

УДК 699.88

Новый подход к контролю утечек углеводородных жидкостей на борту летательного аппарата

Кондратенко В.С.*, Рогов А.Ю., Кобыш А.Н.*****

«МИРЭА – Российский технологический университет»,

проспект Вернадского, 78, Москва, 119454, Россия

**e-mail: vsk1950@mail.ru*

***e-mail: ray40@yandex.ru*

****e-mail: ank-78@mail.ru*

Аннотация

В работе рассматривается новый подход к обеспечению контроля утечек из топливной и гидравлической систем летательных аппаратов (ЛА) в полете, реализованный на основе сорбционного сенсорного кабеля, чувствительного к углеводородам. Показано, что традиционные способы контроля утечек авиационного топлива и рабочего тела гидравлической системы (авиационное масло), основанные на вычислительных алгоритмах, обладают существенными недостатками, а именно задержкой во времени обнаружения утечки и невозможности оперативного определения ее местоположения. Предложено альтернативное решение данных проблем – гравитационно-независимый сорбционный кабельный сенсор углеводородов (СКСУ), обладающий высокой чувствительностью к углеводородным жидкостям. Сорбционный механизм взаимодействия с жидкостью протечки, обеспечивающий его высокую

чувствительность, позволяет размещать СКСУ непосредственно на элементах топливной и гидравлической систем ЛА таким образом, чтобы вне зависимости от возможных направлений течи, обеспечить попадание жидкости на сорбционную оболочку кабеля. При выполнении этого условия обнаружение утечек жидкостей может производиться при любом положении ЛА в пространстве, в том числе при активном маневрировании, что значительно расширяет модельный ряд ЛА, на которых возможен контроль протечек с использованием СКСУ. Уникальные чувствительность и быстроедействие СКСУ позволяют рассматривать его как основу бортовых автоматизированных систем раннего обнаружения протечек в топливной и гидравлической системах ЛА. При построении систем обнаружения протечек для определения местоположения течей может быть использован зонный способ, с назначением контролируемому объекту отдельного кабеля или метод рефлектометрии при организации контроля на протяженных объектах.

Ключевые слова: утечка, углеводороды, авиационное топливо, авиационное масло, летательный аппарат, сорбционный сенсорный кабель, течь, рефлектометрия.

Введение

Целостность и исправность элементов топливной и гидравлической систем летательного аппарата являются критически важными для обеспечения безопасности полета. Исправность систем контролируется на основании измерительной информации от встроенных измерительных приборов о запасе, расходе, давлении и температуре жидкостей, которая обрабатывается

микроконтроллерами и поступает в систему управления общесамолётным оборудованием и на пульт пилота [1]. Надежность гидравлической система ЛА, обеспечивающей управление системами и механизмами, определяющими безопасность полета, достигается многократным резервированием и в случае отказа элемента одной из систем происходит автоматическое переключение на резервную систему. Таким образом, единичные отказ оборудования или протечка рабочего тела (авиационного масла), в большинстве случаев, не представляют опасности для продолжения полета [2]. Несмотря на то, что построение авиационных топливных систем и гидравлических систем должно основываться на единых принципах, обеспечивающих наивысшую надёжность и безопасность полётов, в настоящее время топливная система существенно проигрывает в надёжности и отказобезопасности в сравнении с гидравлической системой из-за отсутствия подобного резервирования систем. Отказ в топливной системе продолжает представлять непосредственную опасность для безопасности полета [3].

