

Б.В.Дурняк, д.т.н., профессор, УАП, О.А. Машков, д.т.н., профессор, ВАК Украины, Л.М. Усаченко, к.т.н., Киев

## **СРАВНЕНИЕ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ**

В настоящее время у многих ведомств и организаций возникает необходимость оперативного слежения за местоположением и состоянием подвижных объектов, а также передачи на них оперативной информации.

Практически все заинтересованные диспетчерские службы в настоящее время имеют в своем распоряжении те или иные технические средства, позволяющие осуществлять контроль/слежение за передвижением своих объектов. Однако существующие средства не являются совершенными, обладают малой степенью автоматизации и имеют малую достоверность.

В последние годы настоятельно ставится задача о внедрении новых надежных технических средств, которые позволили бы осуществлять автоматизированный сбор диспетчерской информации с подвижных объектов, а также передавать информацию на объекты. Технически эта задача может быть выполнена целым рядом средств, как традиционных, так и спутниковых. На практике, однако, ни одна из возможных систем так и не была реализована в Украине.

Создание такой системы позволит обеспечить автоматизированный сбор информации о дислокации подвижных объектов, обслуживаемых в рамках данной системы вне зависимости от их местоположения на Земном шаре, т.е. в глобальном режиме. При этом средства системы будут автоматически вычислять географические координаты местоположения объектов и направлять их в соответствующие диспетчерские пункты пользователей. Информация может быть также запрошена с объекта по инициативе диспетчера из диспетчерского пункта и имеется возможность передать на объект необходимую информацию.

Средства системы позволяют не только решать коммерческие цели управления, но и обеспечить повышение безопасности движения объектов и будут способствовать охране человеческой жизни. Данные о дислокации аварийных объектов могут быть переданы в соответствующие поисково-спасательные службы.

Изучения, проведенные в Украине показали, что имеются следующие основные категории потенциальных пользователей, заинтересованные в получении оперативной информации с подвижных и стационарных объектов:

1. Администрации, эксплуатирующие морские и речные суда.
2. Организации, эксплуатирующие подвижной железнодорожный состав и специальные средства.
3. Организации, эксплуатирующие подвижные автомобильные объекты.

4. Научные организации, проводящие с помощью подвижных технических средств изучение мирового океана и воздушного пространства.

5. Организации, эксплуатирующие магистральные трубопроводы и иные удаленные объекты.

6. Предприятия топливно-энергетического комплекса.

7. Администрации, осуществляющие контроль за состоянием окружающей среды.

8. Сельскохозяйственные предприятия.

9. Коммерческие структуры.

Анализ требований потенциальных пользователей к системам сбора оперативной информации позволил выявить следующее:

1. Необходимость автоматического определения географического местоположения объекта, не требующего вмешательства оператора в работу оконечного устройства. При этом требования к точности определения местоположения варьируются от нескольких метров до десятков километров. Некоторые категории объектов движутся по строго определенным маршрутам (поезда, автомобили), в то время, как другие имеют большую свободу перемещений (суда, научные буи и т.д.).

2. Требования к оперативности доставки информации от оконечного устройства до пункта сбора данных пользователя изменяются от нескольких минут до нескольких часов.

3. Количество определений - от нескольких раз в месяц до нескольких раз в час.

4. Возможность передачи дополнительной информации с подвижного объекта и на объект. При этом выявлен достаточно широкий диапазон информации, подлежащей передаче.

5. Наличие простых и недорогих оконечных устройств пользователей, которые при необходимости могли бы работать от автономных источников питания.

В использовании системы слежения за местоположением подвижных объектов проявили заинтересованность ряд ведомств и организаций, в том числе силовых структур, а также организаторы ЕВРО-2012.

### **1. Основные требования к системе слежения за подвижными объектами.**

Система должна обеспечивать возможность слежения за передвижением ценных грузов, легкового автотранспорта и других подвижных объектов в реальном масштабе времени с точностью определения местоположения до 50-400 метров, а также получения от объектов аварийной информации.

В состав системы должны входить главный и региональные диспетчерские центры, в которые информация от объектов должна поступать одновременно.

Должна быть предусмотрена возможность запросов о местоположении и состоянии объектов из диспетчерских центров, а также передача на них информации.

Тип передаваемой информации - цифровой.

Терминалы, устанавливаемые на подвижные объекты, должны быть устойчивы к вибрационным воздействиям, иметь малые габариты, вес (не более 1 - 1,5 кг.) и энергопотребление. Электропитание должно осуществляться от автономного источника.

Необходимо предусмотреть возможность автоматического срабатывания терминалов в аварийных ситуациях.

Терминалы должны обеспечивать бесперебойную работу в диапазоне температур от -50 до +50 °С при влажности воздуха при 30 °С - 99%.

Антенны терминалов должны иметь малые габариты и обеспечивать бесперебойную связь при скорости ветра до 30 м/сек.

