

Ю. И. Бегичев¹, канд. техн. наук, доц., науч. сотр., begichevy@mail.ru,

А. Г. Варочко², д-р экон. наук, директор и гл. конструктор,

Л. О. Котицын¹, канд. техн. наук, нач. лаб., burlenka@list.ru,

О. А. Михайленко³, канд. техн. наук, директор, moa@mvsplus.ru,

М. М. Сильвестров¹, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр.

¹ АО "НИИ авиационного оборудования",

² ФГУП "ЦЕНКИ" — "КБ Мотор",

³ ЗАО "МВС глобальные телекоммуникации+"

Концепция построения эргатической воздушно-космической системы мониторинга окружающей среды, наземных и морских объектов

Обоснована концепция построения воздушно-космической системы мониторинга окружающей среды, содержащей многоцелевые беспилотные и пилотируемые летательные аппараты, наземный передвижной комплекс мониторинга стационарных и подвижных наземных объектов, системы спутниковой навигации и связи (ГЛОНАСС, "Гонец", "Ямал", Indium, Galileo), многофункциональную космическую систему "Арктика", космические аппараты связи ФГУП "Космическая связь", наземный мобильный пункт управления системой мониторинга, воздушный пункт контроля и дистанционного управления многоцелевыми беспилотными летательными аппаратами, при решении задач защиты окружающей среды.

Ключевые слова: система мониторинга, мобильная спутниковая связь, информационно-управляющая система, эргатический интерфейс, модуль эталонного маневрирования, информационная командно-лидерная индикация, информационно-управляющее поле, образ цели управления, мнемокадр

Введение

Изменения, вносимые человеком в природную среду, и экологические эффекты, порождаемые его деятельностью, имеют крупномасштабный региональный, а часто и глобальный характер. Это приводит к необходимости комплексного проведения долгосрочных наблюдений, оценки и прогноза изменения состояния окружающей среды под влиянием антропогенных факторов [5, 7, 8].

Основными задачами мониторинга окружающей среды являются:

- наблюдение за состоянием биосферы;
- оценка и прогноз состояния окружающей природной среды;
- выявление факторов и источников антропогенных воздействий на окружающую среду;
- оценка последствий изменения показателей состояния окружающей среды;
- предупреждение о возникающих критических ситуациях, вредных или опасных для жизнедеятельности и здоровья людей и других живых организмов;
- принятие решений для ликвидации причин отклонения показателей и обеспечение заблаговременного предупреждения негативных ситуаций.

Рациональное природопользование предполагает управление природными процессами, а чтобы

управление было достаточно эффективным, необходимо иметь данные о динамических свойствах этих объектов, их изменении в результате антропогенного воздействия и предвидеть последствия вмешательства человека в ход естественных процессов. Эта информация нужна в повседневной жизни людей, при ведении хозяйства, в строительстве, при чрезвычайных обстоятельствах — для оповещения о надвигающихся опасных явлениях природы.

Анализ характеристик антропогенного изменения промышленно-экологической среды показал, что изменения, вносимые человеком в природную среду, и экологические эффекты, порождаемые его деятельностью, имеют глобальный характер. Как показывают аэрокосмические снимки, воздействие хозяйственной активности людей заметно на почти 60 % суши, а в некоторых зонах эта цифра достигает 98 %.

Очевидно, что из-за большой размерности районов антропогенного воздействия без воздушно-космических средств мониторинга окружающей среды нельзя своевременно ни выявить эти районы, ни проследить динамику изменения окружающей среды, ни дать полной картины происходящего вокруг нас, что свидетельствует об актуальности дальнейшего совершенствования методов, средств и систем мониторинга.

В соответствии с этим в настоящее время остро стоит проблема создания системы воздушно-космического мониторинга и защиты окружающей среды и наземных объектов с использованием спутниковых систем навигации и мобильной спутниковой связи, пилотируемых летательных аппаратов (МБЛА) с большой дальностью и продолжительностью полета, передвижного комплекса мониторинга стационарных и подвижных наземных объектов, а также средств получения и передачи данных в натуральном масштабе времени.

Концепция построения эргатической воздушно-космической системы мониторинга

Авторами разработана концепция эргатической воздушно-космической системы мониторинга окружающей среды, основанной на:

- иерархическом принципе построения системы;
- аппаратной, функциональной и алгоритмической интеграции наземной и воздушной составляющих системы;
- использовании всех ресурсов системы для решения текущей задачи и полетного задания в целом;
- наличии интегрированного наземного пункта управления;
- обеспечении рационального взаимодействия наземного пункта управления с группой беспилотных и пилотируемых летательных аппаратов, а также с мобильной спутниковой связью;
- обеспечении комфортных условий работы операторов;

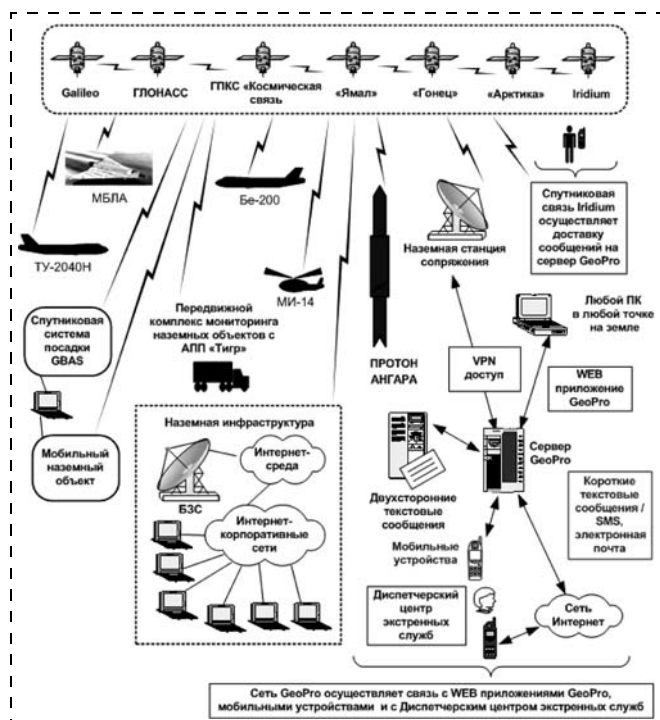


Рис. 1. Схема аэрокосмического мониторинга окружающей среды и наземных объектов

- использовании систем интеллектуальной поддержки операторов;
- применении защищенных каналов связи операторов с наземным пунктом управления, потребителями результатов мониторинга, группой МБЛА и пилотируемыми летательными аппаратами;
- применении интегрированного комплекса бортового оборудования МБЛА с учетом отсутствия на борту МБЛА человека;
- максимальном уровне автоматизации функционирования (автономности работы в условиях отсутствия аэродромной сети);
- использовании интеллектуальных алгоритмов управления в комплексе бытового оборудования (КБО) МБЛА;
- возможности транспортировки и перебазирования своим ходом;
- обеспечении многократности применения системы.

