



УДК 654.1:528.7

В. Е. Чеботарев, О. Б. Грицан, Е. С. Веретнова

*ОАО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М. Ф. Решетнева»,
г. Железногорск, Красноярский край, Россия*

АЭРОМОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС СОТОВОЙ СВЯЗИ, ДИСПЕТЧИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА

Рассматривается возможность проведения мониторинга, диспетчирования и организации сотовой связи мобильных потребителей в малонаселенных и труднодоступных районах, а также в районах стихийных бедствий на основе использования привязных аэростатных средств в качестве высотных платформ – ретрансляторов. Осуществляются синтез и анализ структурно-функциональной схемы аэромобильного комплекса сотовой связи, диспетчирования и мониторинга. Оцениваются технические характеристики составных частей комплекса: аппаратного оборудования мобильных потребителей, наземного и аэростатного радиоинформационных комплексов, аэростатных средств, средств доставки, развертывания и обслуживания комплекса.

Ключевые слова: сотовая связь, аэростатные средства, ретранслятор, антенна.

V. E. Chebotarev, O. B. Gritsan, E. S. Veretnova

*JSC «Academician M. F. Reshetnev» Information Satellite Systems»,
Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, Russia*

AEROMOBILE COMPLEX FOR CELLULAR COMMUNICATION, DISPATCHING CONTROL, AND MONITORING

It is described the possibility of monitoring, dispatching control, and cellular communication for mobile users to be implemented in under-populated and hard-to-reach areas, as well as in disaster areas, based on application of captive balloons as an high-altitude platform-transponder. It is done synthesis and analysis of structural and functional scheme of aeromobile complex for cellular communication, dispatching control and monitoring. Performances are assessed for the following components of the complex: mobile user hardware, ground and balloon-born radio and information equipment, balloon-born means, as well as means for the complex delivery, deployment and maintain.

Keywords: cellular communication, balloon-born means, transponder, antenna.

Мобильные спутниковые системы связи используются во всем мире для организации дуплексной связи в региональной зоне или в глобальном масштабе. Однако относи-

тельно высокая стоимость спутниковых услуг мобильной связи ограничила область их использования в основном ведомственным классом потребителей. Поэтому для массовых (персональных) потребителей в настоящее время получили широкое распростра-

нение различные виды системы наземной мобильной связи, в первую очередь сотовые системы связи [1–3]. Зона наземных систем связи в основном ограничивается теми областями обслуживания, которые имеют ретрансляторы наземного базирования, размещаемые на высотных сооружениях. Очевидный путь расширения области покрытия беспроводной сети сотовой радиосвязи – подъем ретранслятора наземного базирования с помощью аэростатных средств и интеграция на них мобильных спутниковых систем связи и наземных сотовых систем связи (аэрокосмический мобильный информационный комплекс).

1. Аэрокосмический мобильный информационный комплекс

Аэрокосмический мобильный информационный комплекс (шифр «Аэрокосм») осуществляет дистанционное информационное обеспечение локальной зоны, размещаемой в любом регионе поверхности Земли, в первую очередь в малонаселенных и труднодоступных районах, а также в районах стихийных бедствий, как на постоянной, так и на временной основах [1–3].

Базовая конфигурация комплекса «Аэрокосм» содержит несколько пользовательских терминалов (ПТ) сотовой связи с различными стандартами, радиоинформационный комплекс (РИК), размещаемый на

аэростате, элементы эксплуатируемых спутниковых систем связи и навигации: орбитальная группировка спутников связи и навигации, наземный узел межсетевого сопряжения (УМС), базовый наземный центр (БНЦ), связанные с коммутируемой телефонной сетью общего пользования.

Региональный наземный центр (РНЦ) размещается вблизи наземной точки закрепления привязного аэростата и связывается проводной связью с радиоинформационным комплексом аэростата. В задачу РНЦ входит организация информационного обмена с РИК: передача информации для радиотрансляции и телетрансляции, решение задач управления и диспетчирования.

РИК осуществляет информационное обеспечение локальной зоны посредством:

- 1) радиосвязи между потребителями мобильной сотовой связи;
- 2) спутниковой радиосвязи между разнесенными в пространстве БНЦ и РНЦ;
- 3) определения собственного местоположения, ориентации в пространстве и поправок времени по радиосигналам космических навигационных систем;
- 4) видеонаблюдения поверхности Земли в зоне обслуживания, передачи видеoinформации на РНЦ и БНЦ;
- 5) радиотрансляции, диспетчирования и телетрансляции в локальной зоне с помощью РНЦ.