## **2. Описание существующих и перспективных планируемых отечественных и зарубежных систем, предоставляющих возможность слежения за местоположением подвижных объектов**

### **2.1 Международная система спутниковой связи “Инмарсат”.**

В 1982 году началась эксплуатация Международной системы спутниковой связи (ИНМАРСАТ). Для эксплуатации и развития этой системы была создана новая международная организация со штаб квартирой в Лондоне. Сейчас эта организация объединяет 75 государств.

Система “Инмарсат” включает в себя следующие основные комплексы: космический сегмент; сеть Земных станций; координационные центры системы; парк станций, устанавливаемых на подвижных объектах.

Работа системы осуществляется в диапазонах частот, выделенных Всемирной административной радиоконференцией для подвижных служб. Для подвижных объектов используется диапазон 1,5/1,6 ГГц., а для фидерных линий земных станций - 4/6 ГГц. Система “Инмарсат” обслуживает все существующие подвижные службы, включая морскую, авиационную и сухопутную и позволяет осуществлять двустороннюю связь в телефонном и телеграфном режимах. При этом, с помощью системы сигнализации, входение в связь осуществляется в полностью автоматизированном режиме. Любая станция, установленная на подвижном объекте, может в автоматическом режиме осуществлять выход на любого абонента телексной или телефонной сетей, независимо от страны и континента. Качество каналов связи удовлетворяет соответствующим рекомендациям МСЭ.

Космический сегмент, системы на данном этапе, включает в себя 8 спутников - ретрансляторов (4 основных и 4 резервных), расположенных на геостационарной орбите. Сеть “Инмарсат”, организованная в 4 океанских регионах, покрывает практически всю поверхность Земного шара, за исключением приполярных районов.

Радиокomплекс КА состоит ретрансляторов, осуществляющих прием, усиление и перенос сигналов (без какой-либо обработки) в следующих диапазонах:

1,6 ГГц - 4 ГГц (линия “подвижное средство-КА-Земля”);

6 ГГц - 1,5 ГГц (линия “Земля-КА-подвижный объект”);

Диаграмма направленности антенных систем, как правило,

оптимизирована для облучения поверхности Земного шара. Пропускная способность в каждом океанском регионе определяется параметрами конкретного КА, выполняющего роль эксплуатационного (от 75 до 200 эквивалентных телефонных каналов).

Для работы в рамках системы “Инмарсат” подвижные объекты оснащаются оконечным терминальным оборудованием. Такое оборудование должно удовлетворять определенным технико-эксплуатационным требованиям “Инмарсат”а, известным как Стандарты.

Станция Стандарта-А практически является терминальным устройством международной телефонной и телексной связи. Протоколы работы обеспечивают автоматическое соединение с любым абонентом этих сетей. Станции Стандарта-А имеют добротность -4 дБ/К, ЭИИМ в пределах 36 дБВт. Работа станции обеспечивается с помощью направленной и стабилизированной параболической антенны диаметром 80-120 см. Станция управляется микропроцессорами и является полностью автоматизированной и обеспечивает связь в телефонном и телеграфном режимах.

Одобрение станций Стандарта-А “Инмарсат”ом уже прекращено вследствие неэффективности использованием этим оборудованием выделенного частотного диапазона и мощности ИСЗ.

В настоящее время в системе “Инмарсат” внедряются новые классы аппаратуры.

Станции Стандарта-С представляют собой малогабаритные станции с ненаправленной антенной с добротностью -23 дБ/К, ЭИИМ - 12 дБВт. Антенные системы имеют либо ненаправленную либо слабонаправленную диаграммы направленности и обладают небольшими физическими габаритами. Передача информационных и сигнальных сообщений осуществляется в пакетной форме.

Спутниковая приемно-передающая станция Стандарта-С, оборудованная встроенным приемником GPS (Global Positioning System) для определения местоположения подвижного объекта, позволяет автоматически передавать навигационные данные объекта в диспетчерские центры. Погрешность в определении местоположения составляет десятки метров. Связь осуществляется при любых погодных условиях и атмосферных явлениях по запросу с диспетчерского центра, либо автоматически, в заданные диспетчером интервалы времени.

В настоящее время в данной системе эксплуатируются комплексы, базирующиеся на использовании типового персонального компьютера. Данный комплекс позволяет отображать движение транспортных средств по территории России на экране монитора с помощью электронных карт и осуществлять с объектами двустороннюю связь в режиме низкоскоростной передачи данных (600 бит/сек). На электронные карты пользователь может наносить необходимую ему информацию самостоятельно как в виде пометок на карте, так и при помощи прикладных баз данных.

Транспортное средство (например грузовик с особо опасным или

дорогим грузом) оборудуется терминалом “Инмарсат” Стандарта-А, совмещенным с GPS. Диспетчер может получать всю необходимую ему информацию по конкретному транспортному средству (местоположение, аварийная ситуация, при необходимости технологические данные перевозимых грузов) по собственному запросу, или автоматически, по заданному интервалу времени. Он также имеет возможность передавать или принимать текстовые сообщения. Все переданные/принятые сообщения автоматически архивируются в электронных журналах. Помимо передачи в диспетчерский пункт технологической информации об объекте, система может быть интегрирована с датчиками аварийных ситуаций и несанкционированного доступа к оборудованию, либо к самой системе. Аварийные сигналы автоматически поступят на пульт диспетчера и он имеет возможность оперативно реагировать, связавшись с соответствующими технологическими службами или службами безопасности.

