

# Технология удаленного мониторинга пространственного положения пилотируемого летательного аппарата и состояния его бортовых систем в режиме реального времени

Кулешов С. В., Зайцева А. А., Аксенов А. Ю.

ФГБУН Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН  
Санкт-Петербург, Россия

kuleshov@iiias.spb.su, cher@iiias.spb.su, a\_aksenov@iiias.spb.su

**Аннотация.** Статья посвящена описанию технологии удаленного мониторинга пространственного положения пилотируемого летательного аппарата (ЛА) (на примере вертолета) и состояния бортовых систем в режиме реального времени. Показано, что применение в долгосрочной перспективе SDR-технологии для решения задачи удаленного мониторинга характеристик пространственного положения вертолета и состояния бортовых систем в режиме реального времени повысит эффективность использования радиоканала, обеспечивая возможность мониторинга ЛА в реальном времени.

**Ключевые слова:** удаленный мониторинг, технология SDR, летательный аппарат, радиоканал, канал передачи данных.

## ВВЕДЕНИЕ

Традиционная концепция «черного ящика», предполагающая накопление и хранение эксплуатационных параметров технического объекта в режиме off-line, полностью изменяется за счет возможности непрерывного on-line интерактивного обмена со стационарным центром контроля и управления. При этом такой обмен возможен не только в пределах зоны радиообмена, но и в любой точке виртуального коммуникационного пространства, обеспечиваемого операторами сотовых сетей и областью покрытия спутниковой связи.

При таком обмене появляется также возможность симуляционного управления летательным аппаратом (ЛА) в режиме on-line, т. е. программируемая адаптация системы к условиям окружающей обстановки по анализу текущей ситуации на сенсорные изменения. Комплекс датчиков и систем связи представляет собой сенсорное поле ЛА. Технический объект как бы видит и понимает себя в окружающей обстановке.

Окружающая обстановка дополняется списком ограничений для заданной целевой функции ЛА, при этом формируются параметры контроля, которые сопоставляются с физически допустимыми нормами поведения объекта в той среде, в которой он находится.

Техническая система должна иметь запас по сенсорным возможностям. При этом важно подчеркнуть, что резервирование сенсорных возможностей должно быть не только физическим, но и логико-семантическим (так, для получения данных по высоте ЛА могут использоваться данные с барометрического датчика, приемника GPS и системы инерциальной навигации).

Концепция симуляции включает в себя принцип виртуализации обстановки (virtual environment) вокруг ЛА [1, 2]. Реализация этого принципа происходит путем интеграции данных положения навигационной системы (GPS, ГЛОНАСС), картографических данных, спутниковых снимков земной поверхности и данных с бортовой камеры ЛА. Интегрированные данные представляются с привязкой к картографии и оказываются связанными с географическим и ситуационным контекстом (рис. 1).

Анализ имеющейся эксплуатационной документации на некоторые типы ЛА, производимые в РФ [3–9], технических материалов описания перспективных бортовых комплексов связи, систем сбора и регистрации полетной информации [9–11], а также нормативных документов на некоторые типы бортового оборудования ЛА [12, 13] позволил сформулировать набор требований и ограничений, в рамках которых целесообразно разрабатывать технологию удаленного мониторинга характеристик пространственного положения вертолета и состояния бортовых систем в режиме реального времени.

В рамках данной технологии предлагаются следующие основные режимы работы канала передачи данных системы мониторинга:

- стандартный режим – связь с диспетчерами и руководителем полетов, связь с другими бортами, получение метео- и дополнительных данных об окружающей обстановке;
- режим внешнего управления – к стандартному режиму в восходящем канале добавляются каналы продольно-поперечного управления, каналы управления шаг-газом и т. д. В нисходящем канале добавляется расширенная телеметрическая информация (высота, воздушная скорость, режимы работы двигателей, навигационные данные, по возможности – видеопоток с бортовых камер);
- режим расширенной журнализации (внешний «черный ящик») – в опасных или аварийных режимах (включается по некоторому условию или событию) в нисходящий канал добавляются телеметрические данные, дублирующие потоки данных, записываемые в бортовой самописец;
- режим повышения осведомленности об окружающей обстановке (в сложных условиях полета, при подходе к взлетно-посадочной полосе и т. п.) – к восходящему каналу добавляются данные о пространственном положении других ЛА, находящихся поблизости, расширенная метеоинформация с наземных радаров, данные о рельефе местности.