Проблемы контроля протечек на борту ЛА

Ярким примером, когда отсутствие информации о начале утечки авиатоплива на борту воздушного судна могла привести к трагическим последствиям, является авиaproисшествие с пассажирским лайнером Airbus A330-243 над Атлантикой [4]. В результате лопнувшего топливного шланга, питающего правый крыльевой бак, авиатопливо стало вытекать за борт со скоростью 4 л в секунду. Система контроля запасов топлива выдала звуковой сигнал и сообщение на приборную панель о его дисбалансе в крыльевых баках только через 20 минут. Экипаж лайнера, не имея

информации об утечке, запустил стандартную процедуру выравнивания запасов топлива в баках и выдал команду на перекачку топлива из левого крыльевого бака в правый, теряя топливо и из левого бака. Еще десять минут понадобилось командиру воздушного судна на оценку ситуации и принятие решения на совершение аварийной посадки. Потерянное топливо привело сначала к остановке правого двигателя, а затем и левого. Аварийная посадка совершалась на неработающих двигателях в режиме планирования. По счастливому стечению обстоятельств все 306 человек на борту остались живы и только 18 человек получили ранения.

В настоящее время авиалайнеры оснащены более совершенными системами контроля за расходом авиатоплива [5], изобретены и запатентованы новые способы и технические решения в этой области [6,7], однако у данных систем и способов имеются существенные недостатки, свойственные всем косвенным методам контроля – задержка во времени обнаружения утечки и невозможность оперативного определения ее местоположения.

Внедрение в состав комплексной системы электронной индикации и сигнализации современных ЛА [8] автоматизированной системы раннего обнаружения протечек углеводородных жидкостей, реализующей прямой способ детектирования протекших углеводородов специальными сенсорными датчиками, позволило бы решить данные проблемы.

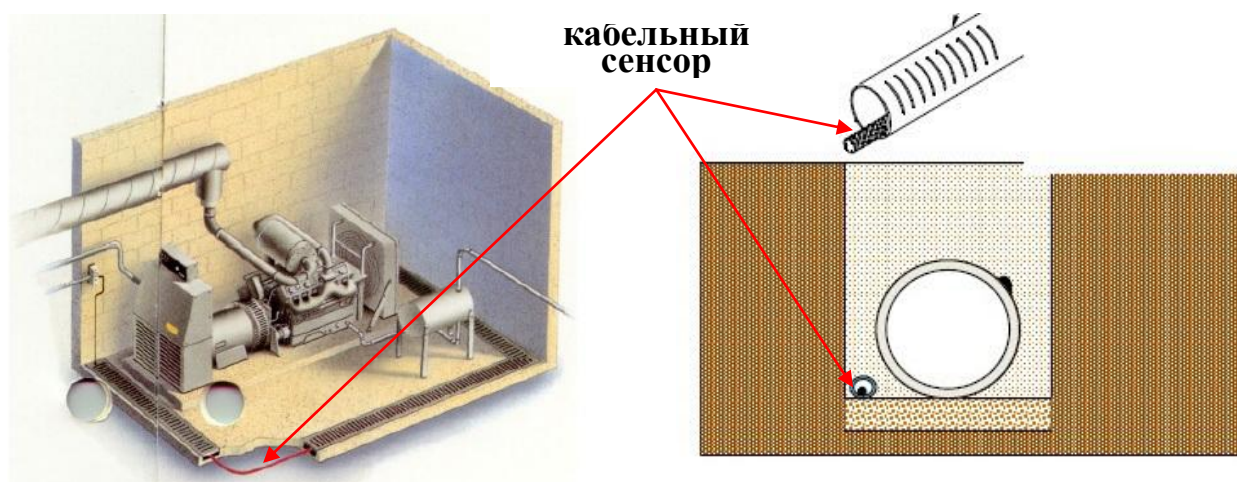
Существуют реальные предпосылки для создания таких систем на основе разработанного в Физико-технологическом институте РТУ МИРЭА датчика утечек углеводородных жидкостей, обладающего высокой чувствительностью и быстродействием [9].

Современные наземные системы контроля протечек углеводородов

В настоящее время получили распространение наземные системы контроля за утечками углеводородов (нефть, дизельное топливо, бензин, керосин, масла на углеводородной основе) на основе чувствительных к углеводородным жидкостям сенсоров. Созданы системы для детектирования протечек как в зданиях (резервные дизельгенераторы, продуктопроводы и топливные резервуары) так и для мониторинга подземных магистральных трубопроводов и наземных резервуаров-хранилищ [10-15].

