

DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-6-119-129  
УДК 504.064.3

**Ж.Ю. Кочетова** (Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж, Российская Федерация), **Т.А. Кучменко** (Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Российская Федерация), **А.А. Кравченко, А.В. Чалый** (Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж, Российская Федерация)

## ПЬЕЗОСОРБЦИОННЫЙ ДАТЧИК УТЕЧЕК ЛЕГКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ЗАКРЫТЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

**Zhanna Yu. Kochetova** (Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy», Voronezh, Russian Federation), **Tatiana A. Kuchmenko** (Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation), **Andrey A. Kravchenko, Aleksey V. Chaliy** (Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy», Voronezh, Russian Federation)

### INDOOR PIEZOSORPTION SENSOR LIGHT OIL PRODUCTS LEAKAGE DETECTOR

#### Введение

Разливы нефти и нефтепродуктов приводят к значительным экономическим потерям и наносят вред окружающей среде. Рост числа аварийных ситуаций при производстве, транспортировке, хранении и использовании топлива по назначению диктует необходимость разработки и внедрения систем обнаружения утечек. Эффективность работы таких систем обусловлена, в первую очередь, эксплуатационными характеристиками датчиков, обнаруживающих специфические изменения параметров среды при утечках топлива.

#### Цели и задачи

Разработка датчика утечек легких нефтепродуктов (бензин, керосин) в закрытых помещениях и замкнутых объемах (складах, станциях перекачки топлива), отличающегося от существующих экономично

#### Background

Oil and oil product spills cause significant economic losses and damage to the environment. The increase in the number of accidents in the production, transportation, storage and use of fuel for its intended purpose necessitates the development and implementation of leakage detection systems. The efficiency of such systems is due to the performance of sensors that detect specific changes in the environment parameters during fuel leakages.

#### Aims and Objectives

Development of the sensor light oil products leakage detector (gasoline, kerosene) in closed rooms and closed volumes (warehouses, fuel pumping stations), different from the existing ones in efficiency and ease of maintenance and characterized by high reliability, speed, selectivity, long «life».

стью и простотой обслуживания и характеризующегося при этом высокой надежностью, быстродействием, селективностью, длительным «временем жизни».

#### Методы

В основе работы предложенного датчика утечек топлива лежит принцип пьезокварцевого микровзвешивания, основанный на преобразовании аналитического сигнала, возникающего в результате взаимодействия летучих компонентов топлива с сорбционным покрытием электродов кварца АТ-среза, в физический сигнал - изменение частоты колебаний. В качестве сорбционного покрытия электродов пьезокварца использовали многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ), проявляющие устойчивость к агрессивным парам углеводородного топлива, высокую сорбционную емкость и способность к регенерации.

Для повышения надежности датчика утечек топлива и предотвращения ложноположительных срабатываний в его конструкцию параллельно включены две одинаковые ячейки детектирования с пьезокварцами, модифицированными МУНТ (пьезосенсоры). Ячейки детектирования располагаются в месте вероятной утечки топлива (стыки трубопроводов, соединения рукавов) на высоте от пола не более 15 см таким образом, чтобы пары топлива свободно диффундировали от места разлива в околосенсорное пространство. Сигнальное устройство датчика срабатывает при одновременном и идентичном изменении аналитических сигналов двух пьезосенсоров.

#### Результаты

Пьезосорбционный датчик характеризуется высокой надежностью (вероятность ложных срабатываний составляет не более 1,5 %); быстродействием (время от начала утечки до принятия решения оператором не превышает 20 с); независимостью работы от изменений параметров окружающей среды в широком интервале температур (от минус 5 °С до 35 °С). «Время жизни» пьезосенсора на основе многослойных углеродных нанотрубок составляет не менее 2500 циклов «сорбция - десорбция» паров топлива, после чего он легко заменяется на аналогичный.

Датчик прошел апробацию в лаборатории ФГБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии № 97 ФМБА России» и применен для мониторинга керосина в воздухе станции перекачки топлива на аэродроме в Приморско-Ахтарске.

#### Methods

The operation of the proposed fuel leak sensor is based on the principle of piezo-quartz microweighing, based on the transformation of the analytical signal resulting from the interaction of volatile fuel components with the sorption coating of quartz electrodes of the AT-srez, into a physical signal - the change in the oscillation frequency. As a sorption coating of piezoelectric quartz electrodes, multilayer carbon nanotubes (MCNTs) showing resistance to aggressive vapors of hydrocarbon fuel, high sorption capacity and the ability to regenerate were used.

To improve the reliability of the fuel leakage detector and prevent false positives, two identical detection cells with modified multilayer carbon nanotubes (piezo sensors) were included in its design in parallel. The detection cells are located in the place of probable fuel leakage (joints of pipelines, joints of hoses) at a height not more than 15 cm from the floor so that the fuel vapors diffuse freely from the spill site into the near-sensor space. The signaling device of the sensor is triggered by the simultaneous and identical change of the analytical signals of two piezosensors.

