

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДАЛЬНЕЙ РАДИОСВЯЗИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ЗАДАЧ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ**Н.Н. Долженков¹, Д.Г. Пантенков¹, В.П. Литвиненко²,
А.А. Ломакин¹, А.Т. Егоров¹, А.А. Гриценко³**¹АО «Кронштадт», г. Москва, Россия²Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия³ЗАО «Информационный космический центр «Северная корона», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация: в настоящее время в РФ перспективы развития боевой и гражданской беспилотной авиации в интересах соответственно специального и гражданского заказчиков обусловлены целым рядом факторов. Прежде всего, постоянно возрастающей ценой пилотируемых самолетов и вертолетов, ростом стоимости обучения пилотов для них – в то время как для решения достаточно широкого круга задач наличие человека сегодня не является обязательным. Помимо этого, во многих странах мира ведутся активные работы по разработке принципиально новых моделей и конструкций планера беспилотника, который был бы рассчитан на повышенные нагрузки в сравнении с пилотируемой авиацией, а также по оснащению такого рода аппаратов совершенными системами управления для упрощения работы наземного оператора комплекса с БЛА. Не стоит сбрасывать со счетов и человеческую жизнь – самое ценное, что у нас есть. В этом плане использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) – это возможность уменьшения человеческих жертв среди летчиков и автоматизация решаемых целевых задач. С точки зрения обеспечения информационного обмена между БЛА и наземным пунктом управления и обработки информации (НПУОИ) в составе беспилотного летательного аппарата имеются две радиолинии передачи командно-телеметрической и целевой информации – радиолиния прямой видимости и спутниковая радиолиния (загоризонтная радиосвязь) посредством ретрансляции информации между БЛА и НПУОИ через космический аппарат. Поскольку обе указанные радиолинии имеют в своем составе достаточно большое количество общих блоков и функциональных узлов, то актуальным становится вопрос аппаратной оптимизации двух радиолиний в одну с целью уменьшения массогабаритных характеристик, стоимости изготовления и испытаний, унификации в конечном итоге. Данная статья направлена на интеграцию (аппаратное объединение) радиолиний прямой видимости и спутниковой радиолинии в составе КБЛА за счет объединения общих блоков, входящих в состав обоих передающих и приемных трактов

Ключевые слова: комплексы с беспилотными летательными аппаратами, радиолиния, интеграция, космический аппарат, спутниковая радиосвязь, повышение эффективности, радиус действия, целевое назначение

Введение

Основным назначением беспилотных летательных аппаратов большого радиуса действия является мониторинг земной поверхности и окружающего пространства. Полученные данные могут храниться в бортовых накопителях, либо ретранслироваться в реальном или близком к нему масштабе времени на наземный пункт управления. Информационный обмен в пределах зоны радиовидимости между БЛА и НПУ осуществляется по прямым радиоканалам, а на больших расстояниях – по спутниковым радиоканалам.

С целью оптимизации технических решений по обеспечению информационного обмена целесообразно рассмотреть возможность создания интегрированного комплекса средств радиосвязи, позволяющего в зависимости от

выполняемых беспилотными аппаратами задач и расстояния до НПУ организовывать прямые земные и ретрансляционные спутниковые каналы передачи данных.

Состав, технические характеристики и структура бортовой и наземной частей интегрированного комплекса дальней радиосвязи

Комплекс должен состоять из универсального наземного терминала (НТ), работающего в прямом и спутниковом радиоканалах и бортового терминала (БТ) с двумя соответствующими радиочастотными модулями.

При этом, согласно [1], бортовой терминал классифицируется как земная станция фиксированной спутниковой радиосвязи, устанавливаемая на подвижном объекте.

Следовательно, в режиме передачи информации через космический аппарат ретранслятор наземный и бортовой терминалы

являются абонентским оборудованием спутниковой системы радиосвязи.

Для сокращения номенклатуры оборудования наземного терминала в качестве рабочих целесообразно выбрать смежные участки частотных диапазонов спутниковой и подвижной радиосвязи. В наибольшей степени этому требованию удовлетворяют частоты, близкие к спутниковому Ku-диапазону [2].

