

Г. В. Анцев¹, В. В. Александров², С. В. Кулешов², А. А. Зайцева²

¹ АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»», Санкт-Петербург, Россия, ² Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, Санкт-Петербург, Россия

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АВИАЦИИ

В работе проведено обобщение перспективных технологий для применения в пилотируемых, дистанционно пилотируемых и беспилотных летательных аппаратах, частично рассмотренных авторами в предыдущих исследованиях. Предложена технология удаленного мониторинга пилотируемого летательного аппарата в режиме реального времени на основе концепции программно определяемого радиоканала (SDR). Показано, что использование концепции SDR в качестве основы инфокоммуникационной инфраструктуры беспилотных авиационных систем обеспечивает возможность решения задач сбора, обработки и передачи сенсорных данных, а также построения базовой цифровой платформы для навигационной и локационной аппаратуры. В работе также рассмотрена технология для решения задачи висения над заданной точкой, точного взлета и посадки с использованием совокупности оптической системы стабилизации, основанной на методах компенсации движения с помощью компьютерного зрения и системы стабилизации на основе GPS.

Ключевые слова: программно определяемый радиоканал, технология удаленного мониторинга, беспилотные авиационные системы, летательный аппарат, система компьютерного зрения.

Для цитирования: Анцев Г. В., Александров В. В., Кулешов С. В., Зайцева А. А. Перспективные инфокоммуникационные технологии для авиации // Радиопромышленность. 2017. № 4. С. 103–109.

G. V. Antsev¹, V. V. Alexandrov², S. V. Kuleshov², A. A. Zaytseva²

¹ Research and Production Enterprise Radar mms, Saint-Petersburg, Russia, ² St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia

PERSPECTIVE INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES FOR AVIATION

The paper summarizes advanced technologies for use in manned, remotely manned and unmanned aircrafts, partially considered and proposed by the authors in previous research. A technology for remote monitoring of a manned aircraft in real time is proposed based on the software-defined radio channel concept (SDR). It is demonstrated that the use of the SDR concept as the basis of the information and communications infrastructure of unmanned aerial systems provides the ability to solve problems of collecting, processing and transmitting sensory data, as well as developing a basic digital platform for navigation and location equipment. The paper also considers technology for solving the problem of static hovering, accurate launch and landing using a combination of an optical stabilization system based on methods of motion compensation using computer vision and a GPS-based stabilization system.

Keywords: software-defined radio channel, remote monitoring technology, unmanned aerial systems, aircraft, computer vision system.

For citation: Antsev G. V., Alexandrov V. V., Kuleshov S. V., Zaytseva A. A. Perspective infocommunication technologies for aviation. Radiopromyshlennost, 2017, no. 4, pp. 103–109 (In Russian).

DOI 10.21778/2413-9599-2017-4-103-109

Введение

Новые технологии, известные по фантастическим фильмам и компьютерным играм, обычно запыдают с приходом в реальную авиацию.

На сегодняшний день уже готов ряд технологических решений, которые могут быть использованы на летательных аппаратах (ЛА). Одним из таких решений является возможность заменить «черный

ящик» на систему непрерывной передачи параметров летательного аппарата на землю, объединить все коммуникационные и навигационные системы в единую программно-управляемую коммуникационно-навигационную платформу [1, 2], повысить безопасность полетов за счет опережающей симуляции развития полетной ситуации [3]. Использование технологии компьютерного зрения может способствовать повышению эффективности работы беспилотных ЛА вертолетного и мультироторного типа вблизи поверхности земли, функционирующих в автоматическом режиме [2].

Рассмотрим эти перспективные технологии подробнее.

Программно определяемая коммуникационно-навигационная платформа ЛА

Развитие систем управления ЛА ориентировано на максимальное уменьшение участия человека в процессе управления ЛА. Функциональные возможности систем управления постепенно смещаются от непосредственного управления оператором всеми функциями ЛА к беспилотному режиму, минуя стадию управления ЛА посредством «электронного помощника». При этом их реализация в целом меняется от реализации сервисных функций на основе данных, полученных со штатных датчиков (удержание курса, высоты, скорости) к реализации полного цикла управления ЛА на основе не только собственных датчиков, но и внешнего сенсорного поля, полностью исключив из него участие человека [3].