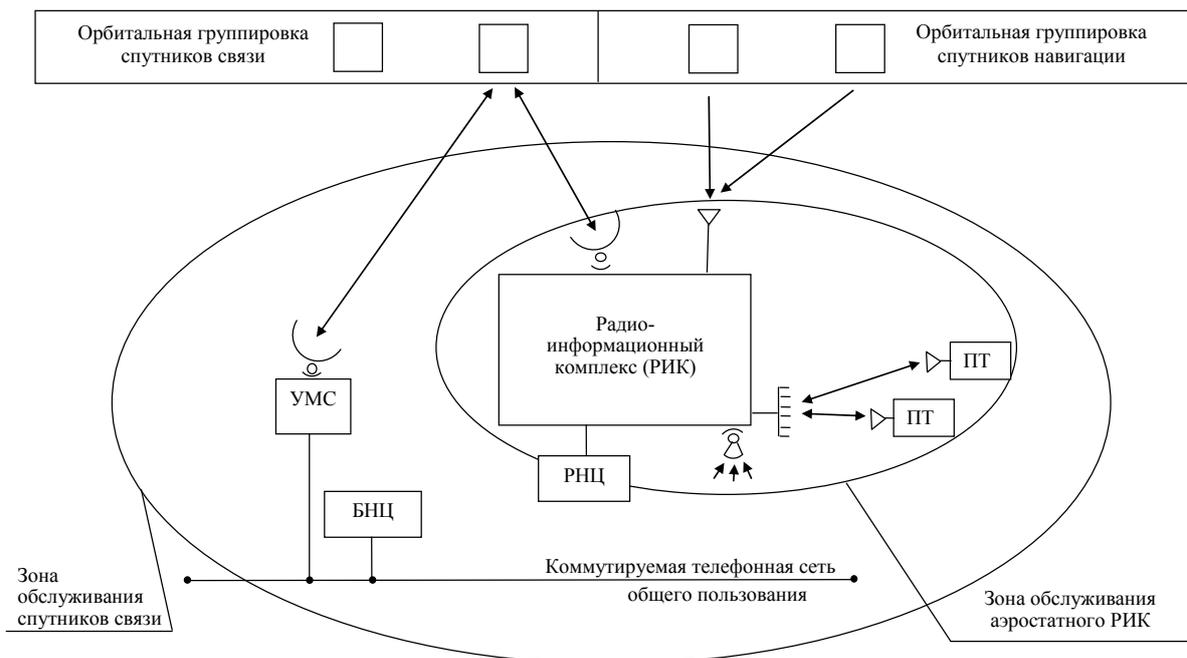


Рис. 1. Структурно-функциональная схема комплекса «Аэрокосм»

2. Аэромобильный комплекс сотовой связи, диспетчирования и мониторинга

Аэромобильный комплекс сотовой связи, диспетчирования и мониторинга «Аэросот-СДМ» является составной частью аэрокосмического мобильного информационного комплекса «Аэрокосм», однако может использоваться самостоятельно за счёт изменения аппаратурного состава наземного и аэростатного РИК (исключение контура космической связи).

Для обеспечения самостоятельного использования комплекса «Аэросот-СДМ» возможны различные варианты комплектации аэростатного РИК и РИЦ в зависимости от объёма решаемых задач.

Одним из примеров успешной реализации такого комплекса является отечественная система БАРС (беспроводная аэростатная радиосеть), которая функционирует с 1999 г., обеспечивая зону покрытия диаметром 50–70 км (рис. 2) [3].

- лебёдку для подъёма и опускания аэростата;
- причальное устройство для удержания аэростата на земле.

При мобильном варианте реализации причальное устройство и лебёдка располагаются в кузове специально оборудованного автомобиля.

Под действием ветровых нагрузок аэростат перемещается внутри конуса с вершиной в точке крепления привязного троса. Это приводит к необходимости создания системы стабилизации положения антенных устройств в пространстве (вертикальная и азимутальная стабилизация).

Вертикальная стабилизация положения антенн достигается путём расположения каркаса крепления антенн на титановом сферическом подшипнике с демпфирующим устройством для гашения колебаний.