Таблица 1

Частотный план Ku-диапазона для наземных терминалов спутниковой и подвижной радиосвязи

Частота, ГГц	Вид связи	
	Прием	Передача
14,5 – 14,8	Подвижная связь	
13,75 – 14,5	–	Спутниковая связь стандартный Ku диапазон
10,95 – 12,75	Спутниковая связь стандартный Ku-диапазон	–
10,0 – 10,55	Подвижная связь	

Из данных табл. 1 следует, что универсальный НТ должен работать в расширенном диапазоне со следующими границами:

- на прием 10,0...12,75 ГГц;
- на передачу 13,75...14,8 ГГц.

На рис. 1 представлен вариант частотного плана связи между БТ и НТ по прямому и спутниковому радиоканалам. Входящая стрелка соответствует частотному диапазону приема, а исходящая – передачи.

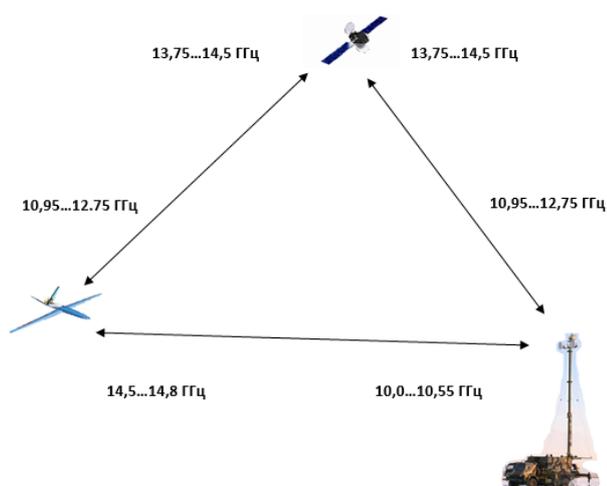


Рис. 1. Вариант частотного плана связи между БТ и НТ по прямому и спутниковому радиоканалам

Смежное расположение спутниковых и земных частотных радиоканалов позволяет ис-

пользовать в НТ единую антенно-фидерную систему.

Информационный трафик между НТ и БТ-несимметричный. От НТ к БТ передается низкоскоростная командная информация. Основные требования к каналу – минимальное время задержки и максимальная устойчивость к естественным и преднамеренно созданным помехам. Время задержки определяется временем распространения радиоволн на трассе и временем обработки при кодировании и декодировании. Для передачи низкоскоростной командной информации целесообразно использовать либо традиционные сверточные коды по алгоритму Витерби, обеспечивающие минимальную временную задержку, либо более современные конструкции типа VersaFEC как компромисс между временем обработки и энергетической эффективностью. Увеличение помехоустойчивости к воздействию преднамеренных помех может достигаться путем расширения спектра радиосигнала.

От БТ к НТ передаются два информационных потока – низкоскоростной телеметрический и высокоскоростной целевой. Требования к помехоустойчивости и задержке в телеметрической радиолинии соответствуют требованиям к передаче командной информации. Аналогичны и способы их реализации.

При передаче высокоскоростных потоков целевой информации основным требованием является энергетическая эффективность. Поэтому для спутникового радиоканала могут быть использованы алгоритмы стандартов DVB-S2(x) или VersaFEC, а для прямого, в условиях многолучевого распространения, предпочтение следует отдать технологии OFDM (DVB-T2), как наиболее устойчивой к межсимвольной интерференции, потери от которой могут достигать 10 дБ. Значительный пик-фактор, свойственный радиосигналу DVB-T2 с множеством ортогональных несущих, компенсируется умеренными требованиями к средней выходной мощности передающего устройства прямого канала.

Способ уплотнения радиосигналов целевой информации и телеметрии выбирается исходя из численности и тактических особенностей применения группировок БЛА. Одновременная работа с несколькими БЛА возможна по спутниковому радиоканалу. В зоне прямой радиовидимости количество обслуживаемых БЛА ограничивается шириной диаграммы направленности антенны НТ.

Энергетические характеристики радиолиний зависят от множества факторов и рассчитываются в каждом конкретном случае. Стандартные методики расчетов изложены в [3-9].

В качестве предварительной оценки могут быть использованы данные, приведенные в табл. 2 и 3.

