
ОГЛЯДИ

УДК 681.324.004.28

АЭРОСТАТНЫЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

Бычковский В.А, Реутская Ю.Ю.

В настоящее время в развитых странах почти половина национального продукта связана с информационной деятельностью. Информатизация общества становится одной из определяющих сторон хозяйственной жизни, а информация превратилась в его важнейший ресурс [1]. Информационные технологии как применение информационных наук к проблеме принятия решений реализуются в различных формах информационного обслуживания, в различных типах информационных систем. Обеспечивая потребности человеческой цивилизации, информационные технологии часто необходимо направить на принятие решений в экстремальных условиях, вызванных конфликтными ситуациями, авариями, катастрофами и их последствиями. Не менее важным является решение задачи наблюдения, сбора информации и предупреждения об опасных ситуациях. Процедуре принятия решения в таких условиях предшествует обнаружение тех или иных аномалий и их идентификация. Сами же аномалии, как правило, образуются на определенной территории, доступ к которой часто оказывается затруднительным или практически невозможным.

Исследование аномалий и последующее принятие решений представляется возможным при использовании технологии аэроэлектроразведки. Системы аэроэлектроразведки (САЭР) в состоянии обеспечить эффективное решение задач извлечения, передачи, приема, обработки и отображения информации о протяженных и локальных аномалиях природного и техногенного происхождения на территориях ограниченного доступа (ТОД). Для эффективного решения задач в экстремальных условиях необходимо обеспечить беспроблемную доставку САЭР на ТОД. Это возможно только при наличии специальных платформ для их размещения, которые должны быть универсальными, надежными и недорогими. Не менее важными являются требования по обеспечению минимального влияния платформы на результаты измерений, исключению ее непосредственного контакта с участками территории, мобильность и управляемость. В ряде случаев необходимо обеспечить малозаметность и малоуязвимость платформы. В настоящее время всем этим, часто противоречивым требованиям, отвечают платформы на базе аэростатических летательных аппаратов (АЛА). Универсальность, надежность и невысокая стоимость АЛА позволили пересмотреть отношение к ним как к экзотическим летательным аппаратам, и в настоя-

щее время более ста компаний со всего мира стремительно наращивают производство привязных аэростатов и дирижаблей. Область применения АЛА постоянно расширяется, а их возможности как универсальных платформ для размещения аппаратуры в тропосфере и стратосфере высоко оценены как военными, так и гражданскими специалистами [2].

Использование АЛА как платформы для размещения САЭР позволит по новому подойти к решению задач обнаружения протяженных и локальных аномалий природного и техногенного происхождения, обеспечить передачу информации в экстремальных условиях, выполнить операции на ТОД без непосредственного контакта с ее участниками как в режиме прохода, так и в режиме зависания при контроле с разных высот. Последнее обстоятельство дает возможность существенно повысить информационную способность САЭР и обеспечить высокую достоверность получаемых результатов. Характерной особенностью аэростатных САЭР является возможность оперативного дистанционного управления, что является исключительно важным обстоятельством при проведении работ на ТОД без непосредственного участия человека. В решении этой задачи будущее за радиоуправляемыми малоразмерными дирижаблями.

При использовании системы телеуправления второго вида у оператора дирижабля существует возможность наблюдения за участками ТОД и выполнения заданных операций по сбору информации о протяженных и локальных аномалиях. Применение радиоуправляемых дирижаблей позволяет перевести аэроразведку на качественно новый уровень. Это обусловлено возможностью полного извлечения информации об источниках аномалий при разных высотах полета, повышением детальности исследований, исключением влияния корпуса летательного аппарата, возможностью длительного пребывания на ТОД без непосредственного контакта с ее участками. Отсутствие вибраций и шумов на дирижаблях дает возможность размещать на них аппаратуру для обнаружения сигналов очень низкого уровня в широком диапазоне частот.

При аэроразведке методом естественных электромагнитных полей использование дирижаблей позволяет исключить проблемы, связанные с помехами от летательного аппарата и улучшить отношение сигнал/шум в условиях малого уровня сигналов первичного поля. Аэроразведка методом переходных процессов дает возможность получить за минимальное время пространственную информацию об аномалии и обеспечить высокую разрешающую способность (применение самолетов или вертолетов приводит к необходимости компенсации паразитного сигнала от вихревых токов, наведенных первичным полем в металлическом корпусе) [3,4].