Для азимутальной стабилизации используется программно-технический комплекс на основе микропроцессора, электронного ком-

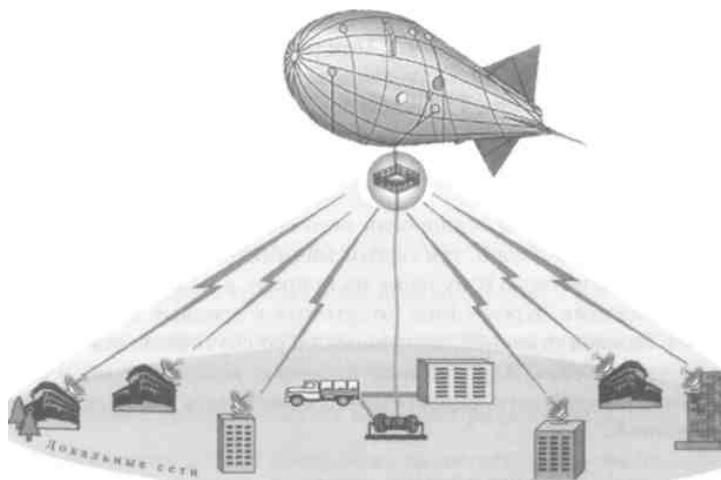


Рис. 2. Архитектура беспроводной сети на основе привязного аэростата

Беспроводная коммуникационная сеть с использованием привязных аэростатов включает следующие основные компоненты:

- гелиевый аэростатный носитель объёмом не ниже 400 м³ и грузоподъёмностью не ниже 50 кг полезной нагрузки;
- РИК на аэростате с широкополосным радиооборудованием стандартов IEEE 802.11x и системой стабилизации положения антенн;
- привязной трос, обеспечивающий удержание аэростата, энергоснабжение и в некоторых случаях передачу данных по оптическому кабелю, расположенному внутри кевларового троса;

паса и серверного двигателя.

Для обеспечения нормального функционирования аэростатное оборудование закрывается радиопрозрачным или, если необходимо, оптически прозрачным обтекателем.

В качестве носителя платформы был взят аэростат Аи-17. Телекоммуникационное оборудование комплекса представлено радиомодемами Cisco WGB340/WGB350 и Cisco BR340/BR350, а также всенаправленной антенной, антенными усилителями и маршрутизаторами.

Абонентские станции работали на базе радиомодема ARLAN. Передача сигнала через

БАРС осуществляется в диапазоне 2,4 ГГц в рамках стандарта IEEE 802.11b.

Максимальная грузоподъёмность аэростатной установки – 120 кг, что позволяет реализовывать телекоммуникационные проекты (к примеру, базовая станция стандарта CDMA весит 54 кг).

Для решения задач, подобных проекту БАРС, также подходит аэростат AU-27 Рысь, изготавливаемый «НПО «РосАэроСистемы».

В состав аэростатного комплекса входят следующие основные элементы: аэростат, кабель, трос, наземное удерживающее устройство, блок управления. Аэростат наполняется инертным газом гелием.

Аэростат может поднимать на высоту до 750 м различное научное оборудование массой до 80 кг. Аэростат удерживается в воздухе с помощью специального канат-кабеля, состоящего из прочного волокна типа кевлар, и трёх медных жил, которые позволяют передавать на борт аэростата электроэнергию мощностью до 3 кВт.

Кабель-трос состоит из следующих основных элементов (рис. 3):

- направляющего стержня (6), вокруг которого навиваются волокна системы защиты от молнии – СВМ (4);
- синтетической оболочки (2), закрывающей СВМ волокна;
- трёх медных многожильных изолированных проводников (3) общим сечением 0,5 мм²;
- одного оптико-волоконного кабеля (5) толщиной 0,3 мм, в котором находятся два светлых кварцевых оптических волокна в изоляции по 250 мкм каждый;
- внешней климатической защиты (1).

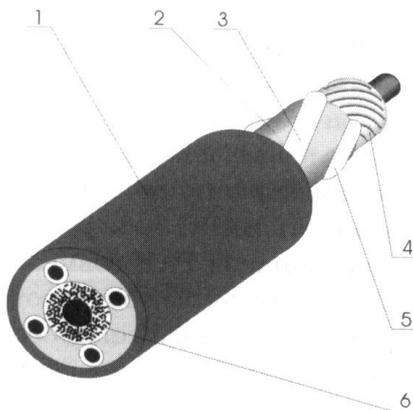


Рис. 3. Структура кабель-троса

Полезный груз обычно крепится непосредственно к оболочке аэростата. Основные характеристики аэростата: максимальный объём газа – 450 м³, максимальный объём баллонета – 112,5 м³, длина – 19 м, высота – 8,8 м, диаметр – 7,0 м, масса – 155 кг. Базовая стоимость аэростата AU-27 Рысь составляет 350 000 долларов США. Срок изготовления 4-5 месяцев.