Таблица 2
Оценочные характеристики канала прямой радиосвязи

Параметр	Характеристика параметра	
	Командная линия	Информационно-телеметрическая линия
Направление передачи информации	НТ - БТ	БТ - НТ
Сигнально-кодовая конструкция	Витерби	целевая информация DVB-T2 телеметрия Витерби
Информационная скорость, кбит/с	до 64	целевая информация до 20000
		телеметрия до 64
Наклонная дальность, км	250	
Антенна НТ	направленная с апертурой 2,4 м	
Антенна БТ	ненаправленная в азимутальной плоскости	
Выходная мощность, Вт	до 2	10
Учетные потери в атмосфере и осадках при малых углах места, дБ	9	6
Дополнительный энергетический резерв, дБ	22...25	для целевой информации и телеметрии 10...13
		только для телеметрии 32...35

Таблица 3
Оценочные характеристики канала спутниковой радиосвязи

Параметр	Характеристика параметра	
	Командная линия	Информационно-телеметрическая линия
Направление передачи информации	НТ - спутник - БТ	БТ - спутник - НТ
Сигнально-кодовая конструкция	Витерби	целевая информация DVB-S2(X) телеметрия Витерби
Информационная скорость, кбит/с	4,8 - 16	общая - 3000...10000*

Продолжение табл. 3

Антенна НТ	направленная с апертурой 2,4 м	
Антенна БТ	направленная с апертурой 60 см	
Выходная мощность, Вт	до 2	50

Примечание: верхняя граница зависит от типа спутника-ретранслятора, зоны полета БЛА и интенсивности осадков.

На рис. 2 приведена упрощенная схема бортового терминала.

БТ состоит из универсального модема и двух радиочастотных модулей, которые устанавливаются на БЛА в соответствии с полетным заданием. Универсальный модем является каналобразующим оборудованием и осуществляет прямые и обратные преобразования в выбранном формате. Дополнительными задачами модема являются уплотнение и расширение спектра радиосигналов. Функции конвертора «вверх» и усилителя мощности выполняет ВУС (Block Upconverter), а малошумящего усилителя и конвертора «вниз» – LNB (Low Noise Block).

Направленная антенна радиочастотного модуля спутникового радиоканала предназначена для радиосвязи с космическим аппаратом-ретранслятором, например, серий «Экспресс» и «Ямал», имеет 3 степени свободы, обеспечивающие ориентацию на спутник в азимутальной и угломестной плоскостях, а также подстройку поляризации при эволюциях БЛА. Наведение направленной антенны может осуществляться двумя способами – пеленгацией радиомаяка космического аппарата и по командам бортовой информационной системы БЛА. Антенна под радиопрозрачным обтекателем располагается в верхней части фюзеляжа БЛА. В ходе выполнения программы полета допускается смена КА-ретрансляторов с целью обеспечения надежности радиосвязи.

Для обеспечения технических характеристик, представленных в табл. 3, радиочастотный модуль спутникового канала должен иметь ЭИИМ не менее 52 дБВт и добротность – плюс 13 дБ/К. Модуль работает в стандартном спутниковом Ku – диапазоне [10-14].

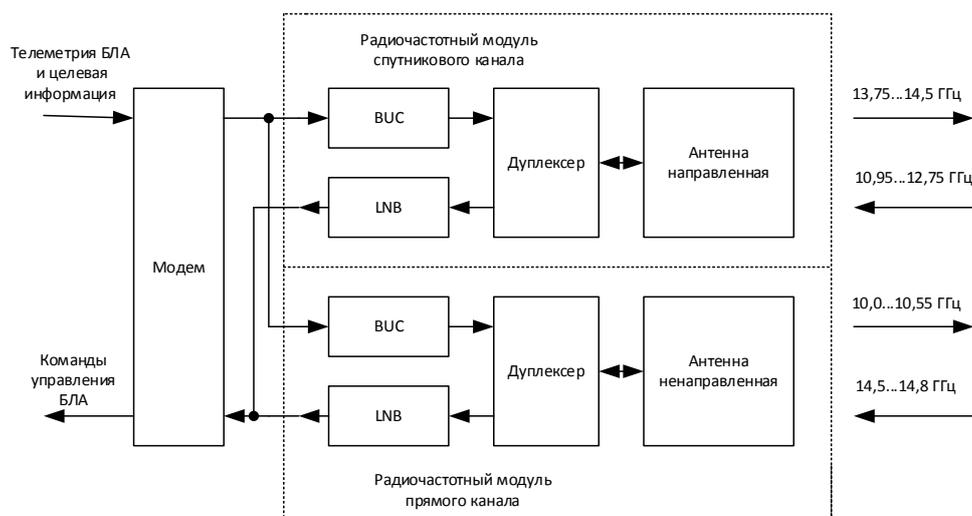


Рис. 2. Упрощенная структурная схема БТ с модулями прямого и спутникового радиоканалов

На рис. 3 показана авиационная малогабаритная антенна спутниковой системы связи «Акцент-СМ». Изделие может являться прототипом модуля спутникового канала.