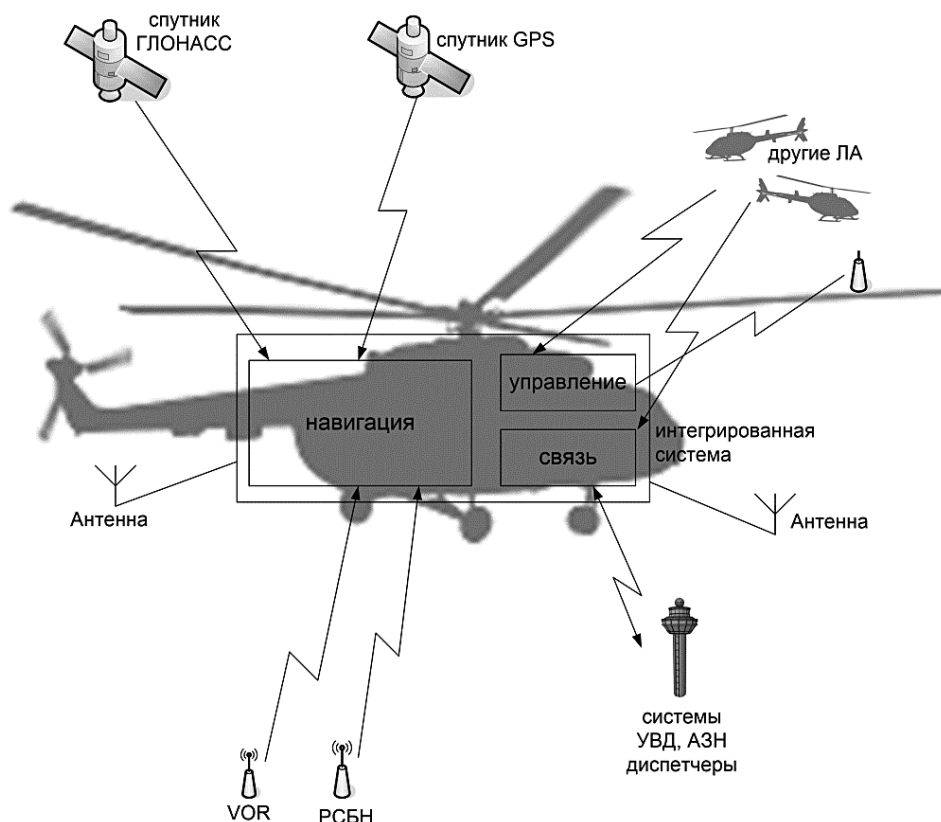


Рис. 1. Иллюстрация коммуникационной платформы на основе технологии SDR

Кроме того, должна поддерживаться возможность добавления дополнительных каналов управления навесным оборудованием, устанавливаемым на борту.

Наземный оператор-диспетчер в любой момент может затребовать расширенную телеметрию (в том числе весь поток данных, записываемый бортовым самописцем), для устранения неопределенности в пространственном положении и режимах работы бортовых систем ЛА без привлечения для этого экипажа.

#### ТЕХНОЛОГИИ ОРГАНИЗАЦИИ КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Обзор рекомендаций МАК [14], предложений от компании Airbus [15] и ряда существующих перспективных технологий [16–18] позволил провести сравнительный анализ применимости имеющихся и перспективных радиосистем для решения задачи удаленного мониторинга характеристик пространственного положения вертолета и состояния бортовых систем в реальном времени (см. таблицу).

Сравнительная характеристика технологий организации канала передачи данных

Технология	Достоинства	Недостатки
ACARS, CPDLC	Возможность использования существующей инфраструктуры и оборудования	Необходимо существенно доработать стандарты и оборудование. Требуется дополнительное развитие инфраструктуры. Низкая скорость передачи данных
ADS-B, ADS-C/A	Возможность использования существующей инфраструктуры и оборудования	Необходимо существенно доработать стандарты и оборудование. Низкая скорость передачи данных
Выделенный спутниковый канал	Возможность организации канала с высокой пропускной способностью, позволяющего обеспечивать непрерывную передачу всех параметров во время всего полета	Необходимо создать спутниковую группировку Необходимо наличие направленных антенн (проблемы с использованием НВ на вертолетах)
Выделенный радиоканал	Возможность передачи всех параметров полета после события. Подходит для передачи данных по событию на заранее заданной частоте	Необходимость выделения и согласования рабочей частоты в ГКРЧ
Интернет-модемы	Позволяет решать задачу для вертолетов с их спецификой работы	Существующая зона покрытия не позволяет решать задачу
SDR-based технологии	Объединяет преимущества всех радиоканалов, позволяя использовать доступные радиосредства на данной конкретной территории	Недостаточное количество готовых к использованию решений. Требуется дополнительные исследования