3. Аэромобильный комплекс сотовой связи и мониторинга

За счёт минимизации номенклатуры и объёма решаемых задач можно уменьшить массу и энергопотребление РИК.

В этом случае вместо аэростата можно использовать метеорологический шар различной грузоподъёмности и подбором состава оборудования оптимизировать затраты на решение наиболее востребованных задач оперативного развёртывания локальной зоны сотовой связи и мониторинга (рис. 4).

Зона обслуживания комплекса «Аэросот-СМ» рассчитывается по известным формулам [4] согласно рис. 5. Результаты расчёта приведены в табл. 1.

Подъёмная сила аэростатных средств определяется из закона Архимеда и в зависимости от типа газа-наполнителя составляет для одного кубометра газа: 1,2 кг – газ водород; 1,1 кг – газ гелий; 0,3 кг – нагретый воздух (до 100 °С). В аэростатах применяется гелий исходя из условия обеспечения пожаробезо-

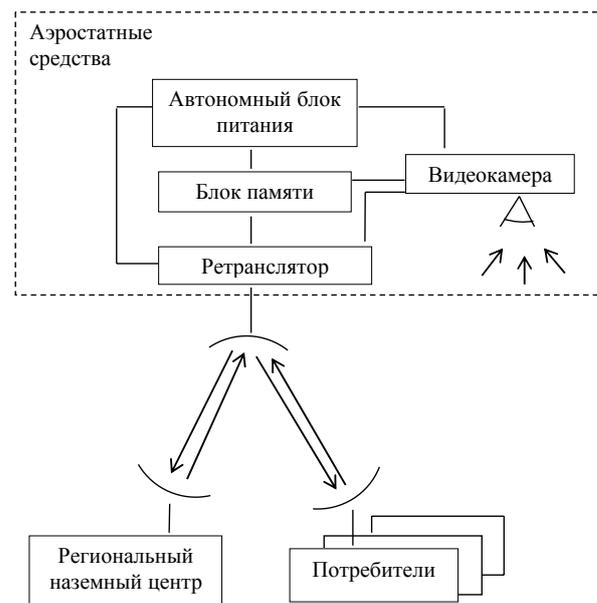


Рис. 4. Аэромобильный комплекс сотовой связи и мониторинга «Аэросот-СМ»

Таблица 1

H, км	r, км	α			α		
		γ	β	D, км	γ	β	D, км
0,1	6371.1	84,99	1,1	1,15	88,95	5,55	5,56
1	6372	84,9	11	11,2	88,58	46,6	46,7
5	6376	84,5	55	55,9	87,55	160,9	161,3
10	6381	84,06	104	105,1	86,64	262	263

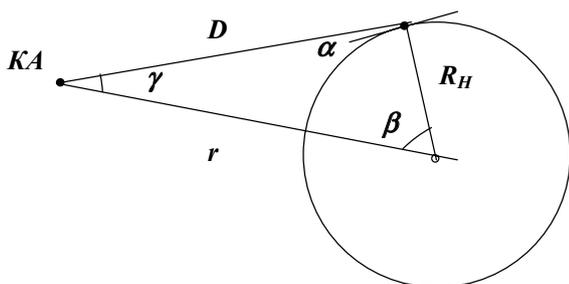


Рис. 5. Геометрическая зона обслуживания

пасности. В метеорологических шарах допускается применять водород. При заправке метеорологического шара из гелиевого баллона ёмкостью 40 л (под давлением 150 атм) объём шара составит 6 м³ (диаметр около 2,3 м), а подъёмная сила – 6,6 кг (метеорологический шар среднего класса). В этом случае масса полезной нагрузки будет ограничена 5 кг.

Используя привязной метеорологический шар в качестве высотной платформы для размещения приборов РИК, можно оперативно развернуть в заданном регионе локальную зону сотовой связи и мониторинга.

Если развёртывание комплекса «Аэросот-СМ» осуществляется в зоне доступности наземных ретрансляторов сотовой связи, их можно использовать в качестве регионального наземного центра. В автономном варианте оборудование регионального наземного центра является принадлежностью комплекса «Аэросот-СМ».

