

АНАЛИЗАТОР ГАЗОВ «ЭЛЕКТРОННЫЙ НОС» ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕГКОЛЕТУЧИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В АВИАЦИОННОМ ТОПЛИВЕ

«Электронный нос» – это анализатор газов (паров) на основе массива разнородных (неравнозначных) сенсоров, имитирующий работу органа обоняния человека [1, 2]. Система обеспечивает получение узнаваемого образа специфической смеси паров, которая может содержать сотни различных химических соединений. Основа «электронного носа» – мультисенсорная матрица – состоит из химических сенсоров, которые подбираются по их химическому сродству к отдельным компонентам анализируемой смеси газов и паров.

Летучие фракции переработки нефти (бензин, керосин) – это сложная смесь легколетучих углеводородов (алканов линейного и разветвленного строения, алкенов, моно- и бициклических нафтендов, аренов) различной полярности [3]. Современное авиационное и автомобильное топливо представляет собой смесь компонентов, полученных прямой перегонкой, алкилированием, крекингом, риформингом и гидроочисткой нефтепродуктов.

Авиационный керосин – это моторное топливо для газотурбинных двигателей различных летательных аппаратов (ЛА). Представляет собой керосиновые фракции прямой перегонки нефти с гидроочисткой и добавкой комплекса присадок для улучшения эксплуатационных свойств [4]. В РФ для дозвуковой авиации производится пять марок «легкого» топлива (ТС-1, Т-1, Т-1С, Т-2 и РТ), для сверхзвуковой более «тяжелое» – Т-6 и Т-8В.

Авиакеросин служит не только моторным топливом в турбовинтовых и турбореактивных двигателях ЛА, но также и хладогентом в различных теплообменниках (топливно-воздушных радиаторах) и применяется для смазки движущихся деталей топливных и двигательных систем. В двигателях сверхзвуковых самолётов керосин также служит рабочей жидкостью в гидроцилиндрах системы регулирования проходного сечения реактивного сопла и управления поворотным соплом в двигателях с управляемым вектором тяги. Реактивное топливо широко применяется как растворитель при техническом обслуживании ЛА, при очистке от загрязнений ручным или машинным способом (например, для очистки фильтров).

«Электронный нос» разработан как универсальный детектор, идентифицирующий и количественно определяющий разные типы запахов. Сенсоры подбирают по их химическому сродству, обычно для повышения селективности датчики модифицируют активными полимерами [5]. Задача распознавания легколетучей фракции топлив может быть решена с применением массива сенсоров, содержащего, по меньшей мере, 6 пленок сорбентов различных групп полярности.

Цель работы: оценить возможности многоканального анализатора газов «МАГ-8» с методологией «электронный нос» для определения легколетучих углеводородов авиационных топлив.

Исследование равновесных газовых фаз (РГФ) над пробами топлив выполняли на анализаторе газов «МАГ-8» (ООО «СенТех», Воронеж) на основе 6-ти пьезокварцевых резонаторов (ПКР) с базовой частотой колебаний 10,0 МГц с разнохарактерными пленками сорбентов на электродах (рисунок 1). После насыщения РГФ парами бензина или керосина отбирали индивидуальным шприцем РГФ объемом 2 см³ и быстро инжектировали в ячейку детектирующего устройства. Сорбцию проводили при температуре $20 \pm 1^\circ\text{C}$ и контролировали полноту регенерации системы после каждого взаимодействия.



Рисунок 1 – Многоканальный анализатор газов «МАГ-8» с программным обеспечением

Управлять чувствительностью и избирательностью «электронного носа» можно путем направленного подбора модификаторов электродов ПКР. Ранее установлено, что наибольший результат работы сенсоров может быть получен при комбинации в массиве сенсоров с универсальными, селективными и специфическими покрытиями [6].

Изучены более 15 различных модификаторов электродов (хроматографических фаз и специфических сорбентов) и выбраны 6 оптимальных, эффективных и чувствительных к парам углеводородов: полиэтиленгликоль адипинат (ПЭГА), полиоксиэтилен-(21)-сорбитол-моноолеат (Tween-40), октилполиэтоксифенол, Triton X-100 (ТХ-100), дициклогексан-18-краун-6 (18К6), ди- β, β' -цианэтоксидиэтиловый эфир (ДЦЭДЭЭ), триоктилфосфиноксид (ТОФО).

Объекты исследования: авиационный керосин марки Т-8В (исходный и «отработанный»); под отработанным понимают керосин после технического обслуживания деталей и систем ЛА).