Одной из важных задач является обнаружение взрывоопасных предметов, и от ее успешного решения зависит безопасность населения, сохранность объектов и коммуникаций. В настоящее время перспективным на-

правлением считается использование для этих целей специальных систем, устанавливаемых на АЛА [5,6]. Применение АЛА позволит более эффективно решать задачи электромагнитного обнаружения инженерных коммуникаций и локальных аномалий на ТОД [7]. Объединение информационных технологий и технологий воздухоплавания позволит решить целый ряд задач общего функционального назначения, откроет возможность создания информационных комплексов.

Проведем информационный анализ работы САЭР [8]. Пусть на ТОД с площадью S выполняется поиск аномалий природного или техногенного происхождения с точностью ΔS в течение времени t_n . Скорость поступления информации в САЭР

$$C_n = \frac{1}{t_n} \ln\left(\frac{S}{\Delta S}\right). \quad (1)$$

Пропускная способность информационного тракта

$$C = F \ln\left(1 + \frac{P_c}{P_u}\right), \quad (2)$$

где F - полоса пропускания тракта; P_c, P_u - мощности сигнала и шума.

Примем во внимание, что $C > C_n$. Тогда на основании (1), (2) имеем

$$F \ln\left(1 + \frac{P_c}{P_u}\right) > \frac{1}{t_n} \ln\left(\frac{S}{\Delta S}\right). \quad (3)$$

Будем уменьшать отношение P_c / P_u до такого минимального значения, при котором неравенство (3) превратиться в равенство. При этом

$$\left(\frac{P_c}{P_u}\right)_{\min} = \left(\frac{S}{\Delta S}\right)^{\frac{1}{t_n F}} - 1 \quad (4)$$

На основании формулы (4) определяем:

$$\frac{\Delta S}{S} = \left[1 + \left(\frac{P_c}{P_u}\right)_{\min}\right]^{-F t_n} \quad (5)$$

Введем параметр $\delta = (C - C_n) / C$. Тогда на основании (1), (2) получаем

$$\frac{1}{t_n} \ln\left(\frac{S}{\Delta S}\right) = (1 - \delta) F \ln\left(1 + \frac{P_c}{P_u}\right). \quad (6)$$

Следовательно, отношение $\Delta S / S$ будет иметь вид:

$$\frac{\Delta S}{S} = \left[1 + \left(\frac{P_c}{P_u}\right)\right]^{-(1-\delta)F t_n}. \quad (7)$$

В настоящее время одной из актуальных задач является построение систем наблюдения и контроля надводной обстановки морского пограничного пространства и побережья (контроль нелегальной миграции, рыболовства, противодействие терроризму, спасения людей на море). Область действия САЭР должна охватывать не только территориальные воды, но и морскую экономическую зону. В случае патрулирования зоны морскими судами с

РЛС на борту обнаружение объектов осуществляется только в пределах радиогоризонта, причем часто эта задача решается в сложных условиях волнения моря. Для успешного патрулирования необходимо вести непрерывный мониторинг всей зоны минимизируя влияние внешней среды на работу системы. Авиационные РЛС не предназначены для ведения постоянного мониторинга, а применение космических средств наблюдения имеет ряд ограничений из-за дальности расположения спутников.

Загоризонтные РЛС метрового диапазона берегового базирования имеют хорошую дальность обнаружения, но чтобы повысить информативность этих систем, лучше перейти в сантиметровый диапазон. В системах сантиметрового диапазона, чтобы расстояние до радиогоризонта соответствовало техническим параметрам применяемых РЛС, необходимо поднять антенну на высоту не менее чем 1800 метров [9]. АЛА здесь наиболее перспективны ввиду невысокой стоимости, быстрого развертывания, простого обслуживания, возможности модернизации, замены и ремонта. Такая система может конкурировать с системами спутникового и наземного базирования, обеспечивая большой объем полезной нагрузки, возможность размещения на борту комбинации приборов различного назначения, качественный обмен данными на высокой скорости и в реальном масштабе времени.

Очень важным для разработки систем с АЛА является вопрос о качественной и своевременной передаче данных между летательным аппаратом и наземным пунктом, а также обеспечения связью нескольких наземных контрольных пунктов между собой с возможностью передачи данных в реальном времени и с организацией видеоконференций.

Современные исследования в области телекоммуникационных сетей приводят к выводу, что при большой длительности автономного полета платформы могут конкурировать с наземными станциями. Они могут обеспечить одной платформой в 10-100 раз большую зону покрытия, чем зона покрытия от наземной базовой станции. При этом гарантируется высокая скорость передачи с высоким качеством связи даже для мультимедийных услуг в реальном масштабе времени. По сравнению со спутниками аэростаты имеют преимущество в более быстром и дешевом развертывании, удобстве обслуживания бортового оборудования и, самое главное, в небольшой удаленности от земли. Все эти достоинства особенно важны с точки зрения развертывания телекоммуникационных широкополосных систем третьего и четвертого поколения (3G и 4G систем) [10].