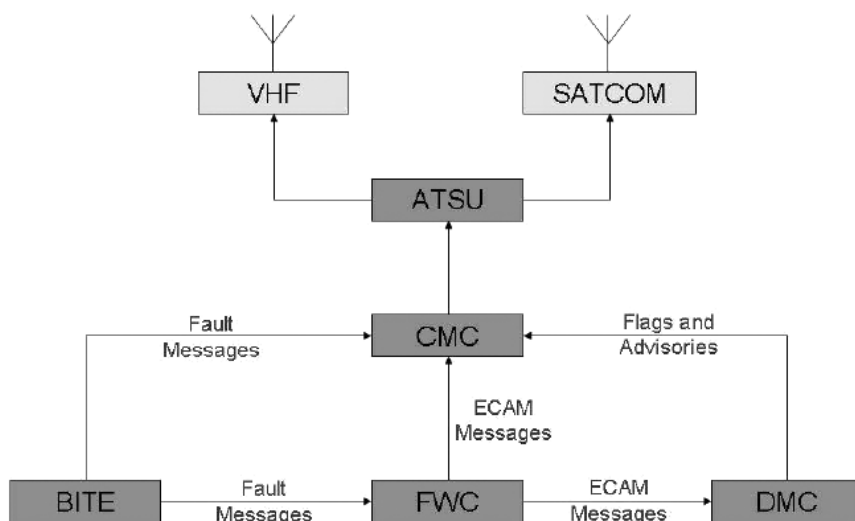


Рис. 2. Структурная схема системы ACARS

Сравнительный анализ возможностей различных технологий организации нисходящего канала передачи данных применительно к задаче мониторинга характеристик пространственного положения вертолета и состояния бортовых систем в реальном времени показал следующее:

1) технологии ACARS (адресно-отчётная система авиационной связи) и CPDLC являются готовыми средствами передачи данных при наличии соответствующей инфраструктуры. В отсутствие наземных средств для работы ACARS в интересующей зоне работы вертолетов использование указанных систем экономически нецелесообразно (рис. 2, 3);

2) использование каналов ADS-B, ADS-C/A за счет расширения формата сообщений, передаваемых трансивером. Режим расширенных сообщений может активироваться по событию и соответствовать режиму расширенной журнализации. Возможен сбор данных с использованием технологии краудсорсинга, т. е. путем передачи некоторых функций неопределённому кругу лиц для решения общественно значимых задач силами добровольцев (использующих приемники ADS-B и способных принимать данные о расширенной журнализации с их сохранением и передачей в системы сбора и хранения (облачные сервисы)). Подобные технологии используются, например, в сервисах Flightradar24 [19];

3) выделенный радиоканал (при использовании радиомодема и средств множественного доступа) позволяет организовать канал передачи данных для мониторинга в режиме реального времени характеристик пространственного положения вертолета и состояния его бортовых систем. Внедрение такого решения связано с получением пула частот в Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) и с созданием соответствующих радиомодемов. В качестве переходного рабочего решения на время внедрения других технологий можно рекомендовать использовать выделенную частоту в авиационном диапазоне с применением радиомодема для передачи данных расширенной журнализации по событию (рис. 4) из списка рекомендаций [14]. При этом в зоне радиодоступности должен находиться приемный пункт, готовый записывать передаваемые с ЛА данные;

4) выделенный спутниковый канал позволяет создать канал передачи данных с высокой пропускной способностью, позволяющий обеспечивать непрерывную передачу всех параметров во время всего полета. Данный вариант экономически целесообразен при возможности использования существующих спутниковых каналов связи и при необходимости обеспечения в качестве зоны покрытия обширной географической территории, в том числе при невозможности физического доступа на эту территорию. Возможны технические трудности при установке на ВС направленных спутниковых антенн, особенно на вертолетах в связи с наличием несущего винта [15];

