атмосфере, воде и почве // Оптика атмосферы и океана. – 2009. – Т. 22. – № 1. – С. 74–81.
11. Андреев Ю.М., Гейко П.П., Самохвалов И.В. Зондирование газовых загрязнений атмосферы методом дифференциального поглощения в ИК-области спектра // Оптика атмосферы и океана. – 2003. – Т. 16. – № 9. – С. 783–790.
12. Кочетова Ж.Ю. Экомониторинг нефти и нефтепродуктов в объектах окружающей среды : монография. – Воронеж : ВУНЦ ВВС «ВВА», 2014. – 204 с.
13. Скутин Е.Д. Мультисенсорные газоаналитические системы «электронный нос». Разработка, применение, перспективы : монография. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2009. – 227 с.
14. Малов Б.В. Пьезорезонансные датчики : монография. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 272 с.
15. Кочетова Ж.Ю. Определение легколетучих органических соединений и их смесей в газовой фазе с применением пьезосорбционных резонаторов на основе синтетических, природных и смешанных полимеров : дис. … канд. хим. наук. – Саратов, 2002. – 154 с.
16. Кучменко Т.А. Инновационные решения в аналитическом контроле: монография. – Воронеж, 2009. – 252 с.
17. Руководство к практическим занятиям по методам санитарно-гигиенических исследований / под ред. Л.Г. Подуновой. – М. : Медицина, 1990. – 304 с.

References:

1. Ozherelyev D.A. To a question of methods of detection of leaks and unauthorized inserts on trunk oil pipelines // Sciences about the earth. – 2015. – No. 1. – P. 85–94.
2. Mishkin G.B. Classification of systems of detection of leaks on trunk pipelines of oil, gas and oil products // the Young scientist. – 2010. – No. 11 (22). – T. I. – P. 56–58.
3. Chernova O.S. Fundamentals of geology of oil and gas: studies manual. – Tomsk : Tomsk polytechnical university publishing house., 2008. – 372 p.
4. Questions of subsurface radiolocation: the monograph / under the editorship of A.Yu. Grinev. – M. : Radio engineering, 2005. – 416 p.
5. Ground Penetrating Radar : Theory and Applications/edited by Harry M. Jol. Elsevier. – Amsterdam, 2009.
6. Dolgy A., Dolgy An., Zolotarev V. Experience of use of subsurface radar sounding for an assessment of parameters of pollution of soil oil products : the report on the 4th konference «Georadar-2004». – M., 2004. – URL : http://www.lrt.lv/~diag/rus/zond1.htm (date of the address: 12.12.2016).
7. Dolgy A.I., Hatlamadzhiyan A.E., Kovdus V.V. Program complex of automatic profiling and analysis of the georadar data «GEORAILWAY+» // 4 International scientific and research conference «Engineering and ore geophysics – 2008». – Gelendzhik : EAGE, 2008. – P. 22–26.
8. Industrial safety of gas conduits and gas networks / under the editorship of R.P. Chaptsov. – Chelyabinsk, UFA : Prod. TsNTI, 2004. – 294 p.
9. Description of a laser gas analyzer of LaserGasTM II Single Path : technical characteristics. – URL :

http://www.rtsafrica.co.za/Documents/neo-monitors.pdf (date of the address 25.06.2016).
10. Andreyev Yu.M., Baldin M.N., Gruzinov V.M. Methods of the express analysis of scattered hydrocarbons in the atmosphere, water and the soil // Optics of the atmosphere and the ocean. – 2009. – T. 22. – No. 1. – P. 74–81.
11. Andreyev Yu.M., Geyko P.P., Samokhvalov I.V. Sounding of gas pollution of the atmosphere by method of differential absorption in the IK-area of a range // Optics of the atmosphere and the ocean. – 2003. – T. 16. – No. 9. – P. 783–790.
12. Kochetova Zh.Yu. Ecomonitoring of oil and oil products in environment objects : monograph. – Voronezh : VUNTs Air Force «VVA», 2014. – 204 p.
13. Skutin E.D. Multisensor gas-analytical systems «electronic nose». Development, application, perspectives : monograph. – Omsk : Publishing house of OmGTU, 2009. – 227 p.
14. Malov B.V. Pyezoresonant sensors : monograph. – M. : Energoatomizdat, 1989. – 272 p.
15. Kochetova Zh.Yu. Determination of easily volatile organic compounds and their compounds in a gas phase using the pyezosorption of resonators on the basis of synthetic, natural and mixed polymers : yew. … cand. chem. sciences. – Saratov, 2002. – 154 p.
16. Kuchmenko T.A. Innovative solutions in analytical monitoring : monograph. – Voronezh, 2009. – 252 p.
17. A manual to a practical training by methods of sanitary and hygienic researches / under the editorship of L.G. Podunova. – M. : Medicine, 1990. – 304 p.