Рис. 3. Авиационная малогабаритная антенно-фидерная система спутникового канала

Антенна прямого канала предназначена для организации связи в пределах радиогоризонта наземного терминала (до 250 км). Антенна имеет круговую диаграмму направленности в азимутальной плоскости и секторную ($30^\circ - 45^\circ$) в угломестной. Поляризация – линейная неуправляемая.

Антенна стационарно закрепляется в нижней части фюзеляжа БЛА. ЭИИМ модуля прямого канала – 13...14 дБ, а добротность – минус 23 дБ/К. Модуль работает в диапазонах подвижной радиосвязи 10/14 ГГц.

В основе НТ (рис. 4) лежит архитектура земных станций спутниковой радиосвязи. Наземный терминал оборудован двумя антеннами. Одна из них, дальней зоны, диаметром 2,4 м предназначена для связи с БЛА по прямому и спутниковому радиоканалам, а вторая, всенаправленная в верхней полусфере – для обмена командно-телеметрической информацией на расстоянии до 25...40 км.

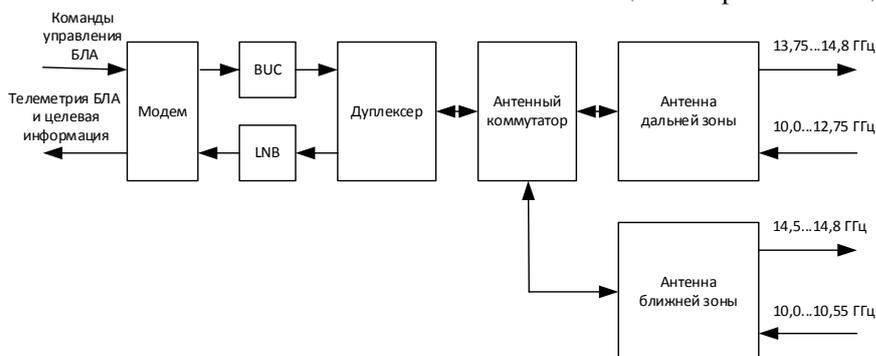


Рис. 4. Упрощенная структурная схема одноканального наземного терминала

Антенна дальней зоны должна быть полноповоротной с автосопровождением, обеспечивать перенацеливание луча по углу места – от 0° до 90°. Для автосопровождения могут использоваться алгоритмы моноимпульсной пеленгации или равносигнального приема.

Основные энергетические характеристики одноканального НТ приведены в табл. 4.

Направленная антенна работает в полном диапазоне частот, включающем в себя спутниковую и подвижную радиосвязь.

Антенна ближней зоны работает только в диапазоне подвижной радиосвязи.

Таблица 4

Основные энергетические характеристики одноканального наземного терминала

Антенна	ЭИИМ, дБВт	Добротность, дБ/К
Направленная	50	29
Ближней зоны	11	минус 26

На рис. 5 представлен внешний вид одной из возможных конструкций направленной антенны.



Рис. 5. Антенный пост Полюс-М-2,4 м

На базе одноканального НТ может быть выполнен модуль управления взлетом и посадкой. В его составе отсутствует направленная антенна и антенный коммутатор. Модуль обеспечивает обмен командно-телеметрической информацией на расстоянии до 25...40 км и прием видеосигнала от БЛА на расстоянии от 3 км.

При необходимости одновременного управления несколькими БЛА наземный терминал может быть многоканальным. Для каждого канала используется собственный модем, который через матрицу коммутируется с одним из двух приемо-передающих трактов, связанных с антеннами ближней и дальней зоны. Соответственно количеству активных каналов должна меняться выходная мощность передающего устройства.

Заключение

Интегрированный комплекс дальней радиосвязи предназначен для обмена информацией между НПУ и БЛА большого радиуса действия со скоростями до 20 Мбит/с. Для сокращения номенклатуры оборудования радиокomплекса прямые и спутниковые радиоканалы работают в смежных участках Ku-диапазона частот и диапазонов частот подвижной радиосвязи. Увеличение помехоустойчивости при передаче командной и телеметрической информации достигается путем расширения спектра радиосигналов.