5) применение технологий передачи данных с использованием общественных сетей передачи данных (совокупность GSM/LTE-радиомодемов и сети Интернет) возможно при использовании вертолетов на малых высотах вблизи населенных пунктов, имеющих надежное покрытие базовыми станциями сотовых сетей;

6) технологии передачи данных на основе SDR способны объединять преимущества всех радиоканалов, позволяя использовать доступные радиосредства на данной конкретной территории. В качестве коммуникационной инфраструктуры предлагается использовать концепцию программируемого радиоканала (SDR), применяя ее для задач передачи сенсорных данных, а также используя ее в качестве базовой цифровой платформы для навигационной и локационной аппара-

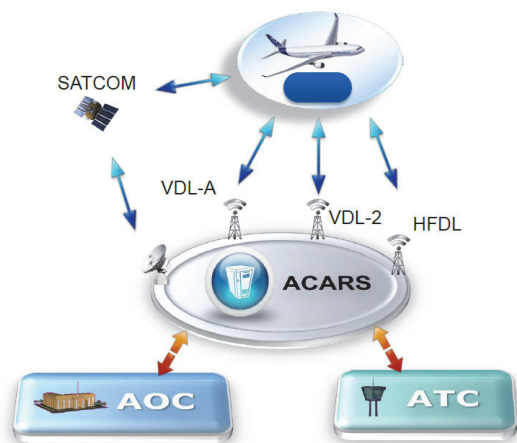


Рис. 3. Применение технологии ACARS для передачи данных

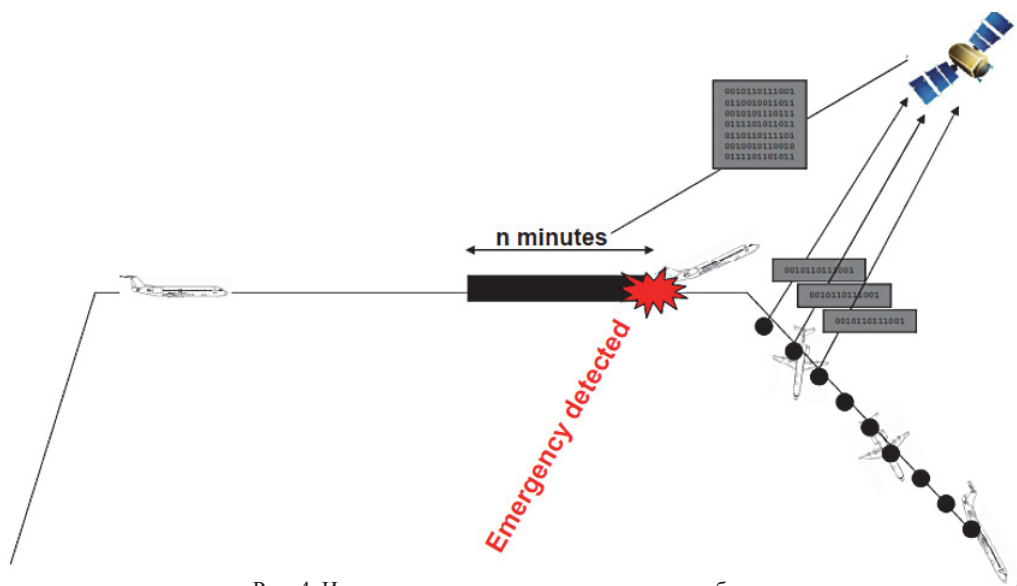


Рис. 4. Иллюстрация принципов передачи по событию

туры. Главными достоинствами цифровой платформы SDR является возможность гибкой адаптации к радиообмену с различными унаследованными системами без модернизации оборудования, а также потенциально большое количество одновременно поддерживаемых протоколов локационных, навигационных и коммуникационных систем, что особенно актуально при использовании ЛА в разных географических зонах. Это позволит передать часть интеллектуальных функций пилотирования (в пределе – беспилотное управление) на компьютерные системы искусственного интеллекта, расширяя функции эргономики за счет интеллектуального интерфейса при контроле управления и принятии решения (см. рис. 1), устраняя противоречия, неопределенности, неадекватность управления по результатам непрерывного мониторинга [1, 2].

Таким образом, в соответствии с анализом целесообразно в долгосрочной перспективе использовать технологии на основе SDR [19–23], а в переходный период – совокупность GSM/LTE-радиомодемов сети Интернет и радиомодемов, работающих в авиационном диапазоне на выделенной частоте для передачи данных по событию.