В [4] сформулирована сетевая модель принятия решений, представляющая наиболее перспективной с точки зрения разработки

современных систем управления ЛА. Ее отличительной особенностью является использование не только собственных сенсорных систем ЛА, но и внешних данных, получаемых со спутников, наземных комплексов или с других ЛА. Эти особенности позволяют использовать такую сетевую модель при разработке программно определяемой цифровой платформы, несомненным достоинством которой является возможность гибкой адаптации к радиообмену с более новыми системами без необходимости модернизации оборудования. Другое преимущество программно определяемой цифровой платформы состоит в возможности одновременно поддерживать большое количество протоколов, используемых в локационных, навигационных и коммуникационных системах, что особенно актуально при использовании ЛА в различных географических зонах. Таким образом, происходит передача части интеллектуальных функций управления ЛА компьютерным интеллектуальным системам (рис. 1).

Использование концепции SDR в качестве основы инфокоммуникационной инфраструктуры беспилотных авиационных систем обеспечивает возможность решения задач сбора, обработки и передачи сенсорных данных, а также построения базовой цифровой платформы для навигационной и локационной аппаратуры.

При этом обеспечивается более эффективное использование радиоресурса, за счет использования незадействованной пропускной способности цифровых каналов передачи данных без введения новых передатчиков, а также повышение надежности за счет резервирования системы в целом.

Технология удаленного мониторинга пилотируемого летательного аппарата в режиме реального времени

Предлагаемый подход обеспечивает возможность непрерывного online интерактивного обмена со стационарным центром контроля и управления, в отличие от традиционно используемой концепции «черного ящика», ориентированной на накопление и хранение эксплуатационных параметров ЛА в режиме offline. В режиме online обмен возможен не только в пределах зоны прямой радиовидимости, но и в любой точке виртуального коммуникационного пространства, обеспечиваемого операторами сотовых сетей и областью покрытия спутниковой связи [5].

При таком обмене появляется также возможность симуляционного управления ЛА в режиме online, т.е. программная адаптация системы к условиям окружающей обстановки по анализу текущей ситуации. Комплекс датчиков и систем связи представляет собой сенсорное поле ЛА. Технический объект как бы «видит и понимает» себя в окружающей обстановке.

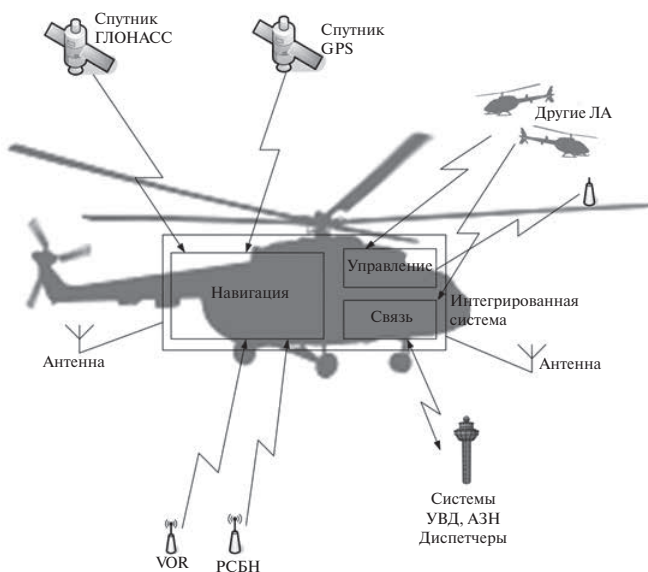


Рисунок 1. Иллюстрация единой коммуникационной платформы

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.

Концепция симуляции требует виртуализации обстановки вокруг ЛА (virtual environment) [6]. Реализацию принципа виртуализации окружающей обстановки обеспечивает агрегирование данных положения глобальных навигационных систем (GPS, ГЛОНАСС) с данными спутниковых снимков, аэронавигационной информацией и данными с бортовых камер ЛА. Такие агрегированные данные оказываются связанными с географическим и ситуационным контекстом (рис. 1).