В состав БТ должны входить универсальное каналообразующее оборудование и сменные приемо-передающие радиочастотные модули прямого и спутникового радиоканалов.

Универсальный наземный терминал обеспечивает работу в прямом и спутниковом радиоканалах. НТ состоит из каналообразующего оборудования, приемо-передающего тракта и двух антенн. Направленная антенна предназначена для работы в дальней зоне прямого радиоканала, а также для обеспечения радиосвязи со спутником-ретранслятором. Антенна с диаграммой направленности в верхней полусфере предназначена для управления БЛА в ближней зоне прямого радиоканала.

Литература

1. Решение Государственной комиссии по радиочастотам при Минкомсвязи России от 2 октября 2012 г. № 12-15-05-6 «Об использовании полос радиочастот в диапазонах 14/11-12 ГГц абонентскими земными станциями спутниковой связи, устанавливаемыми на подвижных объектах» [Электронный ресурс] //Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902376496>.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 21 декабря 2011 г. N 1049-34 «Об утверждении таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых постановлений правительства Российской Федерации».
3. Боев Н.М. Анализ командно-телеметрической радиолинии связи с беспилотными летательными аппаратами // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета.

ского университета им. акад. М.Ф. Решетнева. 2012. Вып. 2 (42). С. 86–91.

4. Методический подход оценки компенсации доплеровского смещения частоты в спутниковых линиях информационного обмена при эксплуатации космических систем связи / А.В. Вейко, В.И. Великоиваненко, А.А. Ломакин, Д.Г. Пантенков, В.С. Константинов, Д.Д. Тюрина // Проблемные вопросы развития наземных комплексов, стартового оборудования и эксплуатации летательных аппаратов: сб. науч. тр. М.: Филиал ФГУП «ЦЭНКИ»-КБТХМ, 2018. Ч. 1. С. 289-297.

5. Система спутниковой связи с последовательным зональным обслуживанием / В.И. Великоиваненко, Н.В. Гусаков, П.В. Донченко, А.А. Ломакин, Д.Г. Пантенков, В.М. Соколов // Космонавтика и ракетостроение, 2014. № 2 (75). С. 48-56.

6. Полинкин А.В., Ле Х.Т. Исследование характеристик радиоканала связи с беспилотными летательными аппаратами // Известия ТулГУ. 2013. Вып. 7. Ч. 2. С. 98-107.

7. Рекомендация МСЭ-R P.528-3 (02/2012) Кривые распространения радиоволн для воздушной подвижной и радионавигационной служб, работающих в диапазонах ОВЧ, УВЧ и СВЧ.

8. Спутниковая связь и вещание: справочник / В.А. Бартнев, Г.В. Болотов, В.Л. Быков и др.; под ред. Л.Я. Кантора. М.: Радио и связь, 1997.

9. Интернет-версия ПО «Бюджет». Режим доступа: info.spacecenter.ru/satellite-budget.php.

10. Пантенков Д.Г., Литвиненко В.П., Гусаков Н.В. Математическое, численное и электродинамическое моделирование активных фазированных антенных решеток // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8. № 10.2. С.86-90.

11. Пантенков Д.Г., Литвиненко В.П. Марковская модель случайного процесса // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8. № 12.1. С. 23-27.

12. Пантенков Д.Г., Литвиненко В.П., Гусаков Н.В. Математическое моделирование потенциальной скрытности канала связи в многоканальных радиоприемах // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2013. Т. 9. № 1. С. 47-49.

13. Пантенков Д.Г., Гусаков Н.В. Компьютерное моделирование активной фазированной антенной решетки // Космическая техника и технологии. 2013. № 1. С. 32-38.

14. Пантенков Д.Г., Литвиненко В.П. Компьютерное моделирование передачи полезной информации в спутниковых радиоприемах при многолучевой связи // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2013. Т. 9. № 3.1. С. 127-131.