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Предлагаемое решение для переходного периода технически легко реализуется на имеющейся технологической платформе путем объединения и адаптации стандартных программных и аппаратных средств под конкретную задачу.

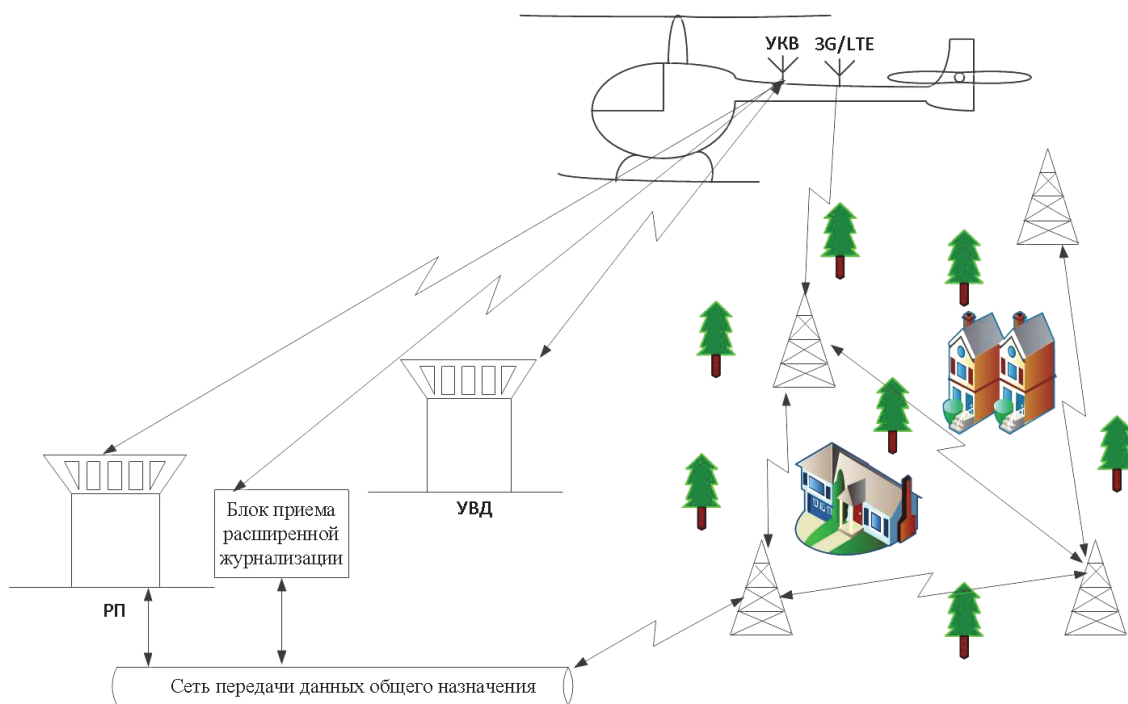


Рис. 5. Структурная схема организации мониторинга

Предлагаемая в долгосрочной перспективе SDR-технология, основные принципы которой описаны в [20–23], с одной стороны, качественно и количественно улучшит характеристики радиоканала, обеспечивая возможность мониторинга ЛА в реальном времени. При этом технические ограничения на количество подвергаемых одновременному мониторингу ЛА в большинстве случаев снимаются. С другой стороны, данная технология обеспечивает поддержку унаследованных технологий переходного периода. Структурная схема предлагаемого решения приведена на рис. 5.

#### УРОВЕНЬ СТАНДАРТИЗАЦИИ И УНИФИКАЦИИ

Основные компоненты предлагаемого решения на достаточном уровне стандартизированы и сертифицированы и применяются, в частности, на самолетах.

Использование готовых реализаций радиоканалов позволяет обеспечить высокий уровень стандартизации без существенных экономических затрат, несмотря на новизну технических предложений.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа существующих предложений МАК и решений от Airbus стало очевидно, что создание отдельной инфраструктуры в виде сети наземных приемных станций (аналога ACARS) или отдельной спутниковой группировки не подходит для вертолетов. Соответственно, в связи со спецификой использования вертолетов (высоты, дальности полетов, наличия НВ, ограничивающего применение некоторых видов антенн) предлагается рассмотреть два основных подхода:

1) построить радиомодемы на базе имеющихся средств радиосвязи или на базе выделенных радиостанций;

2) применить радиомодемы с использованием сети Интернет (в зоне действия инфраструктуры сетей сотовой связи).