#### Results

The piezosorption sensor is characterized by high reliability (the probability of false positives is not more than 1,5 %); speed (the time from the beginning of leakage to the decision by the operator does not exceed 20 seconds); independence of operation from changes in environmental parameters in a wide temperature range (from minus 5 °C to 35 °C). The «lifetime» of the piezosensor based on multilayer carbon nanotubes is not less than 2500 cycles of «sorption - desorption» of fuel vapor, after which it is easily replaced by a similar one. The sensor was tested in the laboratory of FSBIHC «The Center of Hygiene and Epidemiology» and applied for the monitoring of kerosene in the air station, pumping fuel at the airport to Primorsko-Akhtrask.

**Ключевые слова:** датчик утечек топлива, легкие нефтепродукты, бензин, керосин, система обнаружения утечек, сорбция, пьезокварц, пьезосенсор, многослойные углеродные нанотрубки

---

---

**Key words:** fuel leakage detector, light oil products, gasoline, kerosene, leakage detection system, sorption, piezoelectric quartz, piezosensor, multi-walled carbon nanotubes

---

---

Рост числа аварийных ситуаций, приводящих к утечкам топлива при его производстве, хранении, транспортировке и перекачке диктует необходимость разработки и внедрения систем обнаружения утечек (СОУ) на всех стадиях [1]. В настоящее время для предотвращения аварий в результате утечек нефтепродуктов на предприятиях авиации ежедневно проводят патрульный обход трассы трубопроводов для обнаружения поверхностных признаков утечек, наличия горючесмазочных материалов в технологических колодцах, неисправности запорной арматуры. Для установления мест утечки топлива рекомендуются, но не обязательны к использованию, серийно выпускаемые отечественные и зарубежные СОУ [2]. Эффективность их работы (надежность, чувствительность, время срабатывания сигнального устройства и автоматического прекращения подачи топлива) обусловлена, в первую очередь, эксплуатационными характеристиками чувствительных элементов.

В качестве трансдюсеров в газоаналитических системах обнаружения утечек топлива в основном применяют каталитические, инфракрасные и полупроводниковые датчики [3]. К основным их недостаткам относят высокую чувствительность к перепадам температур, давления, влажности воздуха, к вибрации и наличию агрессивных сред. Наиболее надежные и селективные из них - инфракрасные датчики - экономически не выгодны для оснащения систем обнаружения утечек, в которых одновременно могут использоваться более 100 измерительных устройств [4].

Поэтому остается актуальной разработка надежных и экономичных датчиков, в том числе для оснащения систем обнаружения утечек топлива в закрытых помещениях и замкнутых объемах (складах, станциях перекачки).

Перспективным направлением в аналитическом приборостроении является разработка пьезосенсорных измерительных устройств, которые применяются для экологического мониторинга различных сред [5, 6], медицинской неинвазивной диагностики, определения качества пищевых и непищевых продуктов [7]. В основе их работы лежит принцип пьезокварцевого микровзвешивания, основанный на преобразовании аналитического сигнала, возникающего в результате взаимодействия летучих компонентов анализируемых веществ с сорбционным покрытием электродов кварца АТ-среза, в физический сигнал - изменение частоты колебаний ( $\Delta F$ , Гц) [8]. К их основным достоинствам относят высокую регулирующую чувствительность (до 2,5 МГц/мг); низкое энерго- и ресурсопотребление, низкий температурный коэффициент, быстрое действие. Главным недостатком является низкая селективность, что частично устраняется нанесением на электроды пьезокварцев тонких пленок сорбентов различной природы, проявляющих сродство к индивидуальным компонентам или группе родственных соединений, а также разработкой оптимальных алгоритмов считывания аналитического сигнала.

Существующие датчики утечек легколетучих жидкостей (аммиака, органических растворителей, углеводородного топлива) на основе пьезокварцев с

полимерными сорбционными покрытиями электродов отвечают требованиям, предъявляемым к современным сигнализаторам по быстрдействию и чувствительности [9]. Однако при испытании датчиков в реальных условиях были выявлены следующие проблемы: разрушение чувствительного покрытия электродов пьезокварца при длительном воздействии агрессивных паров жидкостей; высокая вероятность ложноположительных срабатываний (более 10 %) в результате механических воздействий, резких перепадов относительной влажности воздуха; длительное время саморегенерации пленочного покрытия после устранения утечек жидкостей.

В работе представлены результаты оптимизации функционирования пьезосорбционного датчика утечек топлива, направленные на устранение перечисленных недостатков.

Для повышения «времени жизни» датчика в качестве чувствительного покрытия электродов пьезокварца применяли многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ). Их синтезировали газофазным химическим осаждением при пиролизе этанола в Черноголовке (рабочая группа С.С. Гражулене). Для модификации электродов пьезокварца применяли методики статического испарения растворителя после погружения в ультразвуковую суспензию МУНТ [10].

