

УДК 543.5; 543.26

© А. И. Белозерцев, О. В. Черемисина, С. З. Эль-Салим, В. В. Манойлов

РАЗВЕРНУТЫЕ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРИБОРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ КОМПОНЕНТ РАКЕТНЫХ ТОПЛИВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ. (ОБЗОР)

В данной работе проведен краткий анализ аналитических средств контроля паров компонент ракетных топлив (КРТ) в окружающей среде. Предложен метод, позволяющий проводить оперативный контроль окружающей среды по обнаружению паров КРТ в соответствии с требованиями современного газового анализа. Показан вариант формирования газоаналитического комплекса на аэромобильной, подвижной и стационарной основах для повышения достоверности контроля и повышения качества химической безопасности специальных объектов.

Кл. сл.: компоненты ракетных топлив, газоаналитические приборные комплексы, охрана окружающей среды, газочувствительные полупроводниковые датчики, алгоритмы обработки данных газового анализа

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших областей применения гидразинов и их производных является ракетно-космическая деятельность, в которой данные соединения используются как компоненты высокоэффективного ракетного топлива [1, 2]. Являясь чрезвычайно токсичным веществом первого класса опасности и обладая способностью накапливаться в природных экосистемах, а также давать при разложении другие высокотоксичные и канцерогенные продукты — гидразин, метилгидразин, нитрозодиметиламин, тетраметилтетразен, а также несимметричный диметилгидразин (НДМГ), — НДМГ рассматривается как один из основных факторов, обуславливающих экологическую опасность ракетно-космической деятельности [3, с. 187–190], [4, с. 68–70], [5], [6, с. 162–165].

Кроме районов падения проблема воздействия на окружающую среду ракетного топлива характерна также для стартовых комплексов космодромов и прилегающих территорий вследствие возможности утечек и проливов топлива в процессе заправки ракет-носителей. Исключительно важным аспектом данной проблемы является возможность возникновения экологических катастроф и чрезвычайных ситуаций вследствие техногенных аварий в процессе предстартовой подготовки и запуска ракет-носителей, когда возможен выброс в окружающую среду больших объемов сверхтоксичного топлива.

В связи с этим в настоящее время особую актуальность приобрели вопросы оценки воздействия на окружающую среду ракетно-космической дея-

тельности и, как следствие, мониторинга содержания в природных объектах несимметричного диметилгидразина и продуктов его разложения. Федеральная целевая программа "Развитие российских космодромов" предусматривает нормирование допустимого воздействия объектов космодромов на окружающую среду, обследование мест падения отработанных частей ракет-носителей, инвентаризацию источников загрязнения, взятие и анализ проб загрязняющих веществ [7, с. 86–87].

К недостаткам НДМГ как ракетного топлива относятся его чрезвычайная токсичность, канцерогенные и мутагенные свойства, способность к трансформации и накоплению в различных средах. Наибольшая опасность возникает при попадании НДМГ в почву, поскольку почва является той средой, в которой возможно накопление токсикантов в течение длительного времени, а также их превращение в более опасные продукты.

КРАТКИЙ ОБЗОР АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ

Основной проблемой при оценке воздействия НДМГ на атмосферу является идентификация спектра веществ — производных НДМГ. На сегодняшний день не существует приемлемых, достаточно надежных и недорогих экспрессных методов количественной оценки НДМГ и его метаболитов в атмосфере, а все существующие методы дорогостоящи и недоступны для применения в широких масштабах и полевых условиях [8, с. 57].

В случае наземного загрязнения гидразином возникают затруднения, заключающиеся прежде всего в низкой чувствительности доступных методов определения НДМГ и продуктов его распада.

Например, нижний предел обнаружения НДМГ в почве фотоколориметрическим методом составляет 0.1 мг/л почвенного экстракта.

Применяется достаточно много методов качественного и количественного определения НДМГ для самых различных объектов [4]. К таким методам относятся следующие.

1) Объемные методы (окислительно-восстановительное и потенциометрическое титрование).

2) Фотометрические методы с применением ароматических альдегидов в качестве индикаторов.

3) Масс-спектрометрические методы (типичный масс-спектр НДМГ (гептила) представлен в Приложении на рис. П1). На приведенном спектре отмечены основные ионы, характерные для масс-спектра: $(\text{CH}_3)_2\text{NNH}_2^+$ — 60 а.е.м.; $(\text{CH}_3)_2\text{NNH}^+$ — 59 а.е.м.; $(\text{CH}_3)_2\text{NH}^+$ — 45 а.е.м.; $(\text{CH}_2)_2\text{N}^+$ — 42 а.е.м.

4) Инфракрасная спектроскопия (ИК-спектр НДМГ представлен в Приложении на рис. П2).

5) Жидкостная хроматография (типичная хроматограмма представлена в Приложении на рис. П3).

6) ЯМР- и ПМР-спектроскопии. Спектр ПМР НДМГ (Приложение, рис. П4) имеет значения химического сдвига $\delta = 2.34; 2.97$. Спектр ЯМР С13 НДМГ (там же, рис. П5) имеет значение химического сдвига $\delta = 51.27$.

Однако вышеуказанным методам присущ ряд существенных недостатков:

- низкие точность и воспроизводимость анализа;
- необходимы особые условия проведения анализа;
- применение дополнительных реагентов с огромным избытком (500–2000-кратным) по отношению к определяемому веществу (в случае объемных и фотометрических методов);
- низкая селективность;
- сложное аппаратное оформление;
- длительное время анализа;
- высокие требования к квалификации аналитика или оператора.

Более чувствительными методами являются инверсионная вольтамперометрия и высокоэффективная жидкостная хроматография. Однако данные методы требуют длительной и сложной подготовки проб и неприемлемы для использования в полевых условиях.