Применение в долгосрочной перспективе SDR-технологии для решения задачи удаленного мониторинга характеристик пространственного положения вертолета и состояния бортовых систем в реальном времени, с одной стороны, повысит эффективность использования радиоканала, обеспечивая возможность мониторинга ЛА в реальном времени. При этом технические ограничения на количество подвергаемых одновременному мониторингу ЛА в большинстве случаев снимаются. С другой стороны, данная технология обеспечивает поддержку унаследованных технологий переходного периода.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В. В. Предложения к созданию системы мониторинга в режиме реального времени характеристик пространственного положения вертолета и состояния бортовых систем с использованием технологии удаленного доступа (система «борт – черный ящик – наземный пункт») / В. В. Александров, С. В. Кулешов // Сб. науч. работ, посвященный 15-летию организации подразделения эргономики в ОАО «МВЗ им М. Л. Миля»; под ред. д. м. н. А. В. Чунтула. – Т. 1. – М.: Когито-Центр, 2015. – С. 60-65.
2. Александров В. В. Инженерно-эргономическое обоснование и разработка интеллектуальной системы оценки функционального состояния летных экипажей и специали-

стов операторского профиля / В. В. Александров, С. В. Кулешов // Сб. науч. работ, посвященный 15-летию организации подразделения эргономики в ОАО «МВЗ им М. Л. Миля»; под ред. д. м. н. А. В. Чунтула. – Т. 1. – М.: Когито-Центр, 2015. – С. 153-158.

3. Руководство по летной эксплуатации Ми-8. – М.: Мин-во транспорта РФ, 1994. – 211 с.

4. Руководство по летной эксплуатации Ми-17. – Казань: Казан. вертолетный завод, 1999. – 236 с.

5. Руководство по технической эксплуатации вертолета Ми-8 АМТШ: учеб. пособие. – М.: Воениздат, 2004. – 402 с.

6. Руководство по технической эксплуатации Ми-17. – М.: Мин-во транспорта РФ, 1996.

7. Комплексы бортового оборудования вертолетов Ка-226 Т и Ми-171 А2. – Ульяновск: Ульяновское конструкторское бюро приборостроения, 2014. – 13 с.

8. РТО вертолета МИ-8, оборудованного системой регистрации параметров с бортовым устройством регистрации БУР-1-2Ж. – М.: Воздуш. транспорт, 1993. – 52 с.

9. Модуль связи и передачи данных – URL: [http://www.prima.nnov.ru/products/moduli\\_svyazi/MSPD\\_S](http://www.prima.nnov.ru/products/moduli_svyazi/MSPD_S) (дата обращения 17.03.2016).

10. Бортовые комплексы связи – URL: [http://www.prima.nnov.ru/products/bortovie\\_kompleksi\\_svyazi/BKSS](http://www.prima.nnov.ru/products/bortovie_kompleksi_svyazi/BKSS) (дата обращения 17.03.2016).

11. Малогабаритная система сбора и регистрации полётной информации МБР-ГА-01 – URL: <http://www.aviaavtomatika.ru/production/013> (дата обращения 17.03.2016).

12. ОСТ 1 03996-81. Накопители эксплуатационные бортовых устройств регистрации. Типы, основные параметры и технические требования.

13. ОСТ 1 00774-98. Система сбора и обработки полетной информации самолетов (вертолетов). Общие технические требования.

14. Международный авиационный комитет. Перспективы передачи данных по линии борт – земля в целях обеспечения расследования авиационных происшествий и повышения уровня безопасности полетов // Междунар. семинар «Безопасность полетов: техника, человек, среда – 2011». – М., 2011.

15. AIRBUS solutions and roadmap // ICAO Seminar on the Implementation of G/G and A/G Datalink Application in the SAM Region. – Sept. 2012.

16. Introducing ACARS – URL: <http://www.universal-radio.com/catalog/decoders/acars.pdf> (дата обращения 17.03.2016).

17. The Official FAA ADS-B Website – URL: <http://www.faa.gov/nextgen/programs/adsb> (дата обращения 17.03.2016).

18. Bard J. Software Defined Radio The Software Communications Architecture / J. Bard, J. V. Kovarik. – John Wiley & Sons, Ltd, 2005. – 462 p.