На рис. 1 представлена схема аэрокосмического мониторинга окружающей среды и наземных объектов с использованием спутниковых систем, беспилотных и пилотируемых авиационных комплексов.

Обоснованы принципы комплексирования эргатической воздушно-космической системы мониторинга на базе беспилотных и пилотируемых летательных аппаратов, спутниковых навигационных систем, мобильной спутниковой связи и передвижного комплекса мониторинга стационарных и подвижных наземных объектов, структура которой представлена рис. 2.

Применение воздушно-космической системы мониторинга в соответствии со схемами рис. 1 и 2 обеспечивает решение следующих гражданских задач:

- мониторинг чрезвычайных ситуаций и их последствий;
- патрулирование сухопутных и морских границ;
- геологоразведка;
- цифровая картография;
- производственно-экологический мониторинг;
- мониторинг земной поверхности и загрязнений;
- обнаружение возгораний и контроль за пожарами;
- спасение на море;
- сбор информации в интересах мероприятий по ликвидации последствий стихийных бедствий;
- аэрофотосъемка для создания карт;
- дистанционный контроль нефтегазопроводов и хранилищ, линий электропередачи и теплотрасс, железных и автомобильных дорог, лесных массивов и сельскохозяйственных угодий;
- мониторинг урожая и борьба с вредителями, контроль за стадами животных;
- аэросъемка (фото-, видео- и т. д.);
- сбор данных и анализ атмосферы для прогноза и т. д.;
- контроль за дорожным движением и управление им;
- поиск без вести пропавших, контроль безопасности и наблюдение за инцидентами;

- контроль за уровнем и скоростью течения рек, наводнений и борьба с загрязнением;
- задачи, возникающие перед географической, геологической службами, археологами;
- контроль за состоянием акваторий;
- мониторинг космодромов, районов приземления и приводнения космических летательных аппаратов;
- охрана объектов и районов;
- мониторинг природных чрезвычайных ситуаций.

Система предназначена для воздушно-космического мониторинга окружающей среды с использованием спутниковых систем, бортовых средств МБЛА и пилотируемых летательных аппаратов, наземного передвижного комплекса мониторинга стационарных и подвижных объектов, аппаратуры для наблюдения за состоянием биосферы, оценки и прогноза состояния природной среды, выявления факторов и источников антропогенных воздействий на окружающую среду, предупреждения о создающихся критических ситуациях, вредных или опасных для жизнедеятельности и здоровья людей и других живых организмов с представлением данных в заинтересованные инстанции для принятия решения и создания эффективного противодействия угрожающему состоянию [2–4].

Наиболее эффективной системой наблюдения и мониторинга является объединение бортовых средств наблюдения и терминалов пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов, транспортных систем и космических систем наблюдения и спутниковой навигации через наземный мобильный пункт управления в единую эргатическую воздушно-космическую систему мониторинга и защиты окружающей среды (ЭВКСМ).

В состав разрабатываемой ЭВКСМ окружающей среды входят группа МБЛА, пилотируемые летательные аппараты: гидросамолет *Бе-200*, транспортный самолет *Ту-204ОН* и вертолет-амфибия *Ми-14*, передвижной комплекс мониторинга наземных объектов с АПП *"Тигр"*. В эргатической воздушно-космической системе мониторинга окружающей среды, наземных и морских объектов используются также спутниковые системы навигации ГЛОНАСС/GPS и системы мобильной спутниковой связи: *"Гонец"*, *"Ямал"*, многофункциональная космическая система (МКС) *"Арктика"*, *"Экспресс-АТ"*, *"Экспресс-АМ"* (космические аппараты связи ФГУП "Космическая связь" (ГПКС)), *"Galileo"*, *"Iridium"* [6, 9, 10].

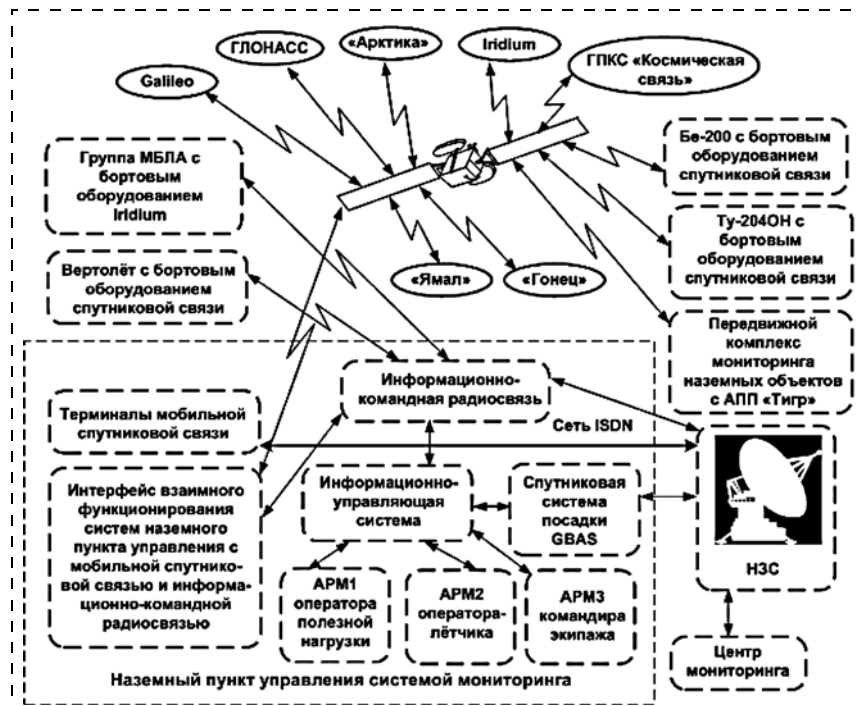


Рис. 2. Структура эргатической воздушно-космической системы мониторинга

Особенности использования спутниковых систем навигации и мобильной спутниковой связи в структуре ЭВКСМ

Комплексное использование технологий ГЛОНАСС/GPS и многофункциональной системы спутниковой связи и передачи данных "Гонец-Д1М" в ЭВКСМ обеспечивает эффективное решение задач мониторинга и защиты окружающей среды Российской Федерации, государств СНГ и стран-партнеров.