Анализ существующей документации на различные типы ЛА, технических материалов описания перспективных беспилотных авиационных систем (БАС), а также нормативных документов [5, 7] позволил сформулировать набор требований и ограничений, в рамках которых целесообразно разрабатывать технологию удаленного мониторинга характеристик пространственного положения ЛА и состояния бортовых систем в режиме реального времени.

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

- Стандартный режим – обеспечение связи с руководителем полетов и диспетчерами, связи с другими бортами, получение метеоданных и оповещение об изменениях в окружающей обстановке.
- Режим внешнего управления – в восходящем канале к стандартному режиму добавляются каналы продольно-поперечного управления, каналы управления силовой установкой 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.

Наземный оператор-диспетчер в любой момент может затребовать расширенную телеметрию вплоть до полного потока данных, записываемого бортовым регистратором полетных данных, для устранения неопределенностей пространственного положения и уточнения режима работы бортовых систем ЛА, без привлечения экипажа.

Предлагаемая в долгосрочной перспективе SDR-технология, основные принципы которой разработаны авторами на основе концепции SDR [8, 9], с одной стороны, качественно и количественно улучшит характеристики радиоканала, обеспечивая возможность осуществлять мониторинг 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, используемых в настоящее время.

Структурная схема предлагаемого решения приведена на рис. 2.

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.

Компьютерный симулятор-тренажер действий экипажа

Традиционно компьютерный симулятор-тренажер предназначен для отработки специфики управления ЛА, имитации различных сценариев-программ полета.

Тренажер кроме основной функции способен выявлять физиологические ограничения пилота. Такими контролируруемыми параметрами являются время реакции человека на изменение обстановки, способность обнаружить критическое событие, влияющее на безопасность, возможность представить пространственную обстановку по имеющимся данным бортовых приборов.

Проведенный анализ существующих тренажеров и симуляторов показывает, что они, не имея обратной связи, производят обучение без учета присущих каждому человеку индивидуальных ограничений физических возможностей.

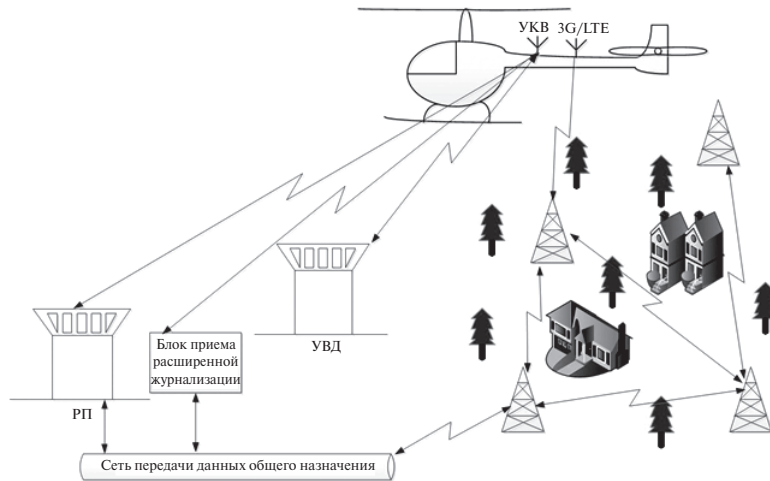


Рисунок 2. Структурная схема организации мониторинга

Недостающую обратную связь способен обеспечить компьютерный симулятор-тренажер, работающий с персональным профилем пилота, что, в свою очередь, повышает эффективность обучения в целом.

В концепции предусмотрены два режима работы симулятора:

1. Пред- и постполетная симуляция действий пилота.
2. Режим симуляции во время полета.

Различие между этими режимами состоит в характере выходных сигналов от симулятора. В первом режиме производится только оценка действий пилота, в то время как во втором режиме симулятор прогнозирует возможное развитие ситуации и способен формировать управляющие сигналы системам ЛА для корректировки действий пилота или инициировать переход в беспилотный режим полета, в случае, если действия летного состава будут определены в данной ситуации как некорректные.

Предлагаемая концепция интеллектуальной поддержки экипажей ЛА в сложных и опасных режимах полетов предполагает создание симулятора летной ситуации (СЛС).