Основная особенность, позволяющая эффективно применять МУНТ в качестве поглотителей газов и паров, - развитая удельная и инертная поверхность, высокая порозность структуры, что подтверждается микроструктурными исследованиями (рисунок 1).

Изучены интенсивность и характер дрейфа нулевого сигнала пьезосенсора на основе МУНТ в потоке осушенного лабораторного воздуха. Базовая линия частоты колебаний ненагруженного парами топлива пьезосенсора устойчива в широком диапазоне расхода воздуха (0-2400 см<sup>3</sup>/мин), что высоко характеризует его эксплуатационные

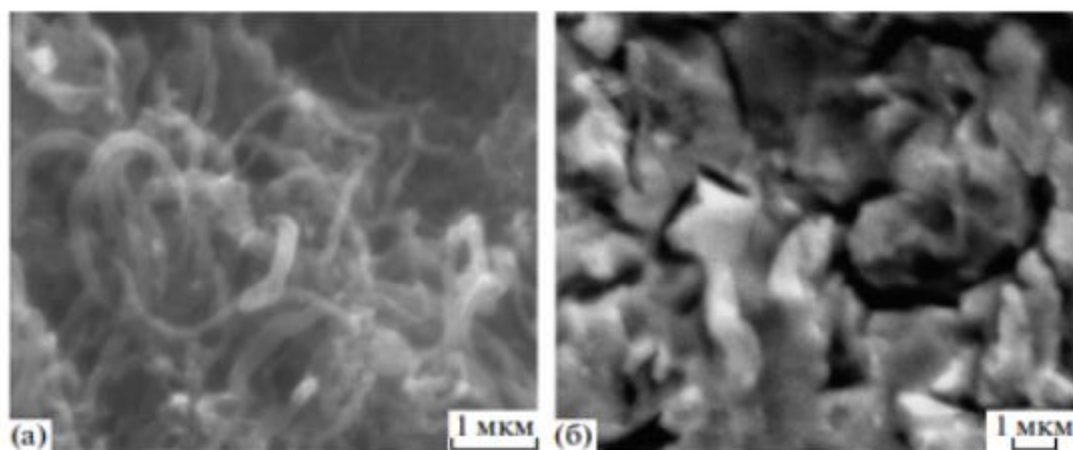
свойства. Методом многокритериального анализа установлено, что оптимальная масса покрытия МУНТ для модификации электродов пьезокварца при детектировании паров легких нефтепродуктов составляет  $m_n = 3-4$  мкг.

Наиболее весомыми параметрами при интегральной оценке оптимальной  $m_n$  являлись: относительная устойчивость ( $\Delta m_n^{10}$ , %) - изменение массы МУНТ после первых 10 циклов «сорбция - десорбция»; удельная сорбционная емкость покрытия ( $a$ ) - максимально возможное отношение массы адсорбированных паров к массе сорбционного покрытия; относительная чувствительность микровзвешивания паров топлива ( $S_m$ , Гц·дм<sup>3</sup>/мг) - отношение изменения частоты колебания пьезосенсора в результате сорбции паров топлива на МУНТ к его концентрации в околосенсорном пространстве.

При оптимизации  $m_n$  учитывали также время естественной регенерации МУНТ - время возврата датчика в исходное состояние ( $\tau_p$ , с); время отклика датчика от начала разлива топлива до начала изменения аналитического сигнала ( $\tau_o$ , с); воспроизводимость результатов сорбции паров топлива на покрытии электродов пьезокварца ( $\sigma$ , %).

Эксплуатационные характеристики пьезосенсора на основе МУНТ оценивали в жестких условиях сорбции при его экспонировании в насыщенных парах топлива при  $25 \pm 2$  °С (таблица 1).

Уменьшение массы МУНТ на электродах пьезокварца после 10 циклов «сорбция - десорбция» незначительно, а последующие измерения мало влияют на массу и структуру покрытия. «Время жизни» датчика составляет не менее 2500 измерений. Оно ограничено необратимым изменением структуры МУНТ на электродах, что сопровождается снижением чувствительности микровзвешивания паров топлива, увеличением дрейфа базовой линии, срывом автоколебаний пьезосенсора. При этом чувствительный элемент датчика необходимо заменить на аналогичный. Естественная регенерация МУНТ возможна на открытом воздухе без доступа паров топлива в околосенсорное пространство.