В общем случае комплекс «Аэросот-СМ» включает следующие основные компоненты: метеорологический шар грузоподъёмностью 5–10 кг полезной нагрузки; оборудование РИК, размещаемое на метеорологическом шаре; привязной трос, обеспечивающий удержание метеорологического шара, механизм для его подъёма и опускания, наземное оборудование электропитания, генерации газа и заправки им шара; оборудование РИЦ (аналогично оборудованию наземных ретрансляторов сотовой связи).

В состав оборудования РИК входят ретранслятор с антенной, видеокамера, блок управления, автономный блок питания. Если в качестве ретранслятора применить оборудование базовой станции сотовой связи, использующей стандарт GSM 900, то возможно организовать полноценную сотовую ячейку с пропускной способностью около 1000 одновременно-возможных вызовов. Однако это связано со значительными энергомассовыми затратами (до 54 кг), которые потребуют применения аэростата вместо метеорологического шара, что увеличивает цену всего проекта и уменьшает мобильность.

Для отработки принципов организации сотовой связи через аэростатную платформу предлагается упрощенный вариант комплекса «Аэросот-СМ» (пилот-проект «Аэросот-С»), в котором РИК состоит из блока управления (БУ), двух ретрансляторов с антеннами (РТР-БС и РТР-ПТ) и источника автономного питания (рис. 6).

Ретранслятор РТР-БС осуществляет связь с базовой станцией сотовой связи (БС), а ретранслятор РТР-ПТ – с абонентским терминалом потребителей. Блок управления (БУ) определяет литеры работающей БС и назначает рабочие частоты для абонентского терминала с необходимым разнесением для исключения взаимного влияния.

Для обеспечения работы комплекса «Аэросот-С» со всеми сетями сотовой связи ретрансляторы должны работать в диапазоне частот стандарта сотовой связи GSM 900.

Стандарт GSM 900 – это глобальный стандарт цифровой мобильной сотовой связи с разделением каналов по времени и частоте.

Для радиодоступа в GSM 900 выделены две полосы частот:

f_1 – 890-915 МГц – для канала связи от ПТ к БС;

f_2 – 935-960 МГц – для исходящего канала от БС к ПТ.

Полосы по 25 МГц разделены на 124 пары каналов, которые работают в дуплексном ре-

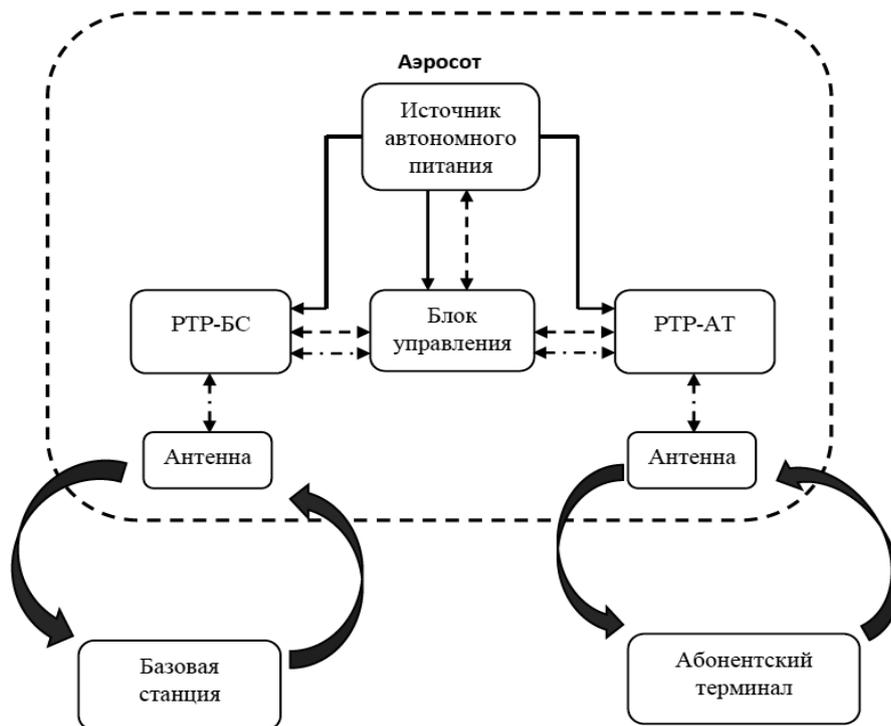


Рис. 6. Автомобильный комплекс сотовой связи «Аэросот-С»

жиге с интервалом несущей частоты 200 кГц, используя многостанционный доступ с частотным разделением каналов (FDMA). Каждый радиоканал с шириной полосы 200 кГц разделён на временные слоты, которые создают 8 логических каналов. При этом используется многостанционный доступ с временным разделением (TDMA). Многостанционный доступ заключается в том, что группа пользователей имеет возможность использовать одну несущую частоту в разные моменты времени.