Существующие методики определения концентрации НДМГ являются трудоемкими, недостаточно точными, требуют применения большого количества токсичных реагентов [9, с. 53–60].

Непрерывный контроль химической обстановки предполагает наличие не только индивидуальных приборов, но и развитой системы, включающей как стационарные средства обнаружения, так и мобильные устройства, позволяющие оперативно реагировать на изменение состояния окружающего воздуха в различных ситуациях.

Газосигнализаторы, стоящие сегодня на снабжении у специальных подразделений, обеспечивающих инфраструктуру космодромов, пригодны для качественного обнаружения паров КРТ, имеют низкую селективность, ограниченное время непрерывной работы и расхождения с требованиями современного газового анализа.

Современные зарубежные газосигнализаторы при своем конструктивном соответствии современным требованиям обладают недостаточной чувствительностью, низким быстродействием и практически полным отсутствием селективности и специфичности.

ВОЗМОЖНЫЕ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Общие положения

Проблема обнаружения, идентификации и количественного расчета паров КРТ обусловлена их высокой реакционной способностью и принципиально различными химическими свойствами. Так, например, тетраоксид азота, или амил, является сильным окислителем, в то же время несимметричный диметилгидразин, или гептил, — восстановителем.

Для решения задачи по определению примесей паров КРТ в воздухе предложен адсорбционно-кинетический метод обнаружения, идентификации и количественного определения с помощью полупроводниковых газочувствительных элементов, изготовленных на основе диоксида олова, обогащенного сурьмой и легированного металлами-катализаторами Pd, Mn и Ag, и включенных в многоканальную мультисенсорную систему.

Газочувствительные датчики

Полупроводниковые датчики, применяемые для определения паров КРТ, состоят из газочувствительного слоя, подложки-диэлектрика и нагревательного элемента. Электрические соединения осуществляются через контактные площадки, изготовленные из золотосодержащей проводящей пасты, соединения выполнены Au-проводом диаметром 37 мкм и длиной 2–3 мм.

Газочувствительные элементы — полупроводниковые трансдьюсеры, известны как первичные

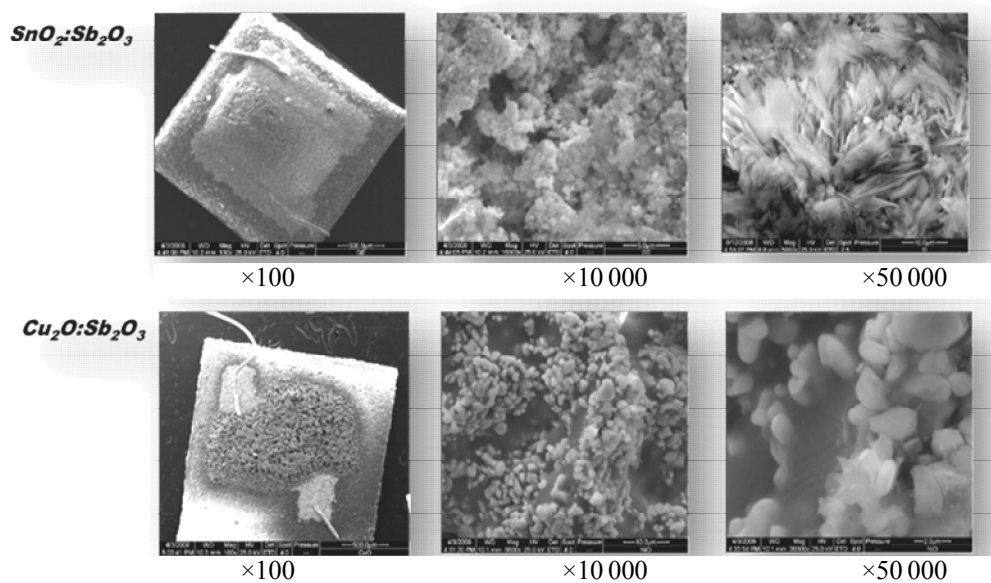


Рис. 1. Электронные микроскопические изображения поверхности полупроводниковых газочувствительных сенсоров

преобразователи аналитического контроля более 30 лет. В качестве чувствительных слоев используются нанодисперсные оксиды металлов (SnO_2 , ZnO , NiO , Cu_2O , In_2O_3 и др.) с ярко выраженными полупроводниковыми свойствами, обогащенные электроуправляющими примесями и легированные катализаторами — оксидами металлов Pb , Pd , Ag , Co , Mn и др. Развитая структура поверхности газочувствительного слоя достигается технологическими приемами и составляет $120\text{--}140\text{ м}^2/\text{г}$. Растровые изображения поверхности газочувствительного слоя приведены на рис. 1.

Принцип действия полупроводниковых адсорбционных датчиков основан на измерении изменения электропроводности газочувствительного слоя при адсорбции на его поверхность молекул из газовой фазы. При адсорбции молекул на поверхность газочувствительного слоя нарушается равновесное значение тока в зоне проводимости и происходит либо увеличение концентраций носителей заряда (в случае хемосорбции газа-донора), либо снижение их концентрации (в случае хемосорбции газа-акцептора). Изменения концентрации носителей определяют аналитический отклик датчика, который зависит от химического состава аналита и его количества — концентрации.

Управление селективностью и чувствительностью газочувствительного слоя достигается введением в состав полупроводника металлов-катализаторов, управляемым нагревом, который

позволяет поддерживать температуру поверхности датчика в диапазоне от 100 до 800 °C с высокой точностью, а также с помощью сформированной мультисенсорной системы, включающей 2^i ($i = 1, 2, 3, \dots, n; n \in N$) аналитических каналов. То есть количество датчиков, составляющих мультисенсорную систему, определяет число независимых координат, по которым можно разложить аналитический сигнал и тем самым повысить селективность обнаружения.