19. Flightradar24.com – Live flight tracker! – URL: <https://www.flightradar24.com> (дата обращения 17.03.2016).

20. Кулешов С. В. Программируемый канал для организации передачи сенсорных данных / С. В. Кулешов // Радиотехника. – 2011. – № 6. – С. 56-58.

21. Кулешов С. В. Реконфигурируемая коммуникационная платформа передачи радиолокационных данных / С. В. Кулешов // Вопр. радиоэлектроники. – 2010. – Вып. 1. – С. 173-177.

22. Александров В. В. Цифровая технология инфокоммуникации. Передача, хранение и семантический анализ текста, звука, видео / В. В. Александров, С. В. Кулешов, О. В. Цветков. – СПб.: Наука, 2008. – 244 с.

23. Кулешов С. В. Гибридные кодеки и их применение в цифровых программируемых каналах передачи данных / С. В. Кулешов // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2012. – Т. 10, № 5. – С. 41-45.

Исследование выполнено при частичной поддержке бюджетной темы №0073-2014-0005.

# The Technology of the Remote Real-time Monitoring of the Manned Aircraft Spatial Position and Onboard Systems Status

Kuleshov S. V., Zaytseva A. A., Aksenov A. Y.  
St-Petersburg Institution for Informatics and Automation of RAS  
St.-Petersburg, Russia  
kuleshov@iias.spb.su, cher@iias.spb.su, a\_aksenov@iias.spb.su

**Abstract.** The paper considers the technology of remote real-time monitoring of the manned aircraft spatial position (on example of helicopter) and onboard systems status. It is shown that the implementation of SDR technology to the task of remote manned aircraft monitoring in longtime perspective will improve the radio channel characteristics providing real-time monitoring capability.