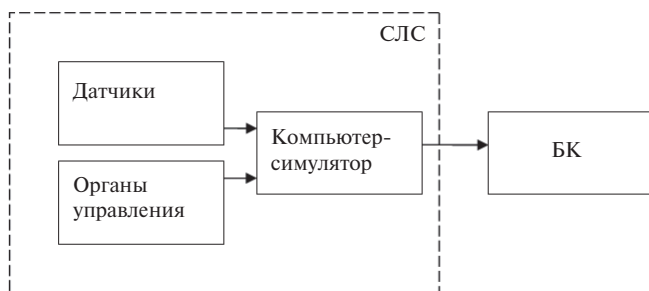


Рисунок 3. Структура симулятора летной ситуации

СЛС в каждый момент времени осуществляет опережающую симуляцию развития летной ситуации из текущего состояния в зависимости от состояния органов управления для прогнозирования развития опасных ситуаций, а также (совместно с бортовым компьютером (БК)) поиска оптимального плана управления для перевода ЛА из опасной ситуации в штатную. Структурная схема симулятора летной ситуации приведена на рис. 3.

Постоянный контроль за основными параметрами (высота, пространственное положение ЛА, воздушная и путевая скорости и др.), которые могут быть достигнуты при выполнении любых пространственных эволюций, дает возможность строить нелинейный динамический прогноз (в отличие от существующих систем раннего предупреждения приближения к земле с линейным прогнозом) с анализом угрозы столкновения и расчетом режима оптимального увода ЛА от столкновения, который индицируется экипажу в директорном режиме.

В тех случаях, когда опережающая симуляция поведения ЛА определяет наступление аварийной ситуации при бездействии экипажа и неизменном состоянии органов управления, выдается предупреждение пилоту. Если действий пилота не последовало или эти действия по прогнозу опережающей симуляции поведения ЛА не устраняют развитие опасной ситуации, система интеллектуальной поддержки выключает пилота из контура управления ЛА и включает режимы вывода ЛА из опасной ситуации.

Дополнительным элементом безопасности СЛС является совмещение трехмерной карты городской застройки (вместо традиционной аэронавигационной базы данных об искусственных препятствиях) с системой спутникового позиционирования, что дает дополнительную защиту от инцидентов и предотвращает возможность столкновения.

Использование компьютерного зрения в задаче абсолютного позиционирования летающей платформы

Бурное развитие технологий в области разработки автономных робототехнических комплексов и востребованность беспилотных ЛА в самых разных областях, в том числе в военных целях, обусловили ускоренные темпы разработки и внедрения малоразмерных беспилотных (БАС) и дистанционно пилотируемых (ДПАС) авиационных систем. Наиболее активно развиваются многороторные летающие платформы (три-, quadro-, гексокоптеры). Многороторные БАС имеют ряд достоинств по сравнению с другими беспилотными и пилотируемыми ЛА, в особенности для аэрофотосъемки объектов с высоким пространственным разрешением. При этом многороторный БАС более стабилен в воздухе, дешевле в обслуживании и легче в управлении, чем вертолет [10].

Наибольшую заинтересованность в БАС проявляют государственные ведомства и службы, задачи которых связаны с контролем, охраной и мониторингом объектов, ликвидацией чрезвычайных ситуаций, а также предприятия и компании, деятельность которых связана с получением пространственных данных [11].

Повышение автономности дистанционно пилотируемых авиационных систем и переход к полностью автономным БАС-роботам, работающим на основании программы – полетного задания, производится путем совершенствования электронных систем автопилота и стабилизации.

Среди существующих систем стабилизации, информация о которых не является закрытой, следует отметить систему NAZA [12] – легкую многоосевую систему управления, созданную специально для малых ЛА и включающую в себя полетный контроллер, гироскопы, акселерометры и бародатчик.

Другие системы, такие как DJI Wookong Multi-Rotor Stabilization Controller и FY-DoS GPS (система управления полетом мультироторных ЛА для коммерческих и промышленных автопилотных применений), принадлежат к классу инерциальных систем стабилизации с режимом зависания и автовозвратом.