С помощью спутниковой системы "Гонец" могут быть построены различные системы мониторинга стационарных объектов, в частности:

- охраняемых объектов;
- объектов электросетевых комплексов;
- газотранспортных сетей, нефтепроводов, буровых, скважинных кустов;
- объектов атомной промышленности;
- метеорологических станций;
- прочих экологических и промышленных объектов.

Комплексное использование технологий ГЛОНАСС/GPS и спутниковой связи и вещания "Ямал", созданной ОАО "Газпром космические системы", обеспечивает эффективное решение задач мониторинга окружающей среды Российской Федерации, государств СНГ, таких как:

- авиационное беспилотное патрулирование трасс магистральных трубопроводов ОАО "Газпром";
- авиационное беспилотное обследование вдоль трассовых линий электропередачи;
- аэрокосмическое обследование линейной части магистральных газопроводов по материалам авиационной беспилотной и космической съемки;

- картографирование объектов реконструкции и строительства по материалам авиационной беспилотной и космической съемки;
- информационное обеспечение кадастровых работ по материалам авиационной беспилотной и космической съемки;
- мониторинг деформаций Земной поверхности и объектов территорий на базе космической и радиолокационной съемки.

Спутниковая связь ГПКС "Космическая связь" обеспечивает возможность организации телерадиовещания, широкополосного доступа в сеть Интернет, передачи данных, видеоконференцсвязи, создания сетей VSAT, организации ведомственных и корпоративных сетей связи в любом регионе Земного шара.

Мониторинг городской окружающей среды, направленный на решение таких глобальных проблем, как оценка экологической обстановки, влияющей на жизнь и здоровье большого числа людей, обеспечивается с использованием полярно-орбитальных искусственных спутников Земли серии "Арктика". МКС "Арктика" дает возможность определять распределение всплесков температуры, обнаруживать промышленные предприятия и ТЭЦ, ответственные за экологические выбросы и загрязнения городской среды.

Разработанные принципы построения системы мониторинга окружающей среды и наземных объектов обеспечивают рациональное взаимодействие операторов наземного мобильного пункта управления и мобильного воздушного пункта контроля и дистанционного управления при решении задач мониторинга и защиты окружающей среды, а также расширение области применения ЭВКСМ и повышение ее народно-хозяйственного значения.

Функциональное назначение и структура наземного мобильного пункта управления системой мониторинга

Управление процессом мониторинга окружающей среды осуществляется с наземного и воздушного пунктов управления. Функциональным назначением разработанного мобильного наземного пункта управления воздушно-космической системы мониторинга является информационное и командно-лидерное обеспечение операторов на режимах общего самолетовождения, высокоточного маневрирования и мониторинга окружающей среды. Такое обеспечение дает возможность сосредоточения на экранных индикаторах основной пилотажной и управляющей информации в виде информационного командно-лидерного представления состояния процесса управления и заданной (желаемой) цели управления, информации о результатах мониторинга окружающей среды в виде изображения зон опасных экологических состояний и отображения параметров опасных состояний приближения к рельефу Земной поверхности, а также формирования управляющих и заданных сигналов для комплексной системы управления МБЛА [1—4].

Созданный макетный образец унифицированного наземного мобильного пункта управления и диагностики состояния оборудования МБЛА дает возможность решения задач:

- автономного автоматического управления МБЛА при мониторинге окружающей среды;
- дистанционного командно-лидерного управления группой МБЛА в особых случаях полета;
- эталонного маневрирования при изменении целевых задач мониторинга;
- комбинированного управления, при котором МБЛА следуют в район применения автономно по программе, а применение целевой нагрузки выполняется использованием дистанционного командного управления.

В состав оборудования наземного мобильного пункта управления (НМПУ) входит информационно-управляющая система с вычислительным модулем связи, предназначенная для формирования команд управления и преобразования их в управляющие сигналы в соответствии с заданной программой полета, которые передаются на борт МБЛА посредством оборудования связи через антенну оператора.

Информационно-управляющая система НМПУ содержит программные модули:

- эргатического интерфейса;
- бортовой геоинформационной системы;
- предупреждения опасных состояний траекторного маневрирования;
- интеллектуальной поддержки операторов системы мониторинга окружающей среды;
- прогнозирования, комплексной обработки и преобразования информации;
- "эталонного" управления маневрированием;
- формирования командно-лидерной индикации;
- электронной карты и навигационно-тактической обстановки;
- формирования предупреждающей сигнализации;
- формирования базы геоинформационных данных;
- ввода и вывода информации.

Модулем "эталонного" управления маневрированием формируются модели процессов рационального (желаемого) управления и мониторинга, информация о заданных параметрах пространственного положения и движения, а также информация о критических состояниях, предписывающих действия по устранению критических состояний, что обеспечивает представление оператору образа цели управления в виде отображения заданного (желаемого) пространственного положения "лидера" и изменения его конфигурации в соответствии с принципом эталонного управления "делай, как я".

В качестве средств дальней связи и координатирования используется унифицированная аппаратура информационно-командной радиосвязи. В комплект оборудования передачи и приема данных мониторинга и радиоконандной информации входит информационная радиолиния и радиолиния управления.

Использование аппаратуры мобильной спутниковой связи позволяет изменить маршрут полета и характер барражирования заданной зоны мониторинга на любом удалении от наземного пункта управления, а также от борта вертолета — воздушного мобильного пункта управления.