Применение полупроводниковых адсорбционных датчиков позволяет, во-первых, провести миниатюризацию проектируемых газоаналитических приборов, во-вторых, расширить перечень определяемых веществ и, наконец, проводить количественный анализ с удовлетворительной погрешностью (не выше 25 относительных %).

Газочувствительные элементы в полной мере соответствуют решению задачи "3S" и характеризуются высокой чувствительностью (sensitivity), стабильностью работы (stability) и в случае применения мультисенсорной системы — селективностью (selectivity).

В результате проведенных исследований разработана технология изготовления полупроводниковых газочувствительных элементов, которые соответствуют требованиям современного газового анализа. Подобные структуры использованы для создания датчиков резистивного типа с температурным управлением шириной запрещенной зоны.

Технология изготовления включает следующие этапы:

– на диэлектрическую подложку типа ВК-96 или ВК-100 (ситал — одна из структурных форм Al_2O_3) методом трафаретной печати наносятся электрические контакты, нагревательный элемент и газочувствительный слой. Контактные группы и нагревательный элемент формируются из проводящих и резистивных паст. Паста газочувствительного слоя изготавливается из синтезированных модифицированным золь-гель методом оксидов;

– после нанесения функциональных групп проводится спекание каждого слоя при температуре $850\text{ }^\circ\text{C}$;

– каждая подложка разрезается лазером на отдельные элементы — микрочипы, которые устанавливаются на функциональную сборку и фиксируются с помощью термоконтактной сварки. Сборки рассчитаны на установку 4 газочувствительных элементов.

Схемотехнические решения

Совместимость и высокая надежность устройств, интегрируемых в сложную информационную сеть, а также расширение данной сети дополнительными точками контроля оптимально достигается в случае применения приборов, имеющих единую архитектуру построения на уровне схемотехнических решений. Газоанализаторы всех типов по применению выполнены по единой электронной схеме и алгоритму работы. Изменения в алгоритме и конструктивном исполнении определяются назначением прибора, местом его размещения, а также применяемым устройством отбора проб.

Электронная схема газоанализатора включает микропроцессор, который обеспечивает нагрев газочувствительного слоя, измерение и обработку первичной информации, расчеты по заданному алгоритму, передачу информации по интерфейсам RS485, USB, I²C, SPI, RS232, сетям Ethernet, WiFi и радиоканалу. На рис. 2 показаны основная плата газоанализатора и возможные интерфейсные решения.

Алгоритм работы детектора

Параметры измерений детектора выбираются в соответствии с электрофизическими свойствами сенсоров для обеспечения достоверности обнаружения паров целевых веществ и воспроизводимости каждого цикла обнаружения.

Полный алгоритм работы детектора состоит из этапов:

- термодесорбции;
- термопаузы;
- выхода в рабочий режим;
- аналитического определения примеси целевого вещества;
- количественной обработки результатов измерения.

В табл. 1 приведены параметры и описание процессов, проводимых на каждом этапе алгоритма измерений.

Для повышения достоверности измерений, проводимых с помощью мультиканального детектора, после выхода в режим проводится окисление поверхности в течение 20–30 с, т. е. за это время проходит хемосорбция кислорода, определяющая аналитическую структуру газочувствительного слоя при заданной мощности нагрева.

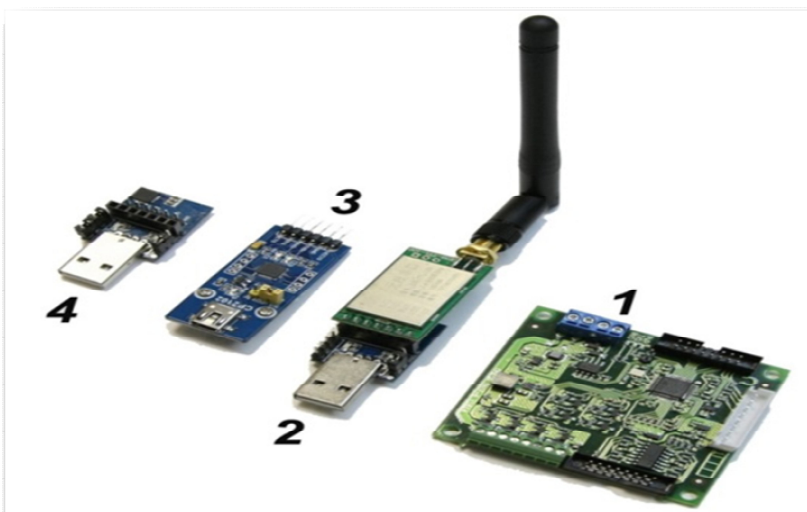


Рис. 2. Схемотехническое решение и интерфейсные решения.

1 — плата анализатора, 2 — сопряжение с оператором по радиоканалу, 3 — сопряжение с ПК по RS485, 4 — интерфейс USB-2.0

Табл. 1. Этапы алгоритма измерений

№ п.п.	Наименование этапа	Длительность этапа, с	Динамические параметры, мВт	Примечания
1	Термодесорбция	20–40	800–1100	Очистка поверхности, подготовка поверхности к проведению измерений
2	Термопауза	10–60	—	Контроль электрофизических характеристик, смещение запрещенной зоны до максимального значения
3	Выход в рабочий режим	10–30	20–600	Оксидирование поверхности, подготовка к хемосорбции. Клапан открыт на подачу воздуха без примесей
4	Аналитическое определение	30, 60	20–600	Проведение хемосорбции, измерение изменения электропроводности. Клапан открыт на подачу примеси целевого вещества
5	Количественная обработка измерений	1–2	—	Расчет кинетических и динамических параметров, расчет концентраций