В наземных системах третьего поколения (3G) для организации передачи данных предусмотрено три вида каналов. Узкополосный канал ориентирован на передачу речи и низкоскоростных данных в условиях ограниченной пропускной способности сот. Среднеполосный канал обеспечивает более широкий набор услуг с одновременной передачей как низкоскоростных, так и среднескоростных данных, где достижение заданного качества

связи происходит за счет варьирования скорости передачи и мощности излучения. Широкополосный канал, в основном, предназначен для передачи данных с высокой скоростью в сотах с малой емкостью.

Создатели приемопередающего оборудования широкополосных систем 3G применили для организации каналов технологию многостанционного доступа с кодовым разделением каналов CDMA (Code Division Multiple Access). Она базируется на использовании расширяющих кодовых псевдослучайных последовательностей (ПСП). Такая система первоначально имела военное приложение. Перед нею ставилась задача скрыть сам факт передачи данных, усложнить перехват радиопередачи, сделать ее устойчивой к преднамеренному глушению. В невоенных системах целью является индивидуализация конкретного пользователя и обеспечение конфиденциальности передачи. Все пользователи применяют одну и ту же ПСП, имеющую однозначно идентифицируемый для каждого пользователя временной сдвиг. В этом случае необходимо решить задачи эффективной генерации сдвинутых во времени версий заданной ПСП и выделения сигнала конкретного абонента из смеси всех приходящих в приемник сигналов с учетом искажений в реальных CDMA – системах. Для решения военных задач такой подход является недостаточным и приходится использовать разные взаимно некоррелирующие последовательности [11]. Поэтому выбор необходимых ПСП с системами с АЛА, использующих технологию CDMA, является очень важным для построения канала связи.

В системах связи скорость и достоверность передачи информации (отношение требуемой энергии на один бит к спектральной плотности шума) в различных условиях распространения зависят от выбора необходимого вида модуляции. В CDMA – системах используется фазовая манипуляция (ФМн). Количеством возможных значений фазы регулирует скорость передачи информации в условиях необходимой спектральной эффективности. Чем позиционность выше, тем скорость больше. Но для наземных систем приходится ограничиться четырех (реже восьми) - позиционной манипуляцией в зависимости от количества помех на пути распространения (влияния медленных релеевских замираний, быстрых частотно-селективных замираний, частотного и временного рассеяния). Дальнейшее увеличение позиционности ФМн (выигрыш в полосе) ведет к энергетическому проигрышу [10]. Эту проблему решает система с АЛА, так как она имеет дополнительный энергетический потенциал за счет канала прямой видимости при распространении сигнала.

Несмотря на кажущееся изобилие услуг, уже сегодня назрела необходимость повышения скорости передачи данных. Кроме того, мобильные сети должны иметь возможность взаимодействовать с беспроводными локальными WLAN-сетями. Необходимое для нормальной работы количество широкополосных радиоканалов можно получить лишь в более высоких

диапазонах. Сейчас стремительно осваиваются диапазоны 40 - 60 Гц. Но для работы на этих частотах пришлось бы ставить много базовых станций, близко расположенных друг к другу. Эту проблему может решить либо базовая станция на спутнике, либо на АЛА. Так как спутниковая связь менее удобна в эксплуатации, дороже в запуске и имеет худшее качество связи в густонаселенных городах с большой застройкой, то предпочтительнее использовать систему с АЛА, которая пригодна и для труднодоступных районах, и районов с малой плотностью населения, и для больших городов.

В последнее время развиваются широкополосные системы 4-го поколения (4G), работающие на частотах 40 и 60 Гц. Они обеспечат скорость передачи данных до 100 Мбит/с между двумя мобильными телефонами и скорость передачи данных до 1 Гбит/с в условиях движения базовой станции или приемника [12]. Технология 4G полностью основана на протоколах пакетной передачи данных. Эта система использует многоканальную модуляцию с ортогональным частотным разделением каналов OFDM (Orthogonal Frequency Division multiplexing). Методика такой модуляции состоит в разделении потока передающихся данных на несколько частотных подканалов, и передача ведется параллельно с невысокой скоростью в каждом подканале. На каждой отдельной поднесущей можно применять любой вид модуляции (например, модуляцию со сдвигом фазы и ее разновидности, при которой пересылается больше информации за отрезок времени, или квадратурную амплитудную модуляцию, более современную, способную максимизировать пропускную способность канала). Конкретный тип модуляции выбирается в зависимости от требуемой скорости и условий приема. Однако необходимо, чтобы длительность межсимвольной интерференции, внесенной каналом, составляла малую часть периода модуляции, который состоит из защитного интервала и периода ортогональности. В условиях многолучевого распространения длина защитного интервала должна быть больше задержки сигнала. В системах с АЛА благодаря каналу прямой видимости этот интервал можно уменьшить, что увеличивает скорость передачи [13].