*а)* до нанесения на ПКР (увеличение в 20000 раз);  
*б)* после нанесения на ПКР (увеличение в 10000 раз)

**Рисунок 1.** Микроструктура МУНТ до и после нанесения на ПКР

**Таблица 1.** Основные эксплуатационные характеристики пьезосенсора на основе МУНТ

Топливо	$\Delta m_n^{10}, \%$	$a$	$S_m, \text{Гц} \cdot \text{дм}^3/\text{мг}$	$\tau_p, \text{мин}$	$\tau_o, \text{с}$	$\sigma, \%$
Бензин	1,6	0,24	$1,8 \pm 0,2$	$\leq 7,5$	$\leq 12$	3,8
Керосин	1,5	0,22	$1,6 \pm 0,2$	$\leq 7,5$	$\leq 15$	3,8

Время регенерации прямо пропорционально концентрации детектируемых паров в околосенсорном пространстве, а время сорбции, наоборот, растет с уменьшением содержания топлива в окружающем воздухе. Оснащение ячейки детектирования миниатюрным лопастным вентилятором, который автоматически включается при достижении пороговых концентраций топлива (1, 3, 5 ПДК), позволяет сократить время регенерации покрытия электродов резонатора до 1-3 мин.

Модифицированный пьезосенсор на основе МУНТ закрепляли в держателе открытой ячейки детектирования, разработанной в ООО «Сенсорика - новые технологии» на базе Воронежского государственного университета инженерных

технологий [11]. Ячейка детектирования устанавливается в месте вероятной утечки топлива на расстоянии 10-15 см от пола.

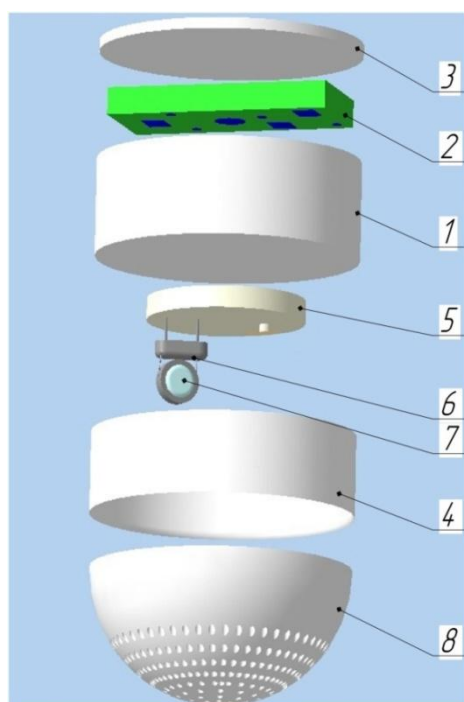
При возникновении нештатной ситуации легколетучие компоненты топлива свободно диффундируют через перфорированное дно ячейки детектирования в околосенсорное пространство и адсорбируются на чувствительном покрытии пьезосенсора.

В результате частота колебаний пьезосенсора скачкообразно снижается на величину  $\Delta F$ , что фиксируется миниатюрным частотомером, расположенным в корпусе ячейки детектирования (рисунок 2).

Из-за изменения состава естественного атмосферного воздуха (в том числе его влажности) дрейф базовой линии частоты

колебаний пьезосенсора может составлять более  $\pm 200$  Гц/сут, что приводит к ложноположительному срабатыванию датчика. Поэтому в качестве аналитического сигнала в пьезосорбционных датчиках утечек легколетучих жидкостей было предложено использовать не абсолютный аналитический сигнал, а скорость его изменения  $\Delta F/\Delta t$  (Гц/с) [9]. В таблице 2 представлены зависимости

скорости изменения частоты колебания пьезосенсора от концентрации паров топлива в околосенсорном пространстве и время срабатывания датчика. Концентрационный интервал детектирования топлива выбран с учетом того, что предельно допустимые концентрации бензина и керосина в воздухе рабочей зоны составляют соответственно 100 и 300 мг/дм<sup>3</sup>.



- 1, 3, 4 - корпус ячейки детектирования;
- 2 - схема возбуждения колебаний пьезосенсора и частотомер;
- 5 - держатель пьезосенсора;
- 6 - пьезосенсор;
- 7 - электрод пьезосенсора;
- 8 - открытый вход ячейки детектирования

Рисунок 2. Анализатор газов с открытым входом

Таблица 2. Параметры срабатывания датчика утечек топлива в интервале температур 20-35 °С

Топливо \ Параметры	100 мг/дм <sup>3</sup>		300 мг/дм <sup>3</sup>		500 мг/дм <sup>3</sup>	
	$\Delta F/\Delta t$ , Гц/с	$\tau_{ср}$ , с	$\Delta F/\Delta t$ , Гц/с	$\tau_{ср}$ , с	$\Delta F/\Delta t$ , Гц/с	$\tau_{ср}$ , с
Бензин	15±2	18±3	28±4	12±2	33±5	8±2
Керосин	14±2	20±3	22±3	15±3	27±5	10±2

Из таблицы 2 следует, что кинетические параметры сорбции бензина и керосина на МУНТ различаются незначительно, поэтому датчик целесообразно настраивать только по керосину, характеризующемуся более низкими значениями дифференциального аналитического сигнала. При снижении температуры воздуха до 5 °С скорость сорбции нефтепродуктов снижается в 1,5-2 раза в зависимости от концентрации в околосенсорном пространстве, что необходимо учитывать при настройке порогов срабатывания сигнализации.