Рис. 3. Макет АРМ оператора-пилота с информационной командно-лидерной индикацией

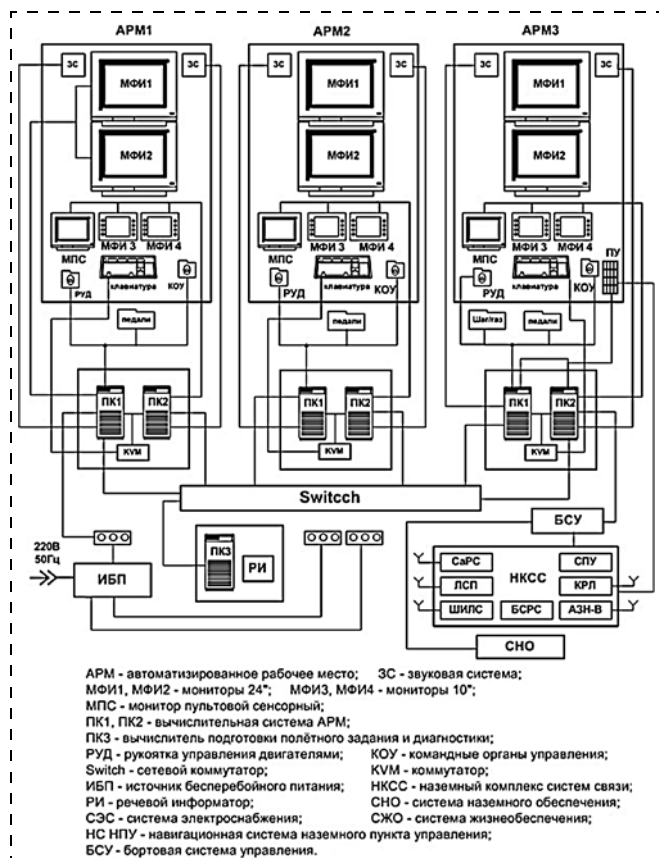


Рис. 4. Структура автоматизированных рабочих мест оператора-пилота, оператора мониторинга и руководителя системы мониторинга

Для дистанционного управления полетом одиночного МБЛА или группы взаимодействующих МБЛА используются автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов: АРМ оператора-пилота, АРМ оператора мониторинга, АРМ командира (руководителя системы мониторинга). В составе АРМ используются компьютеры, дисплеи, органы управления (РУС, педали управления, РУД, кнопочные пульты управления), многофункциональный пульт управления и другая аппаратура.

Макетный образец автоматизированного рабочего места оператора-пилота с информационной командно-лидерной индикацией представлен на рис. 3, а структура автоматизированных рабочих мест оператора-пилота, оператора мониторинга и руководителя системы мониторинга приведена на рис. 4.

Формирование информационной командно-лидерной индикации наземного мобильного пункта управления системы мониторинга

Для индикационного обеспечения безопасного и высокоточного маневрирования МБЛА при решении задач дистанционного мониторинга на предельно малых высотах разработан мнемокадр экранного пилотажного индикатора с информационной командно-лидерной индикацией (ИКЛИ) (рис. 5) [1, 2, 4].

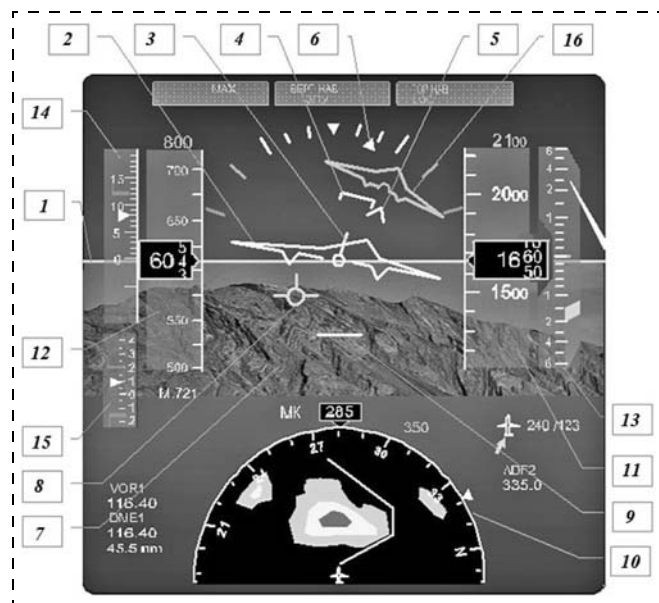


Рис. 5. Формат пилотажного кадра "вид с самолета (с платформы в нормальной инерциальной системе координат) на дистанционно-управляемый МБЛА и образ цели управления" с 3D-изображением рельефа местности:

1 — линия авиагоризонта; 2 — псевдообъемный символ самолета; 3 — киль переменной длины, указатель угла атаки; 4 — прямоугольная скоба, указатель предельного значения угла атаки и угла скольжения; 5 — уголок, символ заданного вектора перегрузки n_y ; 6 — шкала крена и указатель отсчета крена; 7 — синтезированное изображение впередилежащего рельефа местности; 8 — символ вектора текущей скорости; 9 — индикатор опасной высоты; 10 — шкала курса; 11 — шкала барометрической высоты; 12 — шкала приборной скорости полета; 13 — шкала вариомера; 14 — шкала угла атаки; 15 — шкала перегрузки; 16 — псевдообъемный символ "Лидер"

При создании кадров ИКЛИ мы опирались на психофизиологические закономерности отражения летчиком обстановки полета:

- визуальный "зримый" характер образа;
- предметное содержание образа, обеспечивающее формирование управляющих воздействий и создание представлений о пространственной ориентировке;
- геоцентрическое содержание пространственного представления летчика.

Были проведены исследования автоматизированных рабочих мест операторов наземного мобильного пункта управления ЭВКСМ, целью которых являлось:

- создание наиболее естественного интерфейса с комплексом управления;

- погружение оператора-пилота в процесс пилотирования за счет создания эффекта "присутствия на борту";
- расширение сенситивных возможностей оператора за счет использования интегрированных систем искусственного видения, звуковых и речевых подсказок экспертных систем, формирования графического образа текущего положения МБЛА и состояния его комплекса бортового оборудования, а также формирование образа цели управления;
- динамическая координация и синхронизация всей совокупности информации и результатов деятельности с возможностями систем восприятия оператора;
- представление оператору непротиворечивой информации, необходимой для решения текущей задачи в конкретный момент времени, а также результатов прогноза текущей ситуации на ближайший отрезок времени;