Канал, переносящий информацию (канал трафика или логический канал), определяется номером несущей частоты и номером одного из 8 временных положений (слотов). Информация переносится в виде коротких пакетов, объединенных в кадры [5].

Максимальный радиус зоны обслуживания одной ячейки сотовой сети стандарта GSM 900 – 35 км, поэтому высота подъема аэростатной платформы должна быть не более 1 км (табл. 1). Это ограничение накладывается радиointерфейсом Um, который используется для передачи данных между ПТ и БС. При попытке передачи сигнала от ПТ, расположенного дальше 35 км, происходит нарушение синхронизации, т.е. передаваемый информационный пакет «не попадает» в выделенный ему временной слот.

Выбор стандарта GSM 900 объясняется тем, что он распространён на всех территориях, покрытых сетью сотовой связи, что позволяет сделать комплекс максимально мобильным и поддерживаемым всеми мобильными ПТ. В связи с этим ретрансляторы РТР-БС и РТР-АТ могут быть созданы на базе уже разработанных и находящихся в свободной продаже ПТ – GSM-модулей. Ретранслятор РТР-БС должен быть создан на основе стандартного GSM-модуля с предустановленной SIM-картой выбранного заранее оператора сотовой связи. Тип используемых антенн – штыревой, с диаграммой направленности типа полусфера.

В варианте использования мобильного комплекса «Аэросот-С» для расширения зоны работы БС он размещается в прямой видимости от БС определённого сотового оператора и работает по следующему алгоритму.

БУ включает РТР-БС, который производит сканирование каналов сигнализации доступных БС и выбирает «наилучшую» по критерию максимальной мощности сигнала в соответствии с системными протоколами интерфейса Um. После выбора конкретной БС РТР-БС направляет на неё запрос о регистрации в сети и переводится в готовность отправки и приема голосовых сообщений.

В рабочем режиме БУ выполняет роль БС, т.е. РТР-АТ по каналу сигнализации по-

сылает служебные сообщения, по которым наземный абонентский терминал (АТ) регистрируется в сети РТР-АТ. В качестве РТР-АТ предлагается использовать радиомодуль сотового телефона.

Установление вызова между наземным абонентским терминалом производится следующим образом: АТ набирает номер другого абонента и посылает вызов через РТР-АТ к БУ. В свою очередь БУ отдаёт команду РТР-БС о наборе указанного номера. После установления соединения БУ выполняет роль маршрутизатора голосовой информации.

В данной комплектации общая масса аэроостатного радиоинформационного комплекса «Аэросот» не превысит 2 кг, что позволит использовать метеорологический шар среднего класса.

В настоящее время возможно приобрести дешёвые метеорологические шары среднего класса, способные доставить радиоинформационный комплекс сотовой связи малой массы на заданную высоту, а научно-технический и производственный потенциал

отечественных предприятий и вузов способен реализовать проект аэромобильного комплекса сотовой связи «Аэросот».

Библиографические ссылки

1. Чеботарёв В. Е. [и др.]. Заявка № 2010104556/08 (006402) от 09.02.2010 г. РФ. Интегрированная система мобильной связи. Патент на изобретение № 2468516.
2. Вишневецкий В. М., Ляхов А. И., Портной С. Л., Шахнович И. В. Широкополосные беспроводные сети передачи. М. : Техносфера, 2005. 592 с.
3. Чеботарев В. Е. и [др.] Аэрокосмический мобильный информационный комплекс «Аэрокосм» / Интеллект и наука : труды X международной конференции. Железногорск, 2010. С. 34–38.
4. Чеботарев В. Е., Косенко В. Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения : учеб. пособие / Сиб. гос. аэрокосм. ун-т. Красноярск, 2011. 488 с., [24] с ил.
5. Берлин А. Н. Цифровые сотовые системы связи. М. : Эко-Трендз, 2007. 285 с.

*Статья поступила в редакцию
11.01.2014 г.*