Все вышеперечисленные системы стабилизации неудовлетворительно решают ряд специфических операций, актуальных для летающих роботов:

- автовзлет;
- автопосадка в заданную точку;
- висение над заданной точкой (удержание абсолютного пространственного положения) на малой высоте в течение продолжительного времени.

Наиболее актуальной и сложной для решения является задача висения над заданной точкой,

так как висение – это наиболее продолжительный по времени режим стабилизации, что провоцирует большой уход от точки в связи с воздействием ветра и «дрейфа» системы инерциальной навигации. Поэтому разрабатываемый метод стабилизации ЛА по видеоданным с бортовой камеры целесообразно проверять именно в режиме висения.

В настоящий момент существуют следующие методы решения задачи висения над заданной точкой:

1. Использование внешних маркеров. Достоинства – точность и простота реализации на ограниченном пространстве. Недостатки – требуется предварительная подготовка площади, что реализуемо только на ограниченных пространствах.
2. Использование барометрических датчиков и систем инерциальной навигации. Достоинства – универсальность. Недостатки – уход от точки «дрейфа», плохая сопротивляемость ветру.
3. Использование спутниковой навигации GPS/ГЛОНАСС. Достоинства – простота и универсальность метода. Недостатки – большая погрешность, невозможность решения задачи для малых высот и ограниченных площадок.
4. Использование видеокамер и методов обработки видеоданных (Computer Vision – CV).

Второй и третий методы в существующем виде принципиально неприменимы для решения описанной задачи на малой высоте. Потенциально применимы для реализации первый и четвертый методы, но с определенными ограничениями.

Рассмотрим программно-аппаратное решение задачи висения над заданной точкой на малой высоте в течение продолжительного времени путем объединения существующих решений без использования внешних маркеров.

Особенностью применения систем GPS является наличие погрешности, приводящей к возникновению координатной ошибки и, соответственно, к спонтанному перемещению БПЛА вблизи точки равновесия в попытке компенсировать изменения координат, вызванные погрешностью. Величина погрешности достигает десятков метров [13], что неприемлемо на сверхмалых высотах. Соответственно, эффективное использование в системе стабилизации таких спутниковых навигационных систем (рис. 4) определяется рельефом и задачей и возможно только для высот больше 2,5 м [2].

С другой стороны, эффективность использования систем оптической стабилизации уменьшается с увеличением высоты (рис. 4), что связано с ограниченным конечным пространственным разрешением фоточувствительной матрицы видеокамеры и ограничениями по диапазону изменения фокусировки используемой в ней оптики.

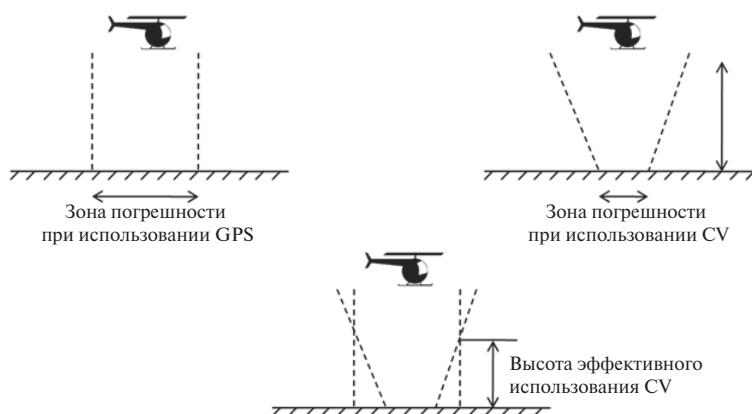


Рисунок 4. Использование CV для позиционирования БПЛА

В качестве решения, сочетающего достоинства обеих систем и дающего возможность выполнять задачи висения над заданной точкой, точного взлета и посадки, предлагается использование совокупности оптической системы стабилизации, основанной на методах компенсации движения, и системы стабилизации на основе GPS.

Принятие решения по изменению режима стабилизации может происходить в следующих случаях:

- по превышению пороговой высоты по барометрическому датчику (штатное изменение режима стабилизации);
- по команде с земли (принудительное изменение режима стабилизации);
- в соответствии с программой полетного задания (программное изменение режима стабилизации);
- при невозможности использовать видеоданные с камеры по метеоусловиям, погрешностям в освещении, при неподходящей горизонтальной поверхности (аварийное изменение режима стабилизации).