Ведущий мировой производитель таких систем - международная компания TraceTek использует в качестве детекторов, чувствительных к воздействию углеводородных жидкостей, сенсорные кабели [16].

Например, сенсорный кабель для топлив и масел TT5000, производства этой компании, прокладывается в специальных желобах (рис. 1), расположенных ниже оборудования, резервуаров, магистральных трубопроводов и срабатывает при образовании вокруг какого-нибудь из его участков скопления протекшей жидкости (лужи).



а)

б)

Рис. 1. Размещения кабельного сенсора протечек углеводородов:

а) в зоне резервного дизельгенератора; б) в канале подземного магистрального трубопровода

При достаточном намокании электропроводящая оболочка кабеля ТТ5000 разбухает и, увеличиваясь в размерах, замыкает сенсорные провода, соединенные с измерительной аппаратурой [17]. Местоположение намокания кабеля (место протечки) определяется по значению изменившегося электрического сопротивления в результате замыкания цепи.

Данный принцип обнаружения протечки определяет существенные недостатки данного типа детектора:

- низкая чувствительность – для срабатывания необходимо скопление углеводородной жидкости (лужа);
- возможность размещения кабеля только на горизонтальной поверхности;
- относительно большое время реакции (до десятков минут в зависимости от типа жидкости), определяемое временем разбухания электропроводящей оболочки.

Перспективная отечественная разработка - углеводородный сенсор

Конструкция разработанного отечественного датчика углеводородных жидкостей в виде сенсорного кабеля (рис. 2) лишена этих недостатков.

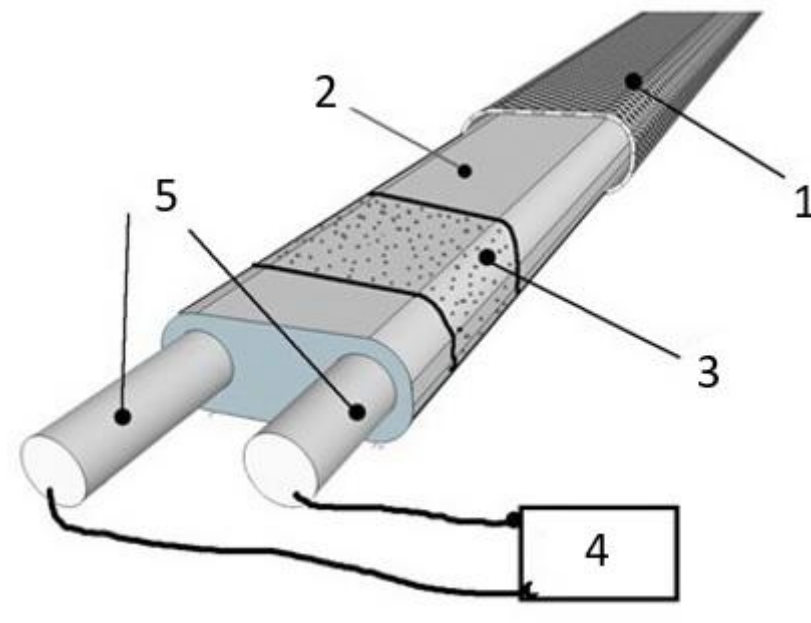


Рис. 2. Конструкция отечественного датчика углеводородных жидкостей

При соприкосновении сорбционной оболочки 1 с углеводородной жидкостью за счет сорбционного механизма впитывания, жидкость попадает на электропроводящую оболочку 2, электрические параметры которой изменяются в месте контакта 3. Измерительный блок 4, подключенный к сигнальным проводам 5 регистрирует эти изменения и после их обработки выдает сигнал о срабатывании датчика.