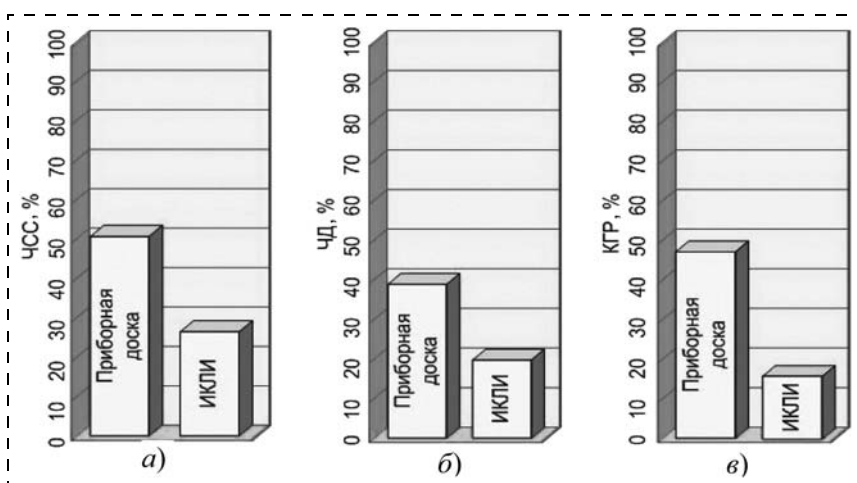


Рис. 6. Характеристики психофизиологической напряженности в процессе пилотирования по отношению к фоновым значениям физиологических параметров при управлении с использованием штатной приборной доски и ИКЛИ: а — изменения частоты сердечных сокращений; б — изменения частоты дыхания; в — изменения показателей кожно-гальванической реакции

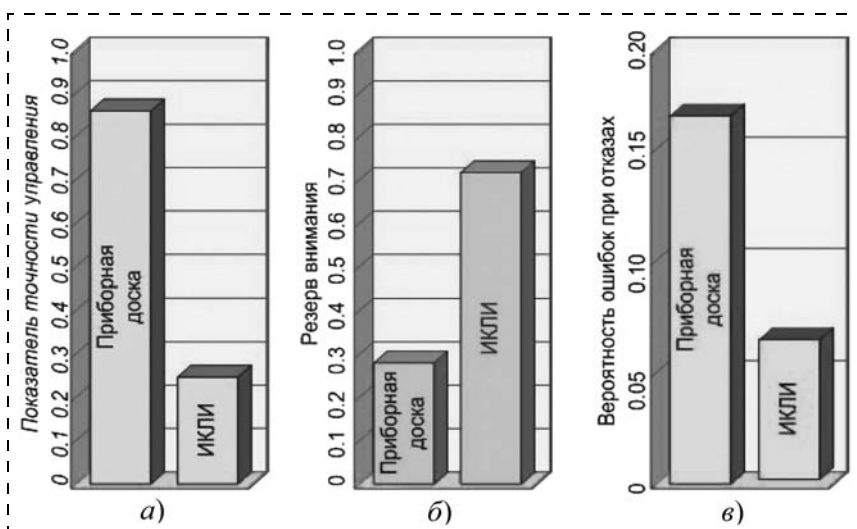


Рис. 7. Показатели качества деятельности при пилотировании МБЛА на ДМК по электромеханическим приборам и ИКЛИ: а — характеристики точности управления; б — показатели резерва внимания; в — вероятность ошибочных действий при возникновении отказов

- разгрузка оператора от наблюдения за техническим состоянием комплекса бортового оборудования и систем МБЛА (за счет использования бортовой экспертной системы "электронный инженер");
- создание речевого, графического и тактильного диалогового интерфейса оператора с информационно-управляющей системой НМПУ.

Для индикационного обеспечения безопасного и высокоточного маневрирования МБЛА на предельно малой высоте и на режимах захода на посадку, полета по "коробочке" и посадке предлагается использовать формат экранного пилотажного индикатора, в котором применяется принцип "вид дистанционно управляемого беспилотного летательного аппарата и "лидера" (образа цели управления) с платформы в нормальной инерциальной системе координат, находящейся позади МБЛА на одной и той же высоте и движущейся с той же путевой скоростью" [1—4].

Информационная картина о пространственном положении управляемого объекта (рис. 5) содержит символ объекта в виде треугольника (летающего крыла) с шасси, килем переменной длины 3 и с прямоугольной скобой 4 — указателем предельного значения угла атаки и угла скольжения (боковые риски скобы) или перегрузки (при достижении предельных значений скоба начинает мигать). Символ управляемого

объекта меняет свою конфигурацию в зависимости от изменения угла скольжения и поворачивается относительно центра кадра авиагоризонта в зависимости от фактического угла крена, при этом вместе с символом объекта поворачиваются символы векторно-директорного управления (киль переменной длины и скоба).

Лидерный треугольник аналогично меняет форму, но в зависимости от заданного угла скольжения, заданного угла тангажа поворачивается в зависимости от заданного крена и, кроме того, перемещается по экрану в зависимости от отклонения по высоте и бокового отклонения от заданной траектории. Размер треугольника меняется в зависимости от отклонения скорости полета от заданной. Если скорость полета V равна заданной, основания треугольников одинаковы. Если $V < V_{\text{зад}}$, то основание треугольника-лидера меньше основания треугольника-объекта управления. Если $V > V_{\text{зад}}$, то основание треугольника-лидера больше основания треугольника-объекта управления. На мнемокадре символ "лидера" представляет собой образ цели управления в виде отображения заданного (желаемого) пространственного положения и движения.

Комплексные инженерно-психологические исследования системы дистанционного управления моделью МБЛА проводились на диалоговом моделирующем стенде с использованием психофизиологической аппаратуры и системы автоматической обработки и анализа данных. Результаты приведены на рис. 6–8. В частности, на рис. 6 показано, что такие физиологические параметры, как частота сердечных сокращений (ЧСС), частота дыхания (ЧД), кожно-гальваническая реакция (КГР) операторов, при использовании типовых электромеханических пилотажно-навигационных приборов (приборная доска) хуже, чем при использовании пилотажного индикатора с информационной командно-лидерной индикацией. На рис. 7 и 8 видно, что показатели качества деятельности операторов при использовании ИКЛИ лучше.

Для обеспечения информационной поддержки командно-лидерной индикации разработана группа алгоритмов, содержащая типовые характеристики аэродрома с базовыми точками, обеспечивающими взлет, выход на маршрут, возврат, заход на посадку и посадку МБЛА.

Вид аэродрома в плане и соответствующие обозначения приведены на рис. 9.

Алгоритмы выполнения полета ЛА разделены на следующие этапы: взлет, набор высоты, выход на маршрут, возврат, заход на посадку, посадка, повторный заход.