Рассмотренная технология позволяет решить задачу висения над заданной точкой (удержание

абсолютного пространственного положения) на малой высоте в течение продолжительного времени для малоразмерных БПЛА. Особенностью предложенного метода, сочетающего достоинства существующих систем и дающего возможность выполнять задачи висения над заданной точкой, точного взлета и посадки, является использование совокупности оптической системы стабилизации, основанной на методах компенсации движения с помощью CV, и системы стабилизации на основе GPS.

Заключение

Гражданская авиация до настоящего времени опиралась на представления о пилоте, который управляет летательным аппаратом, находясь внутри самого летательного аппарата.

Снятие пилота с борта ЛА ставит новые технические и эксплуатационные вопросы, активно изучаемые авиационным сообществом. Предложенные подходы, использующие достигнутый уровень технологий в смежных дисциплинах, таких как инфокоммуникационные технологии и программно-управляемые системы, могут быть направлены как на повышение надежности и безопасности пилотируемых ЛА, так и на повышение автономности беспилотных авиационных систем.

БЛАГОДАРНОСТЬ

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

ACKNOWLEDGEMENT

The research was performed with the partial support of the budget topic № 0073–2014–0005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сарычев В. А. Программируемые технологии и системы наведения // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10. № 5. С. 5–10.
2. Aksenov A. Y., Kuleshov S. V., Zaytseva A. A. An application of computer vision systems to solve the problem of unmanned aerial vehicle control. J. Transport and Telecommunication, 2014, vol. 15, no. 3, pp. 209–214.
3. Чунтул А. В., Лапа В. В., Давыдов В. В. Особенности пространственной ориентировки летчика при использовании телевизионной системы обзора внекабинного пространства // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2013. Т. 47. № 5. С. 12–16.
4. Горбачев Ю. Е. Сетецентрическая война: мифы или реальность? // Военная мысль. 2006. № 1. С. 66–76.
5. Кулешов С. В., Зайцева А. А., Аксенов А. Ю. Технология удаленного мониторинга пространственного положения пилотируемого летательного аппарата и состояния его бортовых систем в режиме реального времени // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2016. № 2 (6). С. 43–49.

6. Чунтул А. В. Эргономические и психофизиологические аспекты разработки технических средств представления внекабинного пространства на вертолетах. Человеческий фактор в сложных технических системах и средах // Сборник трудов 2-й Международной научно-практической конференции. 2016. С. 482–485.
7. The Official FAA ADS-B Website. Available at: <http://www.faa.gov/nextgen/programs/adsb/> (accessed 17.09.2017)
8. SDR-Radio.com. Available at: <http://sdr-radio.com/> (accessed 17.09.2017)
9. Bard J., Kovarik V. J. Software Defined Radio The Software Communications Architecture. John Wiley & Sons, 2005, 462 p.
10. Барбасов В. К., Гречищев А. В. Мультироторные беспилотные летательные аппараты, представленные на российском рынке: обзор // Инженерные изыскания. 2014. № 8. С. 27–31.
11. Международная организация гражданской авиации. Циркуляр 328-AN/190 ИКАО. Беспилотные авиационные системы (БАС). ИКАО, 2011. 48 с.
12. Зинченко О. Н. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования. Ч. 1 [Электронный ресурс]. М.: Ракурс, 2011. 12 с. URL: <http://www.racurs.ru/?page=681> (дата обращения: 19.12.2016)
13. Naza-M: multicopter autopilot system for hobby, all in one design. Available at: <http://www.dji.com/product/naza-m/> (accessed 19.09.2017)