Высокая чувствительность созданного кабельного сенсора углеводородов обусловлена сорбционной оболочкой, которая относительно быстро впитывает в себя детектируемую жидкость, транспортируя ее к электропроводящему слою. По времени срабатывания СКСУ также опережает рассмотренный выше зарубежный аналог, так как у отечественного сенсора нет задержки на время механического разбухания электропроводящей оболочки.

Новизна технического решения сочетания сорбционной и электропроводящей

оболочек подтверждена рядом патентов авторов статьи [18,19].

Изготовленные по патентным решениям сорбционные гидро- паросенсорные кабели обладают высокой чувствительностью и впервые позволили решать задачи по обнаружению первых признаков протечек воды и прорывов пара: пятна сырости, микрокапли, микротечи, конденсат в любой точке пространства (3D сенсоры). Возможность размещения 3D сорбционного гидро- паросенсорного кабеля в местах наиболее вероятного появления протечек воды и прорывов пара позволяет резко сократить время обнаружения таких событий и принять превентивные меры для предотвращения развития ущерба. Результаты научных исследований и новые подходы в решении задач современной гидросенсорики представлены в работах [20-23].

Зарекомендовавший себя подход совместного использования сорбционной оболочки и оболочки из электропроводящего полимерного композита был реализован в образцах СКСУ (рис. 3).

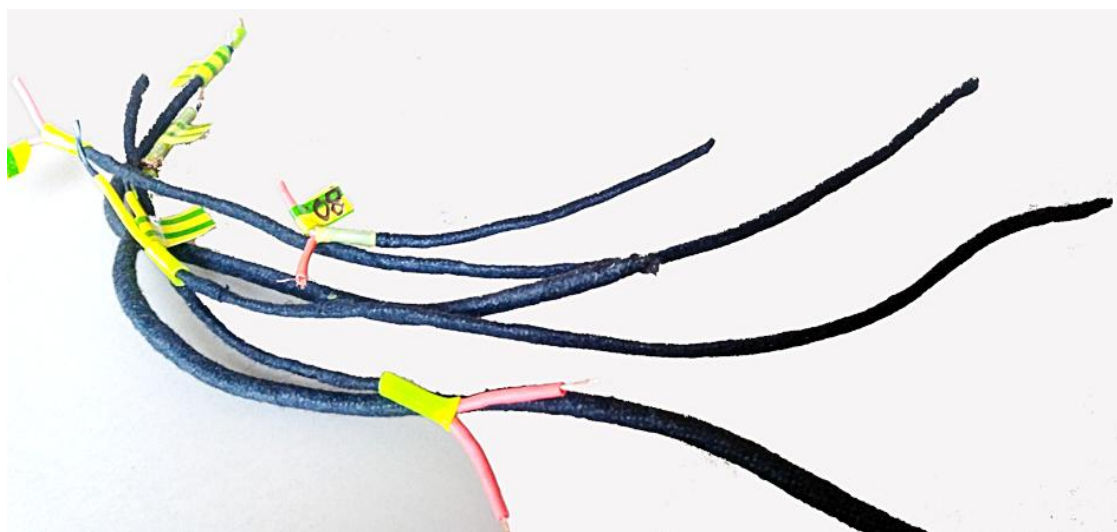


Рис. 3. Образцы сорбционного кабельного сенсора углеводородов

Исследования воздействия на СКСУ таких углеводородов как нефть и бензин подтвердили его инвариантность к месту размещения и малое время реакции на воздействие. Для срабатывания СКСУ нет необходимости в скоплении углеводородной жидкости (образования лужи вокруг кабеля), а достаточно лишь соприкосновения жидкости с сорбционной оболочкой. Это принципиальное отличие от аналогов позволяет прокладывать СКСУ не только на горизонтальных поверхностях, но и как в случае с сорбционным гидро- паросенсорным кабелем, в 3D пространстве - по точкам наиболее вероятного появления течей.