Поступила 10.04.2019; принята к публикации 11.06.2019

Информация об авторах

Долженков Николай Николаевич – д-р техн. наук, генеральный директор, АО «Кронштадт» (115432, Россия, г. Москва, проспект Андропова, д. 18, кор. 9), тел. 8(495)230-00-36, e-mail: Nikolay.Dolzhenkov@kronstadt.ru

Пантенков Дмитрий Геннадьевич – канд. техн. наук, начальник отделения радиосвязного оборудования, АО «Кронштадт» (115432, Россия, г. Москва, проспект Андропова, д. 18, кор. 9), тел. 8(926)109-23-95, e-mail: pantekov88@mail.ru

Литвиненко Владимир Петрович – канд. техн. наук, доцент, Воронежский государственный технический университет (394026, Россия, г. Воронеж, Московский проспект, д. 14), e-mail: litvinvp@gmail.com

Ломакин Андрей Александрович – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, АО «Кронштадт» (115432, Россия, г. Москва, проспект Андропова, д. 18, кор. 9), e-mail: Andrei.Lomakin2@kronstadt.ru

Егоров Александр Тимофеевич – начальник отдела систем радиосвязи, АО «Кронштадт» (115432, Россия, г. Москва, проспект Андропова, д. 18, кор. 9), e-mail: Aleksander.Egorov@kronstadt.ru

Гриценко Андрей Аркадьевич – канд. техн. наук, генеральный директор, ЗАО «Информационный космический центр «Северная корона» (199034, г. Санкт-Петербург, 17-я линия В.О., д. 4-6), тел. 8(812) 922-36-21, e-mail: org@spacecenter.ru

INTEGRATED COMPLEX OF THE LONG-DISTANCE RADIOCOMMUNICATION FOR INCREASE EFFICIENCY OF THE SOLUTION OF TARGET TASKS BY UNMANNED VEHICLE

**N.N. Dolzhenkov¹, D.G. Pantenkov¹, V.P. Litvinenko², A.A. Lomakin¹,
A.T. Egorov¹, A.A. Gritsenko³**

¹«Kronstadt», Moscow, Russia

²Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

³Closed joint stock company "Information Space Center "Northern Crown", St. Petersburg, Russia

Abstract: currently, in the Russian Federation, the prospects for the development of combat and civil unmanned aircraft vehicle (UAV) in the interests of special and civil customers, respectively, are due to a number of factors. First of all, the ever-increasing price of manned aircraft and helicopters, the rising cost of training pilots for them – while for the solution of a wide range of tasks, the presence of a person today is not mandatory. In addition, in many countries of the world, active work is underway to develop fundamentally new models and designs of the UAV glider, which would be designed for increased loads in comparison with manned aircraft, as well as to equip such devices with perfect control systems to simplify the work of the ground operator of the complex with UAV. We should not discount human life – the most valuable thing we have. In this regard, the use of unmanned aerial vehicles is an opportunity to reduce human casualties among pilots and automatization of the target tasks. From the point of view of ensuring information exchange between the UAV and the ground control and information processing (GCIP), consisting of unmanned aircraft has two radio transmission command telemetry and target data is a

radio link line of sight and satellite radio line through relay of information between the UAV and GCIP through the spacecraft. Since both of these radiolines are composed of a sufficiently large number of common components and functional units, the actual question is the hardware optimization of two radiolines in one with the aim of reducing the weight and size characteristics, the cost of manufacturing and testing, unification in the end. This article is aimed at the integration (hardware Association) of line-of-sight radiolines and satellite radio lines in the structure of complexes with UAV by combining common units that are part of both transmitting and receiving tracks

Key words: complexes with unmanned aerial vehicles, radio line, integration, spacecraft, satellite radiocommunication, increase in efficiency, range, purpose