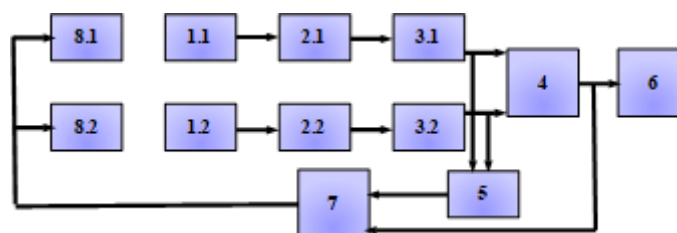
Для снижения вероятности ложноположительных срабатываний пьезосорбционного датчика предлагается использовать две одинаковые ячейки детектирования, установленные в месте предполагаемой утечки топлива на равноудаленном расстоянии от источника. Сигнальное устройство такого датчика будет срабатывать только в случае скачкообразного и одновременного изменения аналитических сигналов от двух пьезосенсоров, что сокращает число ложноположительных срабатываний с 10 % до 1,5 %.

Схема работы датчика, состоящего из двух одинаковых ячеек детектирования, представлена на рисунке 3.

При одновременном отклике двух пьезосенсоров логический элемент «И» передает сигнал в исполнительное устройство для

включения блоков регенерации покрытия электродов и блока управления, принимающего решение об устранении утечки топлива. При различном характере изменения дифференциальных аналитических сигналов двух пьезосенсоров логический элемент «ИЛИ» передает сигнал в исполнительное устройство для включения только блоков регенерации пьезосенсоров. После регенерации МУНТ до восстановления базовых частот колебания пьезосенсоров (с дрейфом не более  $\pm 10$  Гц/мин) измерения повторяются по той же схеме. При отсутствии утечки топлива дифференциальные аналитические сигналы одновременно двух пьезосенсоров не превышают установленный дрейф базовой линии.

Датчик прошел апробацию в лаборатории Центра гигиены и эпидемиологии № 97 Федерального медико-биологического агентства России. В качестве арбитражного применяли термохимический метод, основанный на измерении теплового эффекта реакции каталитического окисления паров топлива. Сравнение некоторых характеристик пьезосорбционного датчика и термохимического сигнализатора марки АВС-1, зарегистрированного в Государственном реестре средств измерения (№ 20851-01), представлено в таблице 3.



- 1.1, 1.2 - пьезосенсор; 2.1, 2.2 - частотомер;
- 3.1, 3.2 - блок регистрации скорости изменения колебаний;
- 4 - логический элемент «И»; 5 - логический элемент «ИЛИ»;
- 6 - исполнительное устройство; 7 - блок управления;
- 8.1, 8.2 - блок регенерации пьезосенсора

Рисунок 3. Функциональная схема датчика утечек топлива

**Таблица 3.** Сравнение некоторых эксплуатационных характеристик пьезосорбционного и термохимического датчиков

Параметр сравнения	Пьезосорбционный датчик	Термохимический датчик
Определяемые газы, пары	Бензин, керосин	Углеводороды ряда C <sub>1</sub> -C <sub>18</sub> , органические растворители
Ограничения применения	Нет	Галоген- и серосодержащие соединения
Диапазон рабочих температур, °С	5 ÷ 35	- 35 ÷ 50
Относительная влажность, % отн.	до 99	до 95
Атмосферное давление, кПа	не имеет значения	84,0 ÷ 106,7
Время срабатывания сигнализации, с	до 20	до 15
Время непрерывной работы при заряженных аккумуляторах, ч	48	15
Время между измерениями, мин	0,6÷2,5	2
Габаритные размеры, мм	50 x 100 x 50	185 x 38 x 59
Масса, кг	0,20	0,38
Себестоимость, усл. ед.	Р	4,5 Р