Экспериментально подтверждена способность СКСУ обнаруживать появление бензина за 6 секунд (рис. 4), что на порядок превышает по скорости срабатывания, например, французский кабельный сенсор углеводородов компании ТТК (6 мин) [24].



Рис. 4. Время реакции отечественного сенсора углеводородов на бензин

Следует также отметить, что после высыхания сорбционной оболочки СКСУ (испарения бензина) электрические параметры кабеля возвращались к

первоначальным значениям.

Перспективы создания бортовых автоматизированных систем раннего обнаружения протечек углеводородов

Уникальные чувствительность и быстроедействие СКСУ позволяют рассматривать его как основу бортовых автоматизированных систем раннего обнаружения протечек в топливной и гидравлической системах ЛА. Размещение СКСУ во внутреннем пространстве ЛА возможно в любых доступных местах и непосредственно на элементах систем (топливо- и маслопроводах, баках и резервуарах, насосах, элементах соединительной и запорной арматуры и др.), всевозможными способами, обеспечивающими перекрытие возможных направлений микротечей. При выполнении этих условий, СКСУ приобретает новое качество – гравитационно-независимого углеводородного кабельного сенсора, способного детектировать протечки авиатоплива или авиационного масла даже в условиях активного маневрирования ЛА, что значительно расширяет модельный ряд ЛА, на которых возможна установка таких систем.

Подходы к определению местоположения протечки на борту ЛА

Результаты исследований электрических характеристик СКСУ при воздействии на него углеводородов позволяют реализовать различные алгоритмы определения местоположения протечек на борту ЛА.

Принцип срабатывания сенсора при преодолении измеряемым параметром заданного порога позволяет реализовать зонный способ контроля протечек, когда

сенсорные кабели размещаются в своих зонах контроля и по номеру сработавшего кабеля определяется зона протечки. Такой способ оптимален для контроля отдельных элементов систем, например, топливных баков, перекачивающих насосов и др., но требует большого числа кабельных сенсоров с проводами коммутации. Вместе с тем, использование технических решений построения энергоэффективных беспроводных сенсорных сетей и многоканальных передающих устройств на базе микроконтроллеров [25,26] позволяет отказаться от проводных коммуникационных каналов передачи данных от СКСУ к блоку управления.

При контроле протяженных объектов, например, топливо- или маслопроводов с элементами соединительной и запорной арматуры, возможна прокладка всего нескольких отдельных кабелей, местоположения воздействий протечек на которые может быть определено методом рефлектометрии.

Заключение

Традиционные системы контроля топливных и гидравлических систем современных ЛА используют косвенные методы обнаружения утечек, которые не обеспечивают выдачу информации об этих критических событиях в реальном масштабе времени. Разработан отечественный сорбционный кабельный сенсор углеводородных жидкостей, превосходящий мировые аналоги по чувствительности и быстродействию детектирования таких углеводородов, как нефть, дизельное топливо, бензин, керосин, масла на углеводородной основе. Такие свойства кабельного сенсора позволяют рассматривать и применять его в качестве гравитационно-независимого сорбционного кабельного сенсора и строить на его

основе перспективные бортовые автоматизированные системы контроля протечек углеводородов.

Библиографический список

1. Воробьев В.Г., Глухов В.В., Кадышев И.К. Авиационные приборы, информационно-измерительные системы и комплексы. – М.: Транспорт, 1992. – 399 с.
2. Ефимова М.Г. Основы авиации. Часть 2. Конструкция и основные функциональные системы летательных аппаратов. – М.: МГТУГА, 2005. – 52 с.
3. Шумилов И.С., Шульжицкий А.А. Анализ надежности и отказобезопасности авиационных топливных систем, перспективы альтернативных путей повышения надёжности топливных систем // Наука и образование. 2017. № 2. С. 28 – 51.
4. Инцидент с A330 над Атлантикой. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Инцидент_с_A330_над_Атлантикой
5. Топливная система самолета Sukhoi Superjet 100. URL: <http://superjet.wikidot.com/wiki:fuel-system-spec>
6. Розин В.Ю., Шварцман М.Д.. Способ оповещения экипажа об утечке топлива на ла в полете. Патент РФ № 2240263. Опубликовано: 20.11.2004.
7. РИВО Жан-Люк (FR). Способ обнаружения утечки топлива в двигателе летательного аппарата и система для осуществления этого способа. Патент РФ № 2397920. Бюлл. № 24, 27.08.2010.
8. Кучерявый А.А. Бортовые информационные системы. – Ульяновск: УлТГУ, 2004. – 504 с.

9. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И. Датчик утечек углеводородных жидкостей. Заявка на патент № 2018111569 от 02.04.2018.
10. Alaska Department of Environmental Conservation (1999) Technical Review of Leak Detection Technologies, 1999, vol. 1, 31 p.
11. E. Orduña-Reyes and R. Téllez-García, Cable sensor para la Detección y Localización de Tomas Clandestinas en Ductos // Congreso Mexicano del Petróleo, Veracruz México, Junio 2009.
12. Semrad Leak Detection Systems, available at: <http://www.semrad.com.au/products/leak-detection-systems>
13. TTK – water and hydrocarbon leak detection systems, available at: http://www.ttkuk.com/about_ttk/who-are-we
14. Pentair. Hydrocarbon leak detection fm approvals – approved product news volume 29 – nov 2, 2013 reprint, available at: https://www.nventthermal.com/Images/EN-RaychemHydrocarbonLDFMAApproval-AR-H59085_tcm432-37573.pdf
15. Vacker Group. Hydrocarbon leak detection, available at: <https://www.vackergroup.ae/our-products/leak-detection/hydrocarbon-leak-detection>
16. TraceTek® leak detection systems, available at: <http://tracetek.uk.com>
17. Cable TraceTek TT 5000 for detection of hydrocarbon liquids, available at: http://tracetek.uk.com/tracetek_tt5000.php
18. Сакуненко Ю.И., Кондратенко В.С. Датчик утечек электропроводящих жидкостей. Патент РФ № 2545485. Бюлл. № 10, 10.04.2015.
19. Сакуненко Ю.И., Кондратенко В.С. Мультисенсорный датчик критических ситуаций. Патент РФ № 2536766. Бюлл. № 36. 27.12.2014.

20. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И. Сорбционный гидросенсорный кабель – новые возможности // Ритм. 2015. №1. С. 40 – 42.
21. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Бурляй Д.А. Новые достижения в гидросенсорике // Приборы. 2016. № 9. С. 28 – 31.
22. Кондратенко В.С., Рогов А.Ю., Сакуненко Ю.И., Сорокин А.В. Разработка методов определения места и размеров протечек с помощью сорбционного гидросенсорного кабеля // Контроль. Диагностика. 2018. №5. С. 32 – 37.
23. Кондратенко В.С., Кобыш А.Н., Рогов А.Ю., Бурляй Д.А., Сакуненко Ю.И. Способ повышения точности определения местоположения протечки воды с помощью сорбционного гидросенсорного кабеля // Контроль. Диагностика. 2018. № 6. С. 51 – 55.
24. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И. Высокочувствительные кабельные и точечные сенсоры для раннего обнаружения утечек углеводородов // XXIII Международный конгресс «Новые технологии газовой, нефтяной промышленности, энергетики и связи». Сборник трудов. (Сочи, 21 22 сентября 2017). - М.: Экономика, 2018. С. 149 – 151.
25. Удодов А.Н. Анализ возможностей построения энергоэффективных беспроводных сенсорных сетей для мониторинга работы двигателей // Труды МАИ. 2014. № 74. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=49303>
26. Фам В.А., Зыонг Д.Х., Нгуен Д.Т. Применение микроконтроллера atmega16 в многоканальном передающем устройстве // Труды МАИ. 2012. № 50. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=28847>