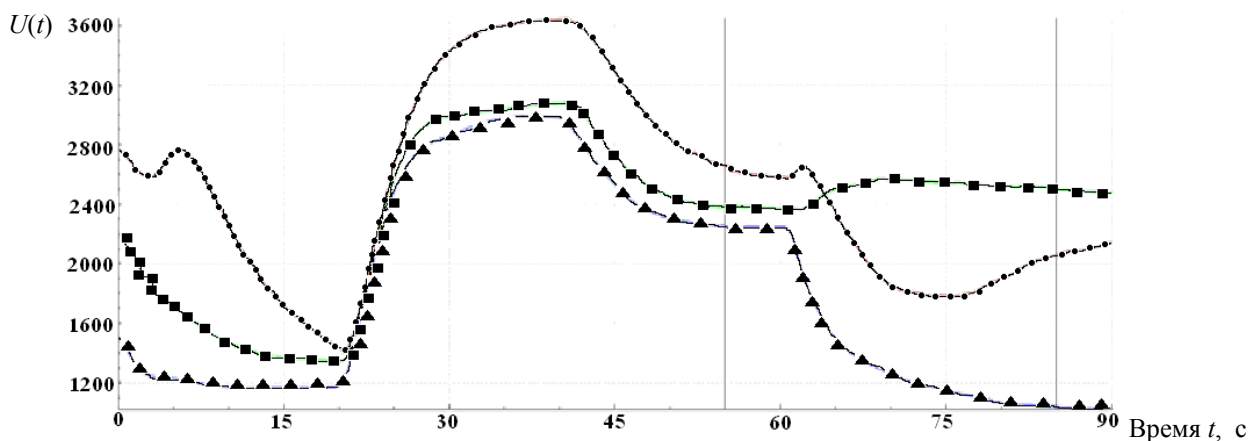


Рис. 3. Изменения падения напряжения в цепи газочувствительного слоя при хемосорбции газов: донора, акцептора и их смеси.

▲ — пары НДМГ, ■ — пары азотного тетраксид (АТ), ● — смесь паров НДМГ и АТ при одинаковой мощности нагрева — 200 мВт

В режиме реального времени контроллер детектора проводит измерение напряжения с фиксированной частотой. Оптимальная частота измерений 8–16 Гц, соответствующая требованиям обработки сигнала спектральными методами — преобразованиями Фурье и вейвлет-трансформации.

Для стабилизации значений измеряемого падения напряжения применяется дифференциальное сглаживание с параметром интерполяции p . Диапазон изменения параметра интерполяции $p = [0-1]$. Применение дифференциального сглаживания позволяет проводить расчеты в реальном масшта-

бе времени с высокой воспроизводимостью результатов.

Направление поверхностной реакции определяется типом проводимости газочувствительного слоя и свойствами вещества-аналита. В случае вещества-донора (газ-восстановитель) напряжение в цепи сенсора увеличивается, т. к. уменьшается сопротивление газочувствительного слоя, в случае вещества-акцептора (газ-окислитель) напряжение уменьшается, т. к. сопротивление газочувствительного слоя растет.

На рис. 3 приведены примеры измерения элек-

тропроводности при хемосорбции веществ различного типа (донор—акцептор). По оси абсцисс отложено время процесса, по оси ординат — измеряемое напряжение. На рис. 3 показана работа трех сенсоров различного состава при хемосорбции паров НДМГ, паров азотного тетраксид АТ при одинаковой мощности нагрева 200 мВт и их смеси.

Флуктуации напряжения, измеряемого в процессе хемосорбции, предполагают некоторые дополнительные преобразования сигнала $U(t)$ для повышения стабильности обработки результатов измерения. Для аналитического применения полупроводниковых сенсоров разработана модель, а на ее основе алгоритм обработки сигнала $U(t)$, позволяющий реализовать прямую аналитическую задачу — идентификацию вещества и определение его концентрации по измеренным значениям напряжения.

Одной из важных составляющих алгоритма обработки сигнала является применение вейвлет-преобразований исходного сигнала или его производных.

Вейвлет-анализ позволяет производить идентификацию компонент, присутствующих в газовой пробе, и производить оценку степени загрязнения чистой пробы газа примесями.

На рис. 4 в табличном виде представлены результаты 4-уровневых вейвлет-преобразований первой производной измеряемых сигналов для различных компонент пробы газа. В верхней строке таблицы — графики аппроксимирующих коэффициентов a_4 , в следующей строке — детализирующих коэффициентов d_4 , а в последней строке — значения энергий сигналов, полученные в результате вейвлет-преобразований.