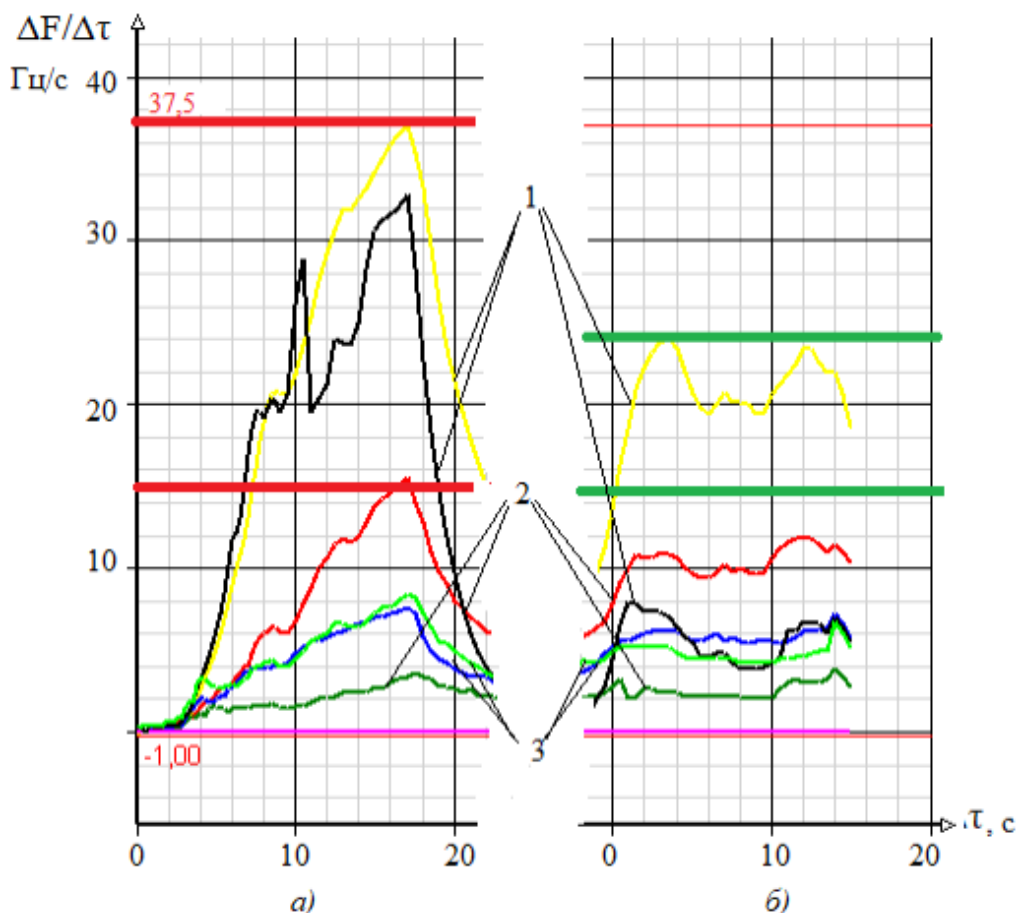
В течение двух месяцев проводили непрерывное испытание трех датчиков утечек топлива в реальных условиях на станции перекачки керосина (аэродром в Приморско-Ахтарске). Ячейки детектирования датчиков были расположены попарно на высоте 10 см от пола в местах предполагаемых утечек: 1) стык рукава и трубопровода; 2) сальник насоса; 3) стык трубопровода. Результаты измерений по беспроводной связи передавались на ПК, где обрабатывались с помощью специально разработанной программы, фиксирующей одновременное идентичное изменение аналитического сигнала от двух пьезосенсоров.

На рисунке 4 представлены примеры изменения скорости частоты колебаний пьезосенсоров: а) срабатывает сигнальное устройство датчика 1 при идентичном изменении

$\Delta F/\Delta t$  двух пьезорезонаторов в результате утечки керосина; б) сигнальное устройство датчика 1 не срабатывает, так как изменяется  $\Delta F/\Delta t$  одного пьезосенсора при механическом воздействии.

Дрейф базовой линии частоты колебаний пьезосенсоров за время испытаний не превышал  $\pm 240$  Гц/сут, максимальное значение отклонения от базовой линии зафиксировано при повышении влажности воздуха в помещении станции перекачки топлива во время влажной уборки. При этом чувствительность датчика к парам топлива снижается незначительно и на время его срабатывания влияет мало. Время десорбции паров топлива с покрытия электродов пьезокварца после устранения утечки и автоматического включения системы регенерации не превышало 3 мин.





а) 1-3 при аварийной ситуации;  
б) при внешних помехах, не связанных с утечкой керосина

**Рисунок 4.** Изменение скорости частоты колебаний пьезокварцевых резонаторов в датчиках утечек

### Выводы

Разработан датчик утечек топлива (бензин, керосин), работающий по принципу пьезокварцевого микровзвешивания и отличающийся от существующих надежностью, экономичностью.

Датчик состоит из двух одинаковых ячеек детектирования, которые устанавливаются в месте возможной утечки топлива, при этом сигнальное устройство датчика срабатывает при одновременном и идентичном изменении дифференциального аналитического сигнала двух чувствительных элементов. Оптимизированы природа и масса покрытия электродов пьезокварца, что позволило уве-

личить «время жизни» пьезосенсора до 2500 циклов «сорбция - десорбция», после чего он легко заменяется на аналогичный.

Чувствительность, быстродействие и «время жизни» пьезосорбционного датчика на основе МУНТ для легких нефтепродуктов отличаются незначительно; по керосину они составляют соответственно

$$S_m = 1,6 \pm 0,2 \text{ Гц} \cdot \text{дм}^3 / \text{мг}; \tau_{\text{ср}} \leq 20 \pm 3 \text{ с.}$$

Датчик может быть использован для контроля утечек топлива в закрытых помещениях (станции перекачки, склады) и входит в системы обнаружения утечек, при этом информация оператору может передаваться по проводной или беспроводной связи.