Отклики массива сенсоров (ΔF , Гц) регистрируются одновременно в течение 60 с, суммарный аналитический сигнал формируется с применением интегрального алгоритма обработки сигналов сенсоров (программное обеспечение «MAGSoft») в виде «визуального отпечатка». Для установления отличий и схожести проб применяют оптимальные «визуальные отпечатки» максимумов (ΔF^{max} , Гц), которые строятся по максимальным откликам сенсоров в РФ образцов за время измерения. Качественная характеристика – форма «визуального отпечатка» с характерными распределениями по осям откликов. Количественной характеристикой является суммарная площадь «визуального отпечатка» (S, Гц·с), оценивающая общую интенсивность запаха, пропорциональная концентрации легколетучих веществ (ЛЛВ).

Получены круговые диаграммы – «визуальные отпечатки» исходного и «отработанного» авиационного керосина (рисунок 2).

Сравнительная характеристика образцов показала, что концентрация ЛЛВ в топливном керосине выше, чем в «отработанном», о чем свидетельствуют значения площади «визуальных отпечатков». Наиболее эффективным и чувствительным к парам углеводородного топлива является сенсор на основе среднеполярного полисорбата Tween-40, менее эффективный – среднеполярный ПЭГА. Изменение геометрии образа показывает, что в отработанном керосине находятся примеси соединений, которых не было в исходном топливе.

Изучена сорбция ЛЛВ, составляющих летучую фракцию нефтепродуктов, на тонких пленках-модификаторах электродов ПКР с применением анализатора газов «электронный нос». Различие в кинетике сорбции ЛЛВ и геометрии «визуальных отпечатков» сигналов массива сенсоров дает возможность применения «электронного носа» для детектирования легколетучих соединений в авиационном и автомобильном топливе и разработки способов оценки их качества.

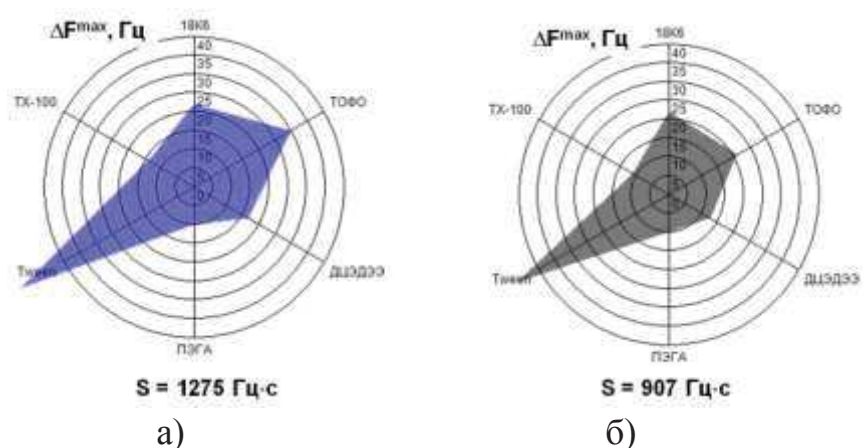


Рисунок 2 – «Визуальные отпечатки» максимальных откликов массива сенсоров в парах авиационного топливного керосина (а) и отработанного (б)

ЛИТЕРАТУРА

1 Gardner J., Bartlett P. Electronic Noses: Principles and Applications Oxford University Press, 1998. 264 p.

2 Кучменко Т.А. Аппаратный комплекс пьезокварцевого микровзвешивания. Новое в мире «электронных носов». Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., ООО «СенТех», 2009. 155 с.

3 Топливо: виды, марки, основные показатели качества [Электронный ресурс]. URL: <http://www.znaytovar.ru/s/Topливо:-vidy-marki-osnovnyue.html> .

4 Богомоллов А.И., Гайле А.А., Громова В.В. Химия нефти и газа: учебн. пособие для вузов. СПб: Химия, 1995. 448 с.

5 Кучменко Т.А. Метод пьезокварцевого микровзвешивания в газовом органическом анализе: дис. ... д-ра хим. наук. Воронеж, 2003. 473 с.

6 Лисицкая Р.П., Рябинин В.А., Макаров А.А. и др. Детектирование легколетучих углеводородов в топливах с применением химических сенсоров. Сборник статей по материалам IV научно-практической конференции «Молодёжные чтения, посвященные памяти Ю.А. Гагарина». Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. Т. 2. С. 216–220.