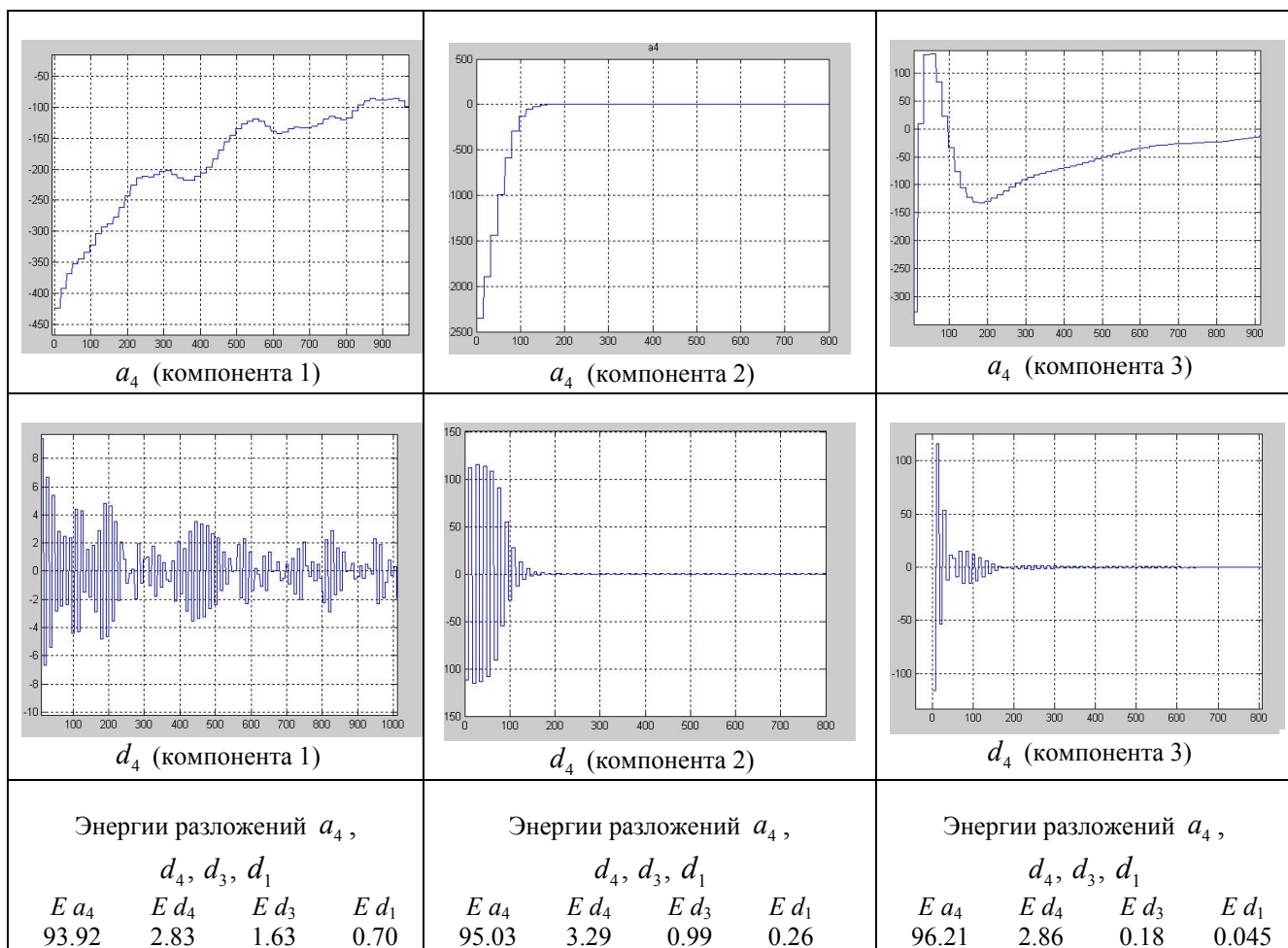


Рис. 4. Графическое представление и численные результаты вейвлет-преобразований

Графическое представление и численные результаты, показанные на рис. 4, дают возможность сделать вывод о том, что метод вейвлет-преобразований целесообразно использовать для идентификации различных компонент изучаемых газов.

Вейвлет-разложение сигналов изучаемых газов было выполнено в пакете MATLAB с помощью функции **CWT** [12], что означает непрерывное вейвлет-преобразование. В качестве материнской вейвлет-функции была использована функция **Haar**, которая является наиболее простой. В результате разложений получаются наборы аппроксимирующих коэффициентов a_n и детализирующих коэффициентов d_n . Нижний индекс n соответствует уровню разложения.

Кроме функции **Haar** при проведении вейвлет-анализа использовалась также материнская вейвлет-функция, синтезированная на основе самих

сигналов, полученных в результате измерений, и производных этих сигналов. Такой подход может быть полезен для изучения наличия посторонних примесей в исследуемых газах.

ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Состав комплекса

В настоящее время разработаны и испытаны составляющие изделия газоаналитического комплекса, состоящего из носимого газоанализатора, системы контроля воздуха помещений, системы контроля воздуха прилегающих территорий, аэромобильной система и роботизированной наземной платформы. Все составляющие комплекса подключаются к серверу, который является и пультом оператора [9].

Табл. 2. Краткие характеристики стационарных и мобильных газоаналитических устройств и систем

№ п/п	Тип газоаналитической системы	Внешний вид установки	Основные тактико-технические характеристики
1	Радиоуправляемая платформа "Rover"	Приложение, рис. П6, а	Шины нулевого давления. 4 ведущих сектора с поворотными рамами на 90°. Электропривод каждого колеса. Обзорная широкоугольная камера (запись фото/видео). АКБ — 4000 мА·ч. Время работы: без газоанализатора — 2 ч, с газоанализатором — 1.6 ч. Управление — радиоканал, 900 МГц. Аналитическая система: Восьмиканальная аналитическая камера. Отбор проб — динамический импактор, брызгозащищенный. Класс защиты IP-67. Чувствительность по парам КРТ: по НДМГ — 0.0025 мг/м ³ ; по АТ — 0.005 мг/м ³
2	Стационарная система "Периметр"	Приложение, рис. П6, б	Газоаналитическая система "Периметр", позволяет обеспечить контроль внешних территорий, прилегающих к специальным объектам. Газоанализаторы, входящие в систему, управляются сервером. Тип питания — PoE по кабелю Ethernet. Количество одновременно подключаемых приборов — 128
3	Стационарная система "Кентавр"	Приложение, рис. П6, в	Позволяет обеспечить контроль внутри помещений специальных объектов. Газоанализаторы, входящие в систему, управляются сервером. Тип питания — PoE по кабелю Ethernet. Количество одновременно подключаемых приборов — 128
4	Аэромобильная OEM-система	Приложение, рис. П6, г	Квадрокоптер Phantom II/ZALA 421-22. Масса полезной нагрузки — 240 / 900 г. Бортовая фото/видео система, обзор 180°. АКБ — 2400 мА·ч. Время работы: без газоанализатора — 20 мин, с газоанализатором — 16 мин. Максимальная дальность полета — 500 м, максимальная высота подъема — 200 м, дистанция информационного канала связи — 500 м. Навигация — GPS. Интерфейс передачи информации и управления — 440 МГц. Восьмиканальная аналитическая камера. Отбор проб — динамический импактор из зоны действия двигателей БПЛА. Класс защиты IP-67

Для комплектования расширенной газоаналитической системы изготовлены экспериментальные и опытные образцы изделий:

- система "Кентавр";
- система "Периметр";
- аэромобильная система Zala 421-22 вертолетного типа;
- аэромобильная система "Phantom II";
- роботизированная платформа "Rover".