Каждый из этапов имеет группу идентификационных параметров, однозначно определяющих данный этап. К таким параметрам относятся:

- $\delta_{\text{ш}}$ — положение шасси;
- $\delta_{\text{зк}}$ — положение закрылков;
- $(\varphi_{\text{ла}}, \lambda_{\text{ла}})$ — координаты МБЛА;

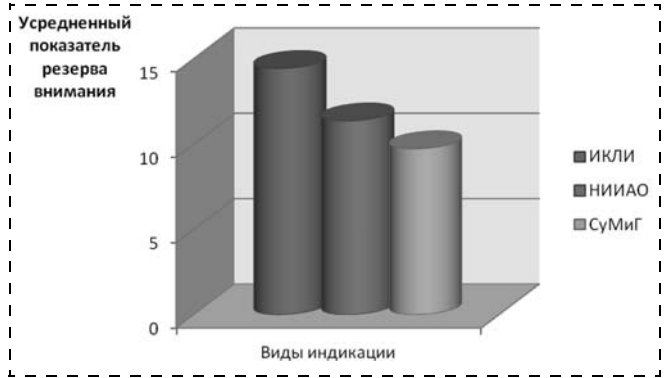


Рис. 8. Показатель резервов внимания пяти операторов МБЛА на режимах "Взлет", "Набор высоты и скорости", "Возврат", "Полет по коробочке", "Заход на посадку" и "Посадка" при различных вариантах системы индикации — ИКЛИ, вид с ЛА на Землю (НИИАО) и вид с Земли на ЛА (МиГ) в условиях плохой видимости аэродрома

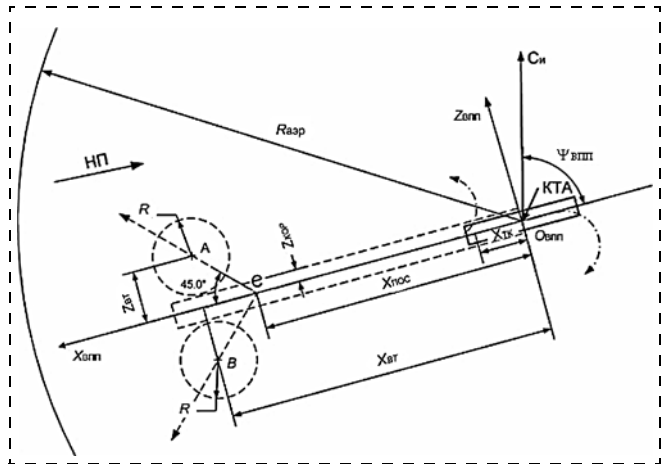


Рис. 9. Схема захода на аэродром посадки:

НП — текущее направление посадки для целевого аэродрома; $O_{\text{впп}}$ — центр взлетно-посадочной полосы, определяется координатами КТА; КТА — контрольная точка аэродрома — центр ВПП с координатами (φ, λ) , где φ — широта; λ — долгота; $X_{\text{впп}}, O_{\text{впп}}, Z_{\text{впп}}$ — система координат аэродрома, нормальная земная система координат; $C_{\text{и}}$ — вектор, направленный на истинный полюс Земли; $\Psi_{\text{впп}}$ — курс ВПП; A, B, C — базовые навигационные точки, связанные с системой координат аэродрома; $A(X_{\text{вт}}, Z_{\text{вт}}), B(X_{\text{вт}}, -Z_{\text{вт}}), C(X_{\text{вт}}, 0)$; $R_{\text{аэр}}$ — радиус зоны аэродрома; $X_{\text{тк}}$ — координата точки касания ВПП при посадке; $X_{\text{пос}}$ — координата точки начала посадки; $Z_{\text{кор}}$ — ширина "коридора" посадки

- $(X_{\text{ла}}, Z_{\text{ла}})$ — положение МБЛА относительно контрольной точки аэродрома (КТА);
- $V_{\text{п}}$ — текущая приборная скорость МБЛА;
- $H_{\text{бар}}$ — текущая барометрическая высота относительно КТА;
- $H_{\text{рв}}$ — текущая геометрическая высота;
- $\Psi_{\text{ла}}$ — текущий истинный курс МБЛА;
- $\Psi_{\text{ла}}$ — текущий истинный путевой угол ЛА;
- $V_{\text{у}}$ — вертикальная скорость МБЛА.

На этапе *взлета* решается задача выдерживания курса взлета, разгона скорости, определения момента отрыва носового колеса и начала набора высоты.

На этапе *набора высоты* выполняется реконфигурация МБЛА (уборка шасси и механизации крыла), выдерживание заданной скорости полета и набор заданной барометрической высоты.

На этапе *выхода на маршрут* в боковом канале управления решается задача выхода в точку исходного пункта маршрута (ИПМ), а в продольном канале управления — набор заданной скорости полета по маршруту и заданной высоты полета.

На этапе *возврата* в боковом канале управления решается задача выхода в район аэродрома (определяется радиусом зоны аэродрома $R_{\text{аэр}}$), при этом КТА используется как навигационная точка. В продольном канале решается задача "пробивания облачности", выхода на заданную барометрическую высоту относительно "высоты" КТА, а также снижения скорости до значения, обеспечивающего выпуск шасси и механизации крыла.

На этапе *захода на посадку* в боковом канале решается задача выхода в точку третьего разворота (точка *A* или *B*) при заданном посадочном курсе, с последующим выходом в створ ВПП (точка *C*), а в продольном канале — выдерживание заданной скорости предпосадочного маневрирования (в процессе выпуска механизации крыла в промежуточное положение) и высоты круга.

На этапе *посадки* в боковом канале решается задача выдерживания заданного курса и ликвидации отклонения от оси ВПП, а в продольном канале — выдерживания заданной приборной скорости полета (в том числе после выпуска шасси и механизации крыла в посадочное положение) и заданной глиссады снижения. При этом этап посадки делится на подэтапы: полет по глиссаде, этап выравнивания, этап выдерживания и этап касания ВПП.

Этап *повторного захода* может начаться на любом из подэтапов посадки, поэтому на этапе посадки постоянно определяются параметры движения МБЛА, и в случае выполнения необходимых условий повторный заход включается либо до пересечения среза ВПП, либо после. При этом в боковом канале решается задача выполнения разворота

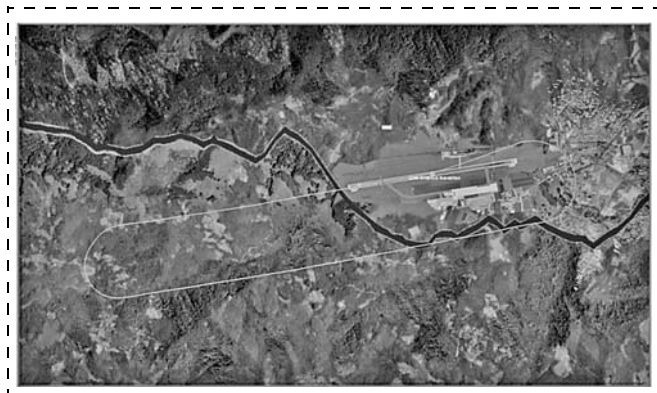


Рис. 10. Траектория полета по "коробочке" при ручном управлении МБЛА с использованием информационной командно-лидерной индикации (оператор Котицын)

с заданным углом крена на заданный угол курса, а в продольном канале решается задача набора заданной приборной скорости полета (с учетом уборки шасси и механизации крыла) и заданной барометрической высоты полета относительно КТА.