Из рассмотренного можно сделать вывод, что для проектирования каналов передачи данных аэростатных радиоэлектронных систем и комплексов могут использоваться технологии CDMA и OFDM, которые удовлетворяют требованиям к качеству и скорости передачи информации по каналу. Анализ многочисленных литературных источников, официальных материалов производителей и операторов АЛА приводит к выводу, что одновременно с развитием технологий воздухоплавания будут развиваться также аэростатные радиоэлектронные системы и комплексы в соответствии с законом прогрессивной эволюции техники.

Література

1. Свириденко С.С. Современные информационные технологии. – М.: Радио и связь.- 1989.

2. Бичковський В.О. Перспективи розвитку аеростатних радіоелектронних комплексів. // Наука і оборона. - 2007.- №1.-с.58-60.
3. Информационные устройства и системы разведочной геофизики/ Н.И. Калашников, Р.С. Бачевский и др. - К.: Наукова думка.-1973.
4. Якубовский Ю.В., Ренард И.В. Электроразведка. – М.: Недра.- 1991.
5. Митрофанов А. Миноискатель // Воздух. Информационный бюллетень. - 2000.- №10.-с.12-15.
6. Cristoforato S., Bishop P., Thornhill C. The feasibility of operating an Ultra Wideband Synthetic Aperture Radar (UWB SAR) from an airship for the detection of mined areas in a humanitarian role. – 3 International Airship Convention and Exhibition, Friedrichshafen, Germany, P. A-3. – 1-5, July, 2000.
7. Гордиенко В.И., Убогий В.П., Ярошевский Е.В. Электромагнитное обнаружение инженерных коммуникаций и локальных аномалий. – К.: Наукова думкаю.-1981.
8. Бычковский В.А. Авиационные системы радиоуправления. – К.: КВВАИУ.-1985.
9. Волобоев В.П., Клименко В.П., Лосев В.Д. Радиолокационная станция воздушного (морского) базирования, работающая в динамически сложных внешних условиях. // Математичні машини і системи., №4. – 2005. – с.131-142.
10. Реутська Ю.Ю., Калюжний О.Я. Можливості підвищення інформаційної швидкості в системах багато станційного доступу з кодовим розділенням каналів CDMA на базі висотних телекомунікаційних платформ. // Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Радіотехніка. Радіо апаратобудування., вип. 34.- 2007.- с.97-101.
11. Веселовский К. Системы подвижной радиосвязи. – М.: Горячая линия – Телеком. - 2006.
12. http://connect4g.narod.ru/setup_4g/
13. Михайлевський В.О., Калюжний О.Я. Застосування висотних платформ та технології OFDM у телекомунікаційних системах 4 G. // Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Радіотехніка. Радіо апаратобудування., вип. 34.- 2007.- с. 86-91.

Бичковський В.О., Реутська Ю.Ю.. Аеростатні радіоелектронні системи та комплекси. Розглянуто можливості аеростатних систем і комплексів, призначених для здобування інформації про протяжні та локальні аномалії природного і техногенного походження на територіях обмеженого доступу та нагляду за надводною територією. Проаналізовані методи побудови каналів зв'язку аеростатних систем з високою швидкістю передачі інформації, що заснована на технологіях 3G та 4G.

Ключові слова: територія обмеженого доступу, дирижабль, аероелектророзвідка.

Бычковский В.А., Реутская Ю.Ю.. Аэростатные радиоэлектронные системы и комплексы. Рассмотрены возможности аэростатных систем и комплексов, предназначенных для получения информации о протяженных и локальных аномалиях природного и техногенного происхождения на территориях ограниченного доступа и наблюдения за надводной территорией. Проанализированы методы построения каналов связи аэростатных систем с высокой скоростью передачи информации, основанное на технологиях 3G и 4G.

Ключевые слова: территория ограниченного доступа, аэроразведка.

Bychkovsky V.A., Reutskaya J.U.. Aerostat radio-electronic systems and complexes. The balloon systems and complexes possibilities intended for reception of the information on extended and local anomalies of a natural and technogenic origin in territories of limited access and supervision over surface territory are considered. Methods of construction of communication channels of ballon systems with high speed of the information transfer, based on technologies 3G and 4G are analysed.

Keywords: territory of the limited access, dirigible balloon, aero-electro-reconnaissance.