В Приложении на рис. П6 показаны устройства, входящие в газоаналитический комплекс, в табл. 2 приведены их краткие характеристики. Данные устройства также могут работать как автономно, так и с возможностью включения в функционирующую на любом действующем объекте информационную сеть.

Применение по назначению

Объектами контроля по выбросам компонент ракетных топлив, как правило, являются:

- космодромы и их развитая инфраструктура;
- места хранения и заправки;
- космические объекты, на которых проводится активное использование КРТ;
- транспортные системы доставки большого количества топлив;
- технологические объекты производства и модификации;

– места пролива топлив в результате падения разгонных блоков;

- природные объекты, попадающие под заражение вследствие проливов или утечек;
- пространства проведения мероприятий, проводимых при поиске упавших блоков космической техники [5, 8, 9, 11].

Перечень приведенных объектов требует системного подхода для снижения вредного давления на окружающую среду в случае утечек, проливов и иных воздействий компонент ракетных топлив. Также следует помнить, что КРТ представлены не только токсинами типа НДМГ: как правило, топлива представлены парой "окислитель—восстановитель", что, с одной стороны, облегчает аналитический контроль, в то же время накладывает достаточно серьезные требования на аппаратные средства контроля [9].

Учитывая физические и химические свойства формирования аналитического сигнала в области газочувствительного слоя полупроводниковых сенсоров при взаимодействии с примесями КРТ, детекторы и приборы, построенные на их основе, наиболее эффективны по использованию их в качестве газоаналитических систем паров КРТ. На рис. 5 приведен пример одной возможной конфигурации системы, обеспечивающей контроль специального объекта и прилегающих к нему территорий.

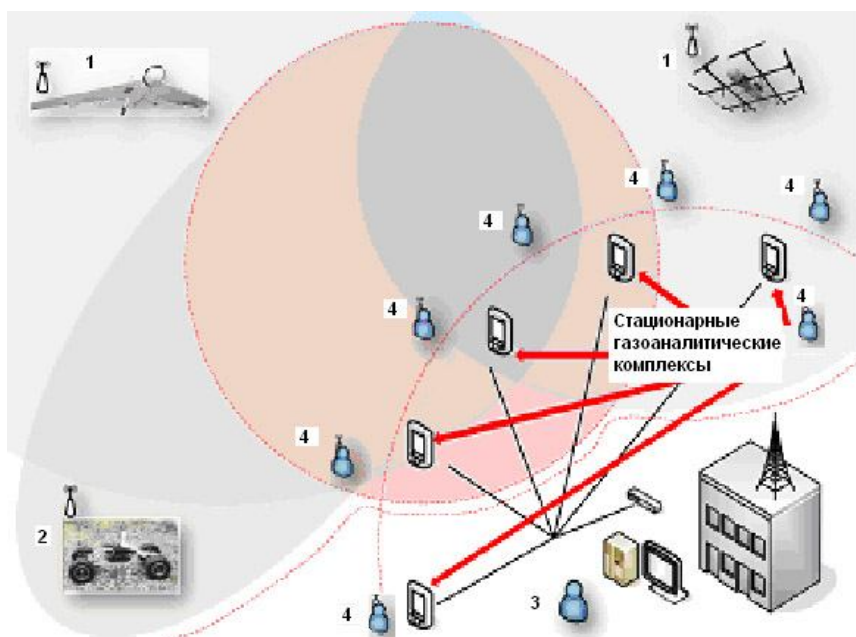


Рис. 5. Вариант развернутой газоаналитической системы.

1 — аэромобильные OEM-системы;
2 — радиоуправляемая платформа "Rover";
3 — оператор центральной станции экологического контроля;
4 — операторы стационарных газоаналитических комплексов

ВЫВОДЫ

1. Анализ существующих методов контроля паров КРТ показывает, что применение полупроводниковых газочувствительных сенсоров, приборов и газоаналитических систем, построенных на их основе, позволяет сформировать аналитические комплексы, включающие как стационарные, так и носимые приборы, а также газоанализаторы с их

размещением на борту подвижных и аэромобильных носителей.

2. Для каждого изделия, устройства, входящего в состав аналитического комплекса, требуется разработка устройства отбора проб. При этом необходимо учитывать специфику как применения приборов, так и их размещения — от газоанализаторов носимого типа до роботизированных платформ.