**Keywords:** remote monitoring, SDR technology, aircraft, radio channel, data transmission channel.

## REFERENCES

1. Alexandrov V. V., Kuleshov S. V. Proposals for the Creation of Real-time Monitoring System Performance Attitude of the Helicopter and the State of On-board Systems Using Remote Access Technologies (System “on-board – black box – ground station”). [Predlozheniia k sozdaniiu sistemy monitoringa v rezhime real'nogo vremeni kharakteristik prostranstvennogo polozheniia vertoleta i sostoianiia bortovykh sistem s ispol'zovaniem tekhnologii udalennogo dostupa (sistema «bort-chernyi iashchik-nazemnyi punkt»)], *Sb. nauchnykh rabot, posviashchennyi 15-letiiu organizatsii podrazdeleniia ergonomiki v OAO «MVZ im M. L. Milia»*. Pod red. d. m. n., laureata premii Pravitel'stva RF v ob-lasti nauki i tekhniki A. V. Chuntula [Coll. of Scientific Papers Dedicated to the 15th Anniversary of the Organization of Ergonomics Department in Mil Moscow Helicopter Plant.], Moscow, Cogito-Centre, 2015, vol.1, pp. 60-65.
2. Alexandrov V. V., Kuleshov S. V. Engineering Feasibility Study and Development of Intelligent System Evaluating the Functional Status of the Flight Crews and Specialists Carrier Profile [Inzhenerno-ergonomicheskoe obosnovanie i razrabotka intellektual'noi sistemy otsenki funktsional'nogo sostoianiia letnykh ekipazhei i spetsialistov operatorskogo profil'ia] *Sb. nauchnykh rabot, posviashchennyi 15-letiiu organizatsii podrazdeleniia ergonomiki v OAO «MVZ im M. L. Milia»*. Pod red. d. m. n., laureata premii Pravitel'stva RF v ob-lasti nauki i tekhniki A. V. Chuntula [Coll. of Scientific Papers Dedicated to the 15th Anniversary of the Organization of Ergonomics Department in Mil Moscow Helicopter Plant.], Moscow, Cogito-Centre, 2015, vol. 1, pp. 153-158.
3. *Rukovodstvo po letnoi ekspluatatsii Mi-8* [The Flight Manual Mi-8], Moscow, 1994, 211 p.
4. *Rukovodstvo po letnoi ekspluatatsii Mi-17* [The Flight Manual Mi-17], Kazan, 1999, 236 p.
5. *Rukovodstvo po tekhnicheskoi ekspluatatsii vertoleta Mi8-AMTSh: uchebnoe posobiye* [Guidelines for the Technical Operation of the Helicopter Mi-8AMTSh: study guide], Moscow, Voentizdat, 2004, 402 p.
6. *Rukovodstvo po tekhnicheskoi ekspluatatsii vertoleta Mi-17* [Guidelines for the Technical Operation of the Helicopter Mi-17], Moscow, 1996.
7. *Kompleksy bortovogo oborudovaniia vertoletov Ka-226T i Mi-171A2* [Complexes of Avionics Ka-226T and the Mi-171A2]. Ulyanovsk, Ul'ianovskoe konstruktorskoe biuro priborostroeniia, 2014, 13 p.
8. *RTO vertoleta MI-8, oborudovannogo sistemoi registratsii parametrov s bortovym ustroistvom registratsii BUR-1-2Zh*. Moscow, Vozdushnyi transport, 1993, 52 p.
9. Communication and Data Transmission Module. Available at: [http://www.prima.nnov.ru/products/moduli\\_svyazi/MSPD\\_S](http://www.prima.nnov.ru/products/moduli_svyazi/MSPD_S) (accessed 17 March 2016).
10. Airborne Communication System. Available at: [http://www.prima.nnov.ru/en/products/bortovie\\_kompleksi\\_svyazi/BKSS](http://www.prima.nnov.ru/en/products/bortovie_kompleksi_svyazi/BKSS) (accessed 17 March 2016).
11. <http://www.aviaavtomatika.ru/production/013> (accessed 17 March 2016).
12. Industry Standart 1 03996-81. *Nakopiteli ekspluatatsionnye bortovykh ustroistv registratsii. Tipy, osnovnye parametry i tekhnicheskie trebovaniia* [Drives Operating Onboard Recording Devices. Types, Basic Parameters and Technical Requirements].
13. Industry Standart 100774-98. *Sistema sbora i obrabotki poletnoi informatsii samoletov (vertoletov). Obshchie tekhnicheskie trebovaniia*. [Flight Data Collection and Processing System Aircraft (Helicopters). General Technical Requirements].
14. Interstate Aviation Committee (IAC). Data Prospects for Air-ground Line to Ensure the Investigation of Accidents and Increase Safety [Perspektivy peredachi dannykh po linii bort-zemlia v tseliakh obespecheniia rassledovaniia aviatsionnykh proisshestvii i povysheniia urovnia bezopasnosti poletov], *Int. Workshop “Safety: Equipment, People, Environment 2011”*, Moscow, 2011.
15. AIRBUS Solutions and Roadmap//ICAO Seminar on the Implementation of G/G and A/G Datalink Application in the SAM Region. – Sept. 2012.
16. Introducing ACARS. Available at: <http://www.universal-radio.com/catalog/decoders/acars.pdf> (accessed 17 March 2016).
17. The Official FAA ADS-B Website. Available at: <http://www.faa.gov/nextgen/programs/adsb> (accessed 17 March 2016).
18. Bard J., Kovarik Vincent J. *Software Defined Radio The Software Communications Architecture*. John Wiley & Sons, Ltd. 2005, 462 p.

19. Flightradar24.com – Live Flight Tracker! Available at: <https://www.flightradar24.com> (accessed 17 March 2016).

20. Kuleshov S. V. Programmable Channel to Arrange the Transfer of Sensor Data [Programmiruemyi kanal dlia organizatsii peredachi sensornykh dannykh]. *Radiotekhnika [Radio-technics]*, 2011, no. 6, pp. 56-58.

21. Kuleshov S. V. Reconfigurable Communication Platform of Radar Data Transmission [Rekonfiguriruemaia kommunikatsionnaia platforma peredachi radiolokatsionnykh dannykh], *Voprosy radioelektroniki [Questions of radio-electronics]*, 2010, Is. 1, pp. 173-177.

22. Alexandrov V. V., Kuleshov S. V., Tsvetkov O. V. *Tsifrovaia tekhnologiia infokommunikatsii. Peredacha, khranenie i semanticheskii analiz teksta, zvuka, video* [The digital Information Communications Technology. Transmission, Storage and Semantic Analysis of Text, Audio, Video], St. Petersburg, Nauka, 2008, 244 p.

23. Kuleshov S. V. Hybrid Codecs and their Use in Programmable Digital Data Transmission Channels [Gibridnye kodeki i ikh primenenie v tsifrovyykh programmiruemykh kanalakh peredachi dannykh], *Informacionno-izmeritel'nye i upravljajushhie sistemy [Information-measuring and control systems]*, 2012, no. 5, Vol. 10, pp. 41-45.