REFERENCES

1. Sarychev V. A. Programmable technologies and guidance systems. *Informatsionno-izmerite'nyye i upravlyayushhie sistemy*, 2012, vol. 10, no. 5, pp. 5–10 (In Russian).
2. Aksenov A. Y., Kuleshov S. V., Zaytseva A. A. An application of computer vision systems to solve the problem of unmanned aerial vehicle control. *J. Transport and Telecommunication*, 2014, vol. 15, no. 3, pp. 209–214.
3. Chuntul A. V., Lapa V. V., Davydov V. V. Features of the pilot's dimensional orientation when using the TV system for out-the-window view. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*, 2013, vol. 47, no. 5, pp. 12–16 (In Russian).
4. Gorbachev Yu. E. Network-Centric War: Myth or Reality? *Voennaya mysl*, 2006, no. 1, pp. 66–76 (In Russian).
5. Kuleshov S. V., Zaytseva A. A., Aksenov A. Y. Ergonomic and psychophysiological aspects of the technical means development of representing out-the-window view in helicopters. The human factor in complex engineering systems and environments. *Intellektualnye tekhnologii na transporte*, 2016, no. 2 (6), pp. 43–49 (In Russian).
6. Chuntul A. V. Remote monitoring technology of a manned aircraft attitude position and the state of its on-board systems in real time. *Sbornik trudov 2-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, 2016, pp. 482–485 (In Russian).
7. [The Official FAA ADS-B Website]. Available at: <http://www.faa.gov/nextgen/programs/adsb/> (accessed 17.09.2017)
8. [SDR-Radio.com]. Available at: <http://sdr-radio.com/> (accessed 17.09.2017)
9. Bard J., Kovarik V. J. Software Defined Radio The Software Communications Architecture. John Wiley & Sons, 2005, 462 p.
10. Barbasov V. K., Grechishchev A. V. Multi-rotor unmanned aircrafts presented on the Russian market: overview. *Inzhenernye izyskaniya*, 2014, no. 8, pp. 27–31 (In Russian).
11. International Civil Aviation Association. Circular 328-AN / 190 ICAO. Unmanned aerial systems (UAS). ICAO, 2011, 48 p. (In Russian).
12. Zinchenko O. N. [Unmanned aircrafts: aerial photography applications for mapping] (In Russ.). Moscow, Rakurs, 2011, 12 p. Available at: <http://www.racurs.ru/?page=681> (accessed 19.12.2016)
13. [Naza-M: multicopter autopilot system for hobby, all in one design]. Available at: <http://www.dji.com/product/naza-m/> (accessed 19.09.2017)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Анцев Георгий Владимирович, к.т.н., доцент, генеральный директор, генеральный конструктор, АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»», 197375, Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д.37, лит. А, e-mail: radar@radar-mms.com.

Александров Виктор Васильевич, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, лаборатория автоматизации научных исследований, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН), 199178, Санкт-Петербург, ВО 14-я линия, д.39, тел.: 8 (812) 323-51-39, e-mail: alexandr@ias.spb.su.

Кулешов Сергей Викторович, д.т.н., зав. лабораторией автоматизации научных исследований, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН), 199178, Санкт-Петербург, ВО 14-я линия, д.39, тел.: 8 (812) 323-51-39, e-mail: kuleshov@ias.spb.su.

Зайцева Александра Алексеевна, к.т.н., старший научный сотрудник, лаборатория автоматизации научных исследований, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН), 199178, Санкт-Петербург, ВО 14-я линия, д.39, тел.: 8 (812) 323-51-39, e-mail: cher@ias.spb.su.

AUTHORS

Antsev Georgiy, PhD, associate professor, general director, general designer, Joint Stock Company Research and Production Enterprise Radar mms, 37A, Novoselkovskaya ulitsa, Saint-Petersburg, 197375, Russian Federation, e-mail: radar@radar-mms.com.

Alexandrov Victor, Dr., professor, chief researcher, laboratory of research automation, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences, 39, VO 14th line, Saint-Petersburg, 199178, Russian Federation, tel.: +7 (812) 323-51-39, e-mail: alexandr@ias.spb.su.

Kuleshov Sergey, Dr., head of laboratory of research automation, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences, 39, VO 14th line, Saint-Petersburg, 199178, Russian Federation, tel.: +7 (812) 323-51-39, e-mail: kuleshov@ias.spb.su.

Zaytseva Aleksandra, PhD, senior researcher, laboratory of research automation, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences, 39, VO 14th line, Saint-Petersburg, 199178, Russian Federation, tel.: +7 (812) 323-51-39, e-mail: cher@ias.spb.su.