References

1. "Decision of the State Radio Frequency Commission at the Ministry of Telecom and Mass Communications of the Russian Federation of October 2, 2012 no. 12-15-05-6 "About use of radio frequency bands in the ranges of 14/11-12 GHz the subscriber terrestrial stations of satellite communication set on mobile objects", *Electronic fund legal and the specifications and technical documentation (Elektronnyy fond pravovoy i normativno-tekhnicheskoy dokumentatsii)*, available at: <http://docs.cntd.ru/document/902376496>.
2. The resolution of the government of the Russian Federation of December 21, 2011 N 1049-34 "About the approval of the allocation table of radio frequency bands between radio services of the Russian Federation and recognition become invalid for some resolutions of the Government of the Russian Federation"
3. Boev N.M. "The analysis of the command and telemetric radio communication line with unmanned aerial vehicles", *Bulletin of the M.F. Reshetnev Siberian State Space University (Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akad. M.F. Reshetneva)*, 2012, vol. 2 (42), pp. 86-91.
4. Veyko A.V., Velikoivanenko V.I., Lomakin A.A., Pantenkov D.G., Konstantinov V.S., Tyurina D.D. "Methodical approach of assessment of compensation of the Doppler shift of frequency in satellite links of information exchange at operation of space communication systems", *Coll. of Papers: Problematic Issues of Development of Land Complexes, the Starting Equipment and operation of Aircraft (Problemye voprosy razvitiya nazemnykh kompleksov, startovogo oborudovaniya i ekspluatatsii letatel'nykh apparatov: sb. nauch. tr.)*, Moscow, "TsENKI"-KBTHM, 2018, part 1, pp. 289-297.
5. Velikoivanenko V.I., Gusakov N.V., Donchenko P.V., Lomakin A.A., Pantenkov D.G., Sokolov V.M. "Satellite communication system with consecutive zone service", *Astronautics and Rocket Production (Kosmonavtika i raketostroenie)*, 2014, no. 2 (75), pp. 48-56.
6. Polynkin A.V., Le H.T. "Research of characteristics of a radio channel of contact with unmanned aerial vehicles", *News of Tula State University (Izvestiya TULGU)*, 2013, vol. 7, no. 2, pp. 98-107
7. "Curve radio propagations for the air mobile and radio navigational services working in the ranges of UHF and very high frequency", Recommendations of MSE-R P.528-3 (02/2012)
8. Bartenev V.A., Bolotov G.V., Bykov V.L. et al. "Satellite communication and broadcasting: Reference book" ("Sputnikovaya svyaz' i veshchanie: spravochnik"), ed. L.Ya. Kantor, Moscow, Radio i svyaz', 1997.
9. Internet version of software "Budget", available at: info.spacecenter.ru/satellite-budget.php.
10. Pantenkov D.G., Litvinenko V.P., Gusakov N.V. "Mathematical, computational and electrodynamic modeling of active implemented phased arrays", *The Bulletin of Voronezh State Technical University (Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta)*, 2012, vol.8, no. 10-2, pp. 86-90.
11. Pantenkov D.G., Litvinenko V.P. "Markov model of accidental process", *The Bulletin of Voronezh State Technical University (Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta)*, 2012, vol.8, no. 12-1, pp. 23-27.
12. Pantenkov D.G., Litvinenko V. P., Gusakov N.V. "Mathematical modeling of potential reserve of a communication channel in multichannel radio lines", *The Bulletin of Voronezh State Technical University (Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta)*, 2013, vol.9, no. 1, pp. 47-49.
13. Pantenkov D.G., Gusakov N.V. "Computer modeling of the active phased antenna lattice", *Space Equipment and Technologies (Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii)*, April-June, 2013, no. 1, pp. 32-38.
14. Pantenkov D.G., Litvinenko V.P. "Computer modeling of transfer of useful information in satellite radio lines at multibeam communication", *The Bulletin of Voronezh State Technical University (Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta)*, 2013, vol.9, no. 3-1, pp. 127-131.

Submitted 10.04.2019; revised 11.06.2019

Information about the authors

Nikolay N. Dolzhenkov, Dr. Sc. (Technical), General manager, JSC Kronstadt (18 prospekt Andropova, Moscow 115432, Russia), e-mail: Nikolay.Dolzhenkov@kronshtadt.ru
Dmitriy G. Pantenkov, Cand. Sc. (Technical), Head of the Department of Radiocommunication Equipment, JSC Kronstadt (18 prospekt Andropova, Moscow 115432, Russia), tel. 8(926)109-23-95, e-mail: pantenkov88@mail.ru
Vladimir P. Litvinenko, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor, Voronezh State Technical University (14 Moscovskiy prospekt, Voronezh 394026, Russia), e-mail: litvinvp@gmail.com
Andrey A. Lomakin, Cand. Sc. (Technical), Leading Researcher, Kronstadt (18 prospekt Andropova, Moscow 115432, Russia), e-mail: Andrei.Lomakin2@kronshtadt.ru
Aleksandr T. Egorov, Head of the Department of Radiocommunication Systems of JSC "Kronstadt" (18 prospekt Andropova, Moscow 115432, Russia), e-mail: Aleksander.Egorov@kronshtadt.ru
Andrey A. Gritsenko, Cand. Sc. (Technical), General Manager, Information Space Center "Severnaya Korona" (4-6, 17 Line V.O., St. Petersburg 199034, Russia), e-mail: org@spacecenter.ru