Траектория полета при дистанционном управлении моделью МБЛА на диалоговом моделирующем стенде в условиях плохой видимости аэродрома (полет в густом тумане, дальность видимости менее 100 м) с использованием мнемокадра информационной командно-лидерной индикации в проекциях на горизонтальную плоскость представлена на рис. 10.

Результаты инженерно-психологических исследований дистанционного управления моделью МБЛА на режимах захода на посадку, полета по "коробочке" и посадке показывают, что разработанный и представленный на рис. 5 пилотажный кадр ИКЛИ обеспечивает:

- формирование у оператора-летчика образа цели управления по наблюдаемому изображению лидера;
- наглядное представление оператору командно-лидерной информации о заданных параметрах движения по принципу "делай, как я";
- улучшение условий безопасности полета и точности траекторного маневрирования за счет сосредоточения информации о критических состояниях в лидерном изображении и наличия в нем командной информации об управляющих воздействиях для коррекции параметров процесса управления и о направлении парирования опасных отклонений;
- улучшение условий безопасности полета при сближении с рельефом местности, наземными препятствиями и объектами, представляющими угрозу столкновения в полете при ограниченной видимости внекабинной обстановки, за счет псевдообъемного представления картографической информации с мажорантой преимущественных высот рельефа местности в окне авиаторизонта и на многофункциональном индикаторе пилотажно-навигационной информации, а также электронной карты при полете над сложным рельефом местности с использованием картографической информации.

Заключение

1. Анализ антропогенного изменения промышленно-экологической среды и состояния аэрокосмического мониторинга показал, что изменения, вносимые человеком в природную среду, и экологические эффекты, порождаемые его деятельностью почти на 60 % суши, свидетельствуют о необходимости:

- использования аэрокосмических средств наблюдения, контроля и своевременного выявления антропогенных изменений, их динамики и приня-

тия решения о противодействии опасным широкомасштабным изменениям окружающей среды;

- дальнейшего совершенствования методов и средств мониторинга;
- создания ЭВКСМ на основе использования пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов, наземных средств перемещения, спутниковых навигационных систем, мобильной спутниковой связи и специального оборудования, обеспечивающей аэрокосмический мониторинг окружающей среды и ее защиту в чрезвычайных состояниях.

2. Разработанная концепция построения ЭВКСМ базируется на:

- иерархическом построении архитектур комплекса;
- аппаратной, функциональной и алгоритмической интеграции наземной и воздушной составляющих комплекса;
- использовании всех ресурсов комплекса для решения текущей задачи мониторинга окружающей среды и полетного задания пилотируемых и летательных аппаратов в целом;
- рациональном взаимодействии операторов наземного мобильного пункта управления, комплекса бортового оборудования МБЛА и отбражаемой модели образа цели управления;
- использовании надежной помехоустойчивой спутниковой радиоэлектронной связи с взаимодействующими объектами;
- интеллектуальных алгоритмах управления комплексом бортового оборудования МБЛА и обеспечения интеллектуальной поддержки операторов и технического персонала;
- потребности максимально возможной автономности полета МБЛА;
- обеспечении соответствия информационной командно-лидерной индикации автоматизированных рабочих мест операторов, средств интеллектуальной поддержки, систем автоматизации управления и органов управления бортовым оборудованием психофизиологическим возможностям операторов при решении профессиональных задач.

3. Обоснованные принципы комплексирования эргатической воздушно-космической системы мониторинга на базе беспилотных и пилотируемых летательных аппаратов, спутниковых навигационных систем, мобильной спутниковой связи и передвижного комплекса мониторинга стационарных и подвижных наземных объектов обеспечивают рациональное взаимодействие операторов наземного мобильного пункта управления и мобильного воздушного пункта контроля и дистанционного управления при решении задач мониторинга и защиты ок-

ружающей среды, наземных и морских объектов. Использование аппаратуры мобильной спутниковой связи позволяет изменять маршрут полета и характер барражирования заданной зоны мониторинга на любых дальностях от наземного пункта управления, а также с борта вертолета — мобильного пункта управления, осуществлять оперативное вмешательство в управление транспортным средством, принимать конкретные решения по информационным данным мониторинга и дает возможность расширения области применения ЭВКСМ.

4. Комплексное использование технологий спутниковых систем навигации ГЛОНАСС/GPS и систем мобильной спутниковой связи "Гонец", "Ямал", КС "Арктика", ГПКС "Космическая связь", "Galileo", "Iridium" обеспечивает эффективное решение задач мониторинга и защиты окружающей среды Российской Федерации, государств СНГ и стран-партнеров.

Список литературы

1. Сильвестров М. М., Бегичев Ю. И., Варочко А. Г., Козиров Л. М., Луканичев В. Ю., Наумов А. И., Чернышов В. А. Эргатические интегрированные комплексы летательных аппаратов / Под. ред. М. М. Сильвестрова. М.: Филиал воениздата, 2007. 510 с.
2. Сильвестров М. М., Пономаренко А. В., Михайленко О. А., Чернышов В. А. Архитектура эргатического беспилотного авиационного комплекса для мониторинга окружающей среды // Полет. 2012. № 7. 13 с.
3. Сильвестров М. М., Бегичев Ю. И., Варочко А. Г., Воробьев А. В., Котицын Л. О., Михайленко О. А., Наумов А. И., Пономаренко А. В. Технология создания комплексов управления многоцелевых беспилотных и пилотируемых аэрокосмических систем. М.: Издательство МБА, 2014. 296 с.
4. Бегичев Ю. И., Воробьев А. В., Котицын Л. О., Михайленко О. А., Сильвестров М. М. Комплекс аэрокосмического мониторинга окружающей среды и наземных объектов с использованием мобильной спутниковой связи, беспилотных и пилотируемых летательных аппаратов // Сб. науч. статей "Академические Жуковские чтения", ВУНЦ ВВС "ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, г. Воронеж, 2015. 5 с.
5. Герасимов И. П. Научные основы современного мониторинга окружающей среды. Л.: Гидрометеиздат, 1987. С. 13—25.
6. Низкоорбитальная космическая система персональной спутниковой связи и передачи данных / Под ред. президента ОАО "Спутниковая система "Гонец" А. И. Галькевича. Тамбов: ООО "Издательство Юлис", 2011. 169 с.
7. Горшков М. В. Экологический мониторинг: учеб. пособие / М. В. Горшков. Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2010. 313 с.
8. Израэль Ю. А. Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка окружающей природной среды. Основы мониторинга // Метеорология и гидрология. 1974. № 7. С. 3—8.
9. ГАЗПРОМ КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. URL: www.gazprom-spacesystems.ru.
10. Прохоров Ю. О. О перспективах развития спутниковой орбитальной группировки ФГУП "Космическая связь" // Технологии и средства связи. Спецвыпуск "Спутниковая связь и вещание 2014". № 6 (99). Ч. 2. 2013. С. 14—15.