ПРИЛОЖЕНИЕ

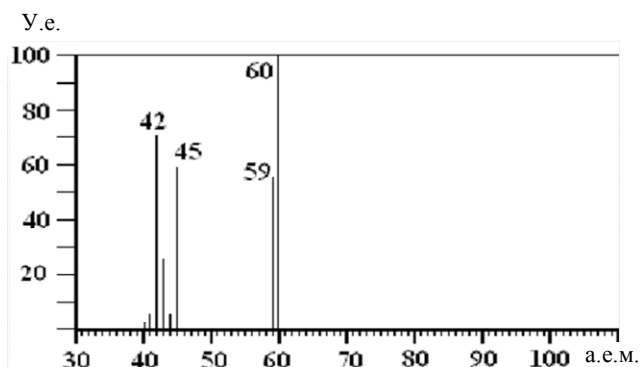


Рис. П1. Масс-спектр НДМГ

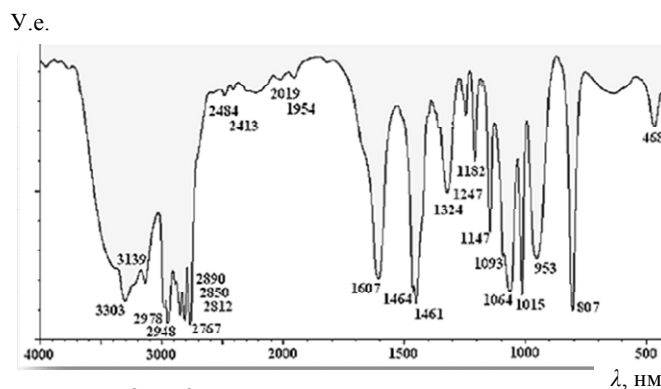


Рис. П2. ИК-спектр НДМГ

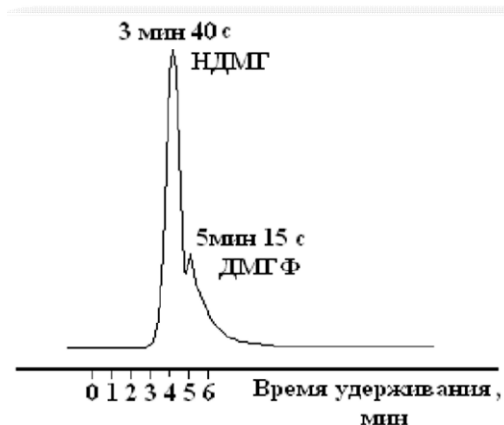


Рис. П3. Хроматограмма продукта перегонки НДМГ

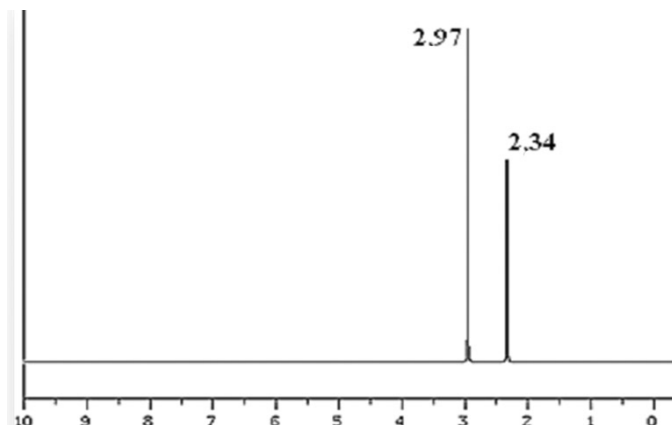


Рис. П4. ПМР-спектр НДМГ

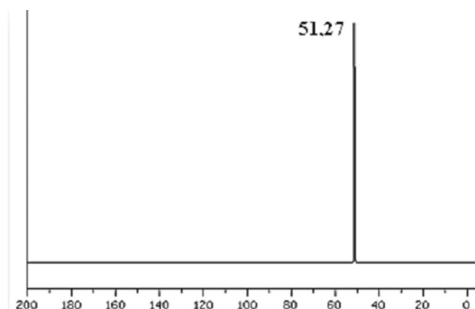


Рис. П5. ЯМР-спектр НДМГ



а



б



в



г

Рис. Пб. Компоненты газоаналитического комплекса.

а — радиоуправляемая платформа "Rover", б — стационарная система "Периметр",
в — стационарная система "Кентавр", г — аэромобильная OEM-система

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зрелов В.Н., Серегин Е.П. Жидкие ракетные топлива. М.: "Химия", 1975. 320 с.
2. Колесников С.В. Окисление несимметричного диметилгидразина (гептила) и идентификация продуктов его превращения при проливах. Новосибирск: Изд. СибАК, 2014. 110 с.
3. Химия нитро- и нитрозогрупп / Под ред. Г. Фойера. М.: Мир, 1973. Т. 2. 301 с.
4. Методы определения компонентов ракетных топлив и их производных в объектах производственной и окружающей среды. Методическое пособие / Под ред. Л.М. Разбитной. М.: Ин-т Биофизики, 1988. 338 с.
5. Тулупов П.Е. и др. Химические превращения диметилгидразина в атмосфере воздуха и идентификация их продуктов // Тр. IV Всесоюз. совещ. "Загрязнение атмосферы и почвы" / Под ред. П.Е. Тулупова. М.: Гидрометеиздат, 1991. С. 87–101.
6. Большаков Г.Ф. Химия и технология компонентов жидких ракетных топлив. Л.: Наука, 1983. 320 с.
7. Греков А.П., Веселов В.Я. Физическая химия гидразина. Киев: Наукова Думка, 1979. 264 с.
8. Иоффе Б.В., Кузнецова М.А., Потехин А.А. Химия органических производных гидразина / Под ред. Б.В. Иоффе. Л.: Химия, 1978. 224 с.
9. Трушляков И.В., Шалай В.В. Уменьшение вредного воздействия ракетных средств выведения на окружающую среду. Омск, 1993. 99 с.