Список литературы

1. Абдрахманов Н.Х., Галлямов М.А., Саляхутдинов В.В., Худайбердин Р.Р., Абдрахманова К.Н., Басырова А.Р. Анализ систем обнаружения утечек на магистральных нефтепродуктопроводах // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. № 3. С. 154-164. URL: <http://ntj-oil.ru/article/view/4921>.
2. Руководство по технической эксплуатации складов и объектов горюче-смазочных материалов предприятий гражданской авиации. Утверждено заместителем министра гражданской авиации 27 июля 1991 г. № 9/И. URL: <http://www.alppp.ru/law/hozjajstvennaja-dejatelnost/transport/34/rukovodstvo-po-tehnicheskoy-ekspluatatsii-skladov-i-obektov-goryuche-smazochnyh-materialov-.html> (дата обращения 14.10.2018).
3. Луконин В.П. Оценка методов обнаружения утечек для использования в автоматизированных системах контроля // Дефектоскопия. 2003. № 5. С. 9-13. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17328677>.
4. Мишкин Г.Б. Краткий обзор систем обнаружения утечек российских производителей // Молодой ученый. 2011. Т. 2. № 2. С. 41-47. URL: <https://moluch.ru/archive/25/2727>.
5. Маслова Н.В., Кочетова Ж.Ю., Данилов А.Н., Кучменко Т.А. Экологический мониторинг нефтепродуктов на территории химически опасного объекта с применением флеш-детектора // Медицина экстремальных ситуаций. 2017. Т. 60. № 2. С. 83-88. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29661060>.
6. Kuchmenko T.A., Kochetova Zh.Yu., Korenman Ya.I. Sorption of Acetone and Phenol on Natural Film Coatings of Electrodes of a Bulk Acoustic Wave Piezoelectric Resonator // Journal of Analytical Chemistry. 2001. Vol. 56. No. 11. P. 986-990. URL: <https://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1012536220416>.
7. Кучменко Т.А. Инновационные решения в аналитическом контроле. Воронеж: ВГУИТ, 2009. 251 с.
8. Малов В.В. Пьезосенсорные датчики. М.: Энергоатомиздат, 1989. 272 с.
9. Пат. 2568331 РФ, МПК G 01 N 27/12. Устройство для определения взрывоопасных жидкостей на основе пьезосенсора / Ж.Ю. Кочетова, Т.А. Кучменко, О.В. Базарский, Я.И. Коренман. 2014117431/28, Заявлено 29.04.2014; Оpubл. 20.11.2015. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/256/2568331.html>.
10. Пат. 2379669 РФ, МПК G 01 N 27/12, B 82 V 1 00. Способ формирования на электродах пьезосенсоров сорбционных покрытий из углеродных нанотрубок / Ю.Х. Шогенов, Т.А. Кучменко. 2008150975/28, Заявлено 22.12.2008; Оpubл. 20.01.2010. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/237/2379669.html>.
11. Пат. 2302627 РФ, МПК G 01 N 27/12. Газоанализатор с открытым входом на основе пьезосенсоров / Т.А. Кучменко, Ж.Ю. Кочетова, Ю.Е. Силина. 2006102742/28, Заявлено 31.01.2006; Оpubл. 10.07.2007. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2302627>.