Concept for Construction of the Ergatic Airspace System for Monitoring of the Environment, Maritime and Land-Based Facilities

Y. I. Begichev¹, begichevy@mail.ru✉, A. G. Varochko², L. O. Kotitsin¹, burlenka@list.ru, O. A. Mikhaylenko³, moa@mvsplus.ru, M. M. Silvestrov¹, IASO@inbox.ru,

¹ Public joint-stock company (PJSC) "Scientific Research Institute of Aviation Equipment", Zhukovsky, Moscow region, 140180, Russian Federation

² Federal State Unitary Enterprise "Center for exploitation of space ground-based infrastructure", branch "Design Bureau" Motor", Moscow, 123100, Russian Federation

³ Closed joint-stock company (CJSC) "MVS global telecommunications +", Moscow, 127015, Russian Federation

Corresponding author: **Begichev Yury L.**, Ph. D., Associate Professor, Researcher, Scientific Research Institute of Aviation Equipment Co., Zhukovsky, Moscow Region, 140180, Russian Federation
e-mail: begichevy@mail.ru

Received on February 01, 2016

Accepted on February 05, 2016

The article presents substantiation of the concept for construction of the Ergatic Airspace System for monitoring of the environment. The system includes multi-purpose manned and unmanned aerial vehicles, a land mobile system for monitoring of the stationary and mobile land objects, satellite navigation and communication systems (GLONASS, Gonets, Yamal, Arktika, RSCC Space Communication, Iridium, Galileo), a station of ground mobile control of the monitoring system, a station of air control and remote control of the multi-purpose unmanned aerial vehicles for solving the problems of the environment protection. The principles were substantiated for complexation of the Ergatic Airspace System of monitoring on the basis of the manned and unmanned aerial vehicles, satellite navigation systems, mobile satellite communications and mobile system for monitoring of the stationary and mobile land objects. The developed layout sample of the unified land mobile station for control and diagnostics of the state of equipment for the multi-purpose unmanned aerial vehicles allows to solve the following problems: autonomous automatic control of LUAV during environmental monitoring; remote command-leader control of LUAV groups in special flights; reference maneuvering in case of changing targets of monitoring; combined control, when LUAV groups go to the area of application autonomously under the program, while application of the target load is produced by the remote command control. Complex use of GLONASS/GPS technologies and multifunctional satellite communications and data transmission systems Gonets-DIM, Yamal, Arktika, RSCC Space Communication, Iridium, and Galileo in the Ergatic Airspace System of monitoring provides effective solutions to the problems of monitoring and environment protection in the Russian Federation, CIS States and partner countries.

Keywords: monitoring system, mobile satellite communication, information-management system, ergatic interface, module of reference maneuvering, information command-leading indication, module of intellectual support, control and navigational equipment, image of a control object, mnemonic frame

For citation:

Begichev Y. I., Varochko A. G., Kotitsin L. O., Mikhaylenko O. A., Silvestrov M. M. Concept for Construction of the Ergatic Airspace System for Monitoring of the Environment, Maritime and Land-Based Facilities, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, vol. 17, no. 5, pp. 325–334.

DOI: 10.17587/mau/17.325-334

References

1. Silvestrov M. M., Begichev Y. I., Varochko A. G., Kozyrev L. M., Lucanica V. Y., Naumov A. I., Chernyshov V. A. Ergonomics-integrated systems of aircraft. Under edition M. M. Silvestrov, Moscow, Branch book's office, 2007, 510 p. (in Russian).

2. Silvestrov M. M., Ponomarenko A. V., Mikhailenko O. A., Chernyshov V. A. Architecture of the ergatic multirole unmanned aircraft complex for environmental monitoring, *Polet*, 2012, no. 7, 13 p. (in Russian).

3. Silvestrov M. M., Begichev Y. I., Varochko A. G., Vorobyov A. V., Kotitsin L. O., Mikhaylenko O. A., Naumov A. I., Ponomarenko V. A. Technology of creation of complex multi-purpose manned and unmanned aerospace systems, Moscow, Publishing house of the IBA, 2014, 296 p. (in Russian).

4. Begichev Y. A., Vorobyov A. V., Kotitsin L. O., Mikhaylenko O. A., Silvestrov M. M. The complex of aerospace environmental monitoring and ground-based objects with the use of mobile satellite communications, unmanned and manned aircraft, Voronezh city, Academy of the Zhukovsky and the Gagarin, 2015, 5 p. (in Russian).

5. Gerasimov I. P. The Scientific basis of modern environmental monitoring, Leningrad, Gidrometeo-publishing house, 1987, p. 13–25 (in Russian).

6. Galkevich A. I. ed. Low-orbit space system of personal satellite communication and data transmission, Tambov, Publishing house Yulis, 2011, 169 p. (in Russian).

7. Gorshkov M. V. Ecological monitoring. Prog. tutorial, Vladivostok, 2010, 313 p. (in Russian).

8. Israel Y. A. The global observing system. Forecast and assessment of the natural environment. The basis of monitoring, *Meteorology and Hydrology*, 1974, no. 7, p. 3–8 (in Russian).

9. GAZPROM SPACE SYSTEMS, available at www.gazprom-spacesystems.ru.

10. Prokhorov Y. O. On prospects of development of satellite orbital group of the FGUE "Space communications", *Technology and communications, Special issue "Satellite communication and broadcasting 2014"*, 2013, no. 6 (99), part 2, pp. 14–15 (in Russian).