10. Тулунов П.Е., Колесников С.В. Кинетика превращения несимметричного диметилгидразина в гелево-кислородной газовой фазе // Тр. IV Всесоюз. совещ. "Загрязнение атмосферы и почвы" / Под ред. П.Е. Тулунова. М.: Гидрометеиздат, 1991. С. 102–108.
11. Мисийчук Ю.И., Терещенко Г.Ф., Лебедев Г.П., Дунец А.А. Клинико-эпидемиологическое подтверждение канцерогенной опасности 1,1-диметилгидразина для человека // Экологическая химия. 1998. Т. 7, № 1. С. 42–47.
12. Вейвлет-преобразования в пакете Матлаб. URL: <http://matlab.exponenta.ru/wavelet/index.php>.
- АО "Научно-исследовательский институт физических измерений", г. Пенза (Белозерцев А.И.)**
- Санкт-Петербургский горный университет (Черемисина О.В.)**
- ООО "Омега", г. Санкт-Петербург (Эль-Салим С.З.)**
- Институт аналитического приборостроения РАН, г. Санкт-Петербург (Манойлов В.В.)**
- Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург (Манойлов В.В.)**

Контакты: Манойлов Владимир Владимирович,
manoilov_vv@mail.ru

Материал поступил в редакцию: 10.02.2017

DEPLOYED GAS ANALYSIS INSTRUMENT SYSTEMS FOR THE DETECTION OF THE COMPONENTS OF ROCKET FUEL IN THE ENVIRONMENT

A. I. Belozertsev¹, O. V. Cheremisina², S. Z. El Salim³, V. V. Manoylov^{4,5}

¹Research Institute of Physical Measurements. Penza, Russian Federation

²Saint-Petersburg Mining University, Russian Federation

³Ltd "Omega", Saint-Petersburg, Russian Federation

⁴Institute for Analytical Instrumentation, Saint-Petersburg, Russian Federation

⁵ITMO University, Saint-Petersburg, Russian Federation

In this paper, a brief analysis of the analytical controls vapor component of rocket fuel (CRF) in the environment is made. A method to carry out the operational control of the environment to detect CRF vapors in line with the requirements of modern gas analysis is suggested. Shown on the formation of gas-analyzing complex airmobile, mobile and stationary basis to improve the reliability of control and improve chemical safety special facilities quality.

Keywords: components of rocket fuels, gas analysis instrument systems, environmental protection, gas sensitive semiconductor sensors, data processing algorithms for gas analysis

REFERENCES

1. Zrel'ov V.N., Seregin E.P. *Zhidkie raketnye topliva* [Liquid propellants]. Moscow, Chemistry Publ., 1975. 320 p. (In Russ.).
2. Kolesnikov S.V. *Okislenie nesimmetrichnogo dimetilgidrazina (geptila) i identifikaciya produktov ego prevrashcheniya pri prolivah* [The oxidation of unsymmetrical dimethyl hydrazine (UDMH) and identification of its products during the conversion straits]. Novosibirsk, Sibac Publ., 2014. 110 p. (In Russ.).
3. Feuer G., ed. *Himiya nitro- i nitrozogrupp. T. 2* [Chemistry nitro and nitroso. Vol. 2]. Moscow, Mir Publ., 1973. 301 p. (In Russ.).
4. Razbitnaya L.M., ed. *Metody opredeleniya komponentov raketnykh topliv i ih proizvodnykh v ob'ektah proizvodstvennoj i okruzhayushchej sredy. Metodicheskoe posobie* [Methods for determining the components of rocket fuels and their derivatives in the production and environmental objects. Toolkit]. Moscow, Institute of Biophysics, 1988. 338 p. (In Russ.).
5. Tulupov P.E. et al. [Chemical transformations dimethylhydrazine in air and the identification of their products]. *Trudy IV Vsesoyuz. soveshch. "Zagryaznenie atmosfery i pochvy"* [Proc. 4th all-Union conference "Air pollution and soil". Tulupov P.E., ed.]. Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1991, pp. 87–101. (In Russ.).
6. Bolshakov G.F. *Himiya i tekhnologiya komponentov zhidkih raketnykh topliv* [Chemistry and technology of liquid rocket fuel components]. Leningrad, Nauka Publ., 1983. 320 p. (In Russ.).
7. Greeks A.P., Veselov V.Y. *Fizicheskaya himiya gidrazina* [Physical chemistry of hydrazine]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1979. 264 p. (In Russ.).
8. Ioffe B.V., Kuznetsov M.A., Potekhin A.A. *Himiya organicheskikh proizvodnykh gidrazina* [Chemistry, organic derivatives of hydrazine. Joffe B.V., ed.]. Leningrad, Chemistry Publ., 1978. 224 p. (In Russ.).
9. Trushlyakov I.V., Shala V.V. *Umen'shenie vrednogo vozdejstviya raketnykh sredstv vyvedeniya na okruzhayushchuyu sredu* [Reducing the harmful effects of the missile launch vehicles on the environment]. Omsk, 1993. 99 p. (In Russ.).
10. Tulupov P.E., Kolesnikov S.V. [The kinetics of the conversion of unsymmetrical dimethyl hydrazine in a gaseous phase] *Trudy IV Vsesoyuz. soveshch. "Zagryaznenie atmosfery i pochvy"* [Proc. 4th all-Union conference "Air pollution and soil". Tulupov P.E., ed.]. Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1991, pp. 102–108. (In Russ.).
11. Misiyuchuk Yu.I., Tereschenko G.F., Lebedev G.P., Dunez A.A. [Clinical and epidemiological confirmation of cancerogenic danger 1,1 dimethylhydrazines for the person]. *Ekologicheskaya himiya* [Ecological chemistry], 1998, vol. 7, no. 1, pp. 42–47. (In Russ.).
12. *Vejvlet-preobrazovaniya v pakete Matlab* [The wavelet transformation in Matlab package]. URL: <http://matlab.exponenta.ru/wavelet/index.php>.

Contacts: Manoylov Vladimir Vladimirovich,
manoilov_vv@mail.ru

Article received in edition: 10.02.2017