References

1. Abdrahmanov N.H., Galljamov M.A., Saljahutdinov V.V., Hudajberdin R.R., Abdrahmanova K.N., Basyrova A.R. Analiz sistem obnaruzhenija utechek na magistral'nyh nefteproduktoprovodah [Analysis of Leak Detection Systems on Oil Trunk Pipelines]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, Issue 3, pp. 154-164. URL: <http://ntj-oil.ru/article/view/4921>. [in Russian].
2. *Rukovodstvo po tehniceskoy jekspluatatsii skladov i obektov gorjuče-smazochnyh materialov predprijatij grazhdanskoj aviacii. Utverzhdeno zamestitel'em ministra grazhdanskoj aviacii 27 ijulja 1991 g. № 9/I* [Manual on Technical Operation of Warehouses and Facilities of Fuels and Lubricants of Civil Aviation Enterprises. Approved by the Deputy Minister of Civil Aviation on July 27, 1991 No. 9 / I]. URL: <http://www.alppp.ru/law/hozjajstvennaja-dejatelnost/transport/34/rukovodstvo-po-tehnicheskoy-ekspluatatsii-skladov-i-obektov-goryuche-smazochnyh-materialov-.html> (accessed 14.10.2018). [in Russian].
3. Lukonin V.P. Ocenka metodov obnaruzhenija utechek dlja ispol'zovanija v avtomatizirovannyh sistemah kontrolja [Assessment of Leak Detection Methods for Use in Automated Control Systems]. *Defektoskopija - Defectoscopy*, 2003, No. 5, pp. 9-13. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17328677>. [in Russian].
4. Mishkin G.B. Kratkij obzor sistem obnaruzhenija utechek rossijskih proizvoditelej [A Brief Overview of Leak Detection Systems of Russian Manufacturers]. *Molodoj uchenyj - Young scientist*, 2011, Vol. 2, No. 2, pp. 41-47. URL: <https://moluch.ru/archive/25/2727/>. [in Russian].
5. Maslova N.V., Kochetova Zh.Yu., Danilov A.N., Kuchmenko T.A. Ekologicheskij monitoring nefteproduktov na territorii himicheskij opasnogo obekta s primeneniem flesh-detektora [Environmental Monitoring of Petroleum Products on the Territory of a Hazardous Chemical Facility with the Use of a Flash Detector]. *Medicina jekstremal'nyh situacij - Medicine of Emergency Situations*, 2017, Vol. 60, No. 2, pp. 83-88. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29661060>. [in Russian].
6. Kuchmenko T.A., Kochetova Zh.Yu., Korenman Ya.I. Sorption of Acetone and Phenol on Natural Film Coatings of Electrodes of a Bulk Acoustic Wave Piezoelectric Resonator. *Journal of Analytical Chemistry*, 2001, Vol. 56, No. 11, pp. 986-990. URL: <https://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1012536220416>.
7. Kuchmenko T.A. *Innovacionnye reshenija v analiticheskom kontrole* [Innovative Solutions in Analytical Control]. Voronezh, VGUIT, 2009. 251 p. [in Russian].
8. Malov V.V. *P'ezosensornye datchiki* [Piezosensors]. Moscow, Energoatomizdat, 1989. 272 p. [in Russian].
9. Kochetova Zh.Yu., Kuchmenko T.A., Bazarskij O.V., Korenman Ja.I. *Ustrojstvo dlja opredelenija vzryvoopasnyh zhidkostej na osnove p'ezosensora* [A Device for Determining Volatile Liquids on the Basis of Piezosensor]. Patent RF, No. 2568331, 2015. [in Russian].

10. Shogenov Ju.H., Kuchmenko T.A. *Sposob formirovaniya na jelektrodah p'ezosensorov sorbcionnyh pokrytij iz uglerodnyh nanotrubok* [A Method of Forming on Electrodes Coatings Piezosensors Sorption of Carbon Nanotubes]. Patent RF, No. 2379669, 2010. [in Russian].

11. Kuchmenko T.A., Kochetova Zh.Yu., Silina Ju.E. *Gazoanalizator s otkryтым vhodom na osnove p'ezosensorov* [The Detector with an Open Entrance on the Basis of Piezosensors]. Patent RF, No. 2302627, 2007. [in Russian].

#### Автор

• Кочетова Жанна Юрьевна, канд. хим. наук, доцент  
Военный учебно-научный центр  
Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»  
Доцент кафедры физики и химии  
Российская Федерация, 394064, г. Воронеж,  
ул. Старых Большевиков, 54 «А»  
тел. (473) 226-47-52  
e-mail: zk\_vva@mail.ru

• Кучменко Татьяна Анатольевна, д-р хим. наук, профессор, профессор РАН  
Воронежский государственный университет инженерных технологий  
Заведующая кафедрой физической и аналитической химии  
Российская Федерация, 394036, г. Воронеж,  
пр. Революции, д. 19  
тел. (473) 2 55-07-62  
e-mail: tak\_19@mail.ru

• Кравченко Андрей Альбертович, канд. техн. наук, доцент  
Военный учебно-научный центр  
Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»  
Начальник кафедры эксплуатации и ремонта аэродромно-технического обеспечения полетов  
Российская Федерация, 394064, г. Воронеж,  
ул. Старых Большевиков, д. 54 «А»  
e-mail: kravchenko\_an@mail.ru

• Чалый Алексей Владимирович  
Военный учебно-научный центр  
Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»  
Курсант факультета «Средства аэродромного и технического обеспечения полетов»  
Российская Федерация, 394064, г. Воронеж,  
ул. Старых Большевиков, д. 54 «А»  
тел. (473) 226-47-52

#### The Author

• Kochetova Zhanna Yu., Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor  
Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy»  
Associate Professor of Physics and Chemistry Department  
54 «A», Old Bolsheviks str., Voronezh, 394064, Russian Federation  
tel (473) 226-47-52  
e-mail: zk\_vva@mail.ru

• Kuchmenko Tatiana A., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of the RAS  
Voronezh State University of Engineering Technologies  
Head of Physical and Analytical Chemistry Department  
19, Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russian Federation  
tel (473) 2 55-07-62  
e-mail: tak\_19@mail.ru

• Kravchenko Andrey A., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor  
Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy»  
Head of Operation and Repair of Airfield Technical Support of Flights Department  
54 «A», Old Bolsheviks str., Voronezh, 394064, Russian Federation  
e-mail: kravchenko\_an@mail.ru

• Chaliy Aleksey V.  
Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy»  
Student of Means of Airfield Technical Flight Support Faculty  
54 «A», Old Bolsheviks str., Voronezh, 394064, Russian Federation  
tel (473) 226-47-52