Стандарт-С использует систему идентификации, где каждому принятому в эксплуатацию терминалу присваивается его уникальный номер и используется кодирование сообщений, что позволяет обеспечить высокий уровень безопасности передачи. Также имеется возможность организовывать передачу информации с одного терминала на группу терминалов или запрограммировать терминал для получения специальных сообщений.

Электропитание терминалов осуществляется от сети переменного тока, или с использованием аккумуляторных батарей.

Особенностями системы “Инмарсат” Стандарт-С являются сравнительная низкая стоимость передаваемых сообщений и малые размеры поддерживаемых ею терминалов.

“Инмарсат” Стандарт-В представляет собой станцию спутниковой связи, обеспечивающую связь в режимах телефонии, телеграфии, факсимиле, передачу данных. При этом используется цифровая модуляция со скоростью 24 кбит/сек. Размеры антенны те же, что и для станций Стандарта-А. Планируется, что в ближайшие время станции данного типа полностью заменят парк станций Стандарта-А ввиду более низких тарифов на каналы связи.

Связь подвижных объектов в системе “Инмарсат” осуществляется через земные станции. В настоящее время в системе “Инмарсат” функционируют 38 земных станций, расположенные в разных странах мира. Земная станция обеспечивает обмен информацией между наземными и подвижными объектами и стыковку с наземными линиями связи. Земные станции, как минимум, состыкованы с международными телефонной и телексной сетями связи. Также они могут быть состыкованы с другими международными и национальными сетями связи. Каждая земная станция имеет закрепленную за ней несущую, которая уплотняется 22 телеграфными каналами. Телефонные каналы не закреплены за конкретными станциями, а находятся в “общем пользовании”. Для более рационального использования телефонных каналов, в каждом океанском регионе имеется координационная станция, которая в автоматизированном режиме осуществляет распределение телефонных

каналов по запросам земных станций. Через эту станцию также происходит ретрансляция определенных категорий сигнальных сообщений.

## **2.2 Международная спутниковая система КОСПАС-САРСАТ**

Международная спутниковая система “КОСПАС-САРСАТ”, предназначенная для обнаружения и определения местоположения судов и самолетов, потерпевших аварию, разработана и создана совместно Россией СССР, США, Канадой и Францией.

Система “КОСПАС-САРСАТ” включает в себя следующие основные комплексы: космический сегмент; сеть станций приема и обработки информации (СПОИ); сеть Координационных центров системы (КЦС); парк аварийных радиомаяков (радиобуев).

Для работы аварийных радиомаяков используются следующие фиксированные частоты и диапазоны:

- 121,5 МГц - частота, выделенная МСЭ в качестве аварийной для авиационной подвижной службы; с точностью не хуже 5 км. для радиобуев, работающих в диапазоне 406 МГц, и 20 км для радиобуев, работающих на частоте 121,5 МГц.

Допплеровское определение местоположения дает два решения для каждого радиомаяка: истинное и зеркальное относительно наземной проекции трассы спутника. Эта неоднозначность решается путем расчетов, принимая во внимание эффект вращения Земли. При достаточно высокой стабильности несущей частоты радиомаяка, что имеет место с радиомаяками 406 МГц, которые спроектированы специально с этой целью, истинное решение определяется за один проход ИСЗ. Для радиомаяков 121 МГц эта неоднозначность разрешается в результате второго прохода.

В соответствии с Межправительственным соглашением, космический сегмент системы “КОСПАС-САРСАТ” состоит как минимум из 4 КА, расположенных на полярной круговой орбите. Два спутника “Надежда”, изготавливаемых и поставляемых Россией, размещены на приполярной орбите с высотой 1000 км.; КА оснащены радиокомплексом, осуществляющим прием на частотах 121,5 МГц и 406 МГц. США обеспечивает два метеорологических спутника НОАА, размещенных на приполярных орбитах с высотой 850 км. Эти КА оснащены радиооборудованием, обеспечивающим прием на частотах 121,5 МГц и 406 МГц, изготавливаемым и поставляемым Канадой и Францией. В настоящее время в космическом комплексе системы эксплуатируется 6 КА (3 КА типа КОСПАС и 3 КА типа САРСАТ). Космический аппарат КОСПАС-САРСАТ совершает оборот вокруг Земного шара примерно за 100 минут, при этом с него обозревается участок Земли шириной свыше 4000 км. В зависимости от угла подъема и геометрии конкретного прохода КА время взаимной видимости КА-СПОИ составляет до 15 минут. Бортовая аппаратура КА обеспечивает работу в следующих режимах: в режиме реального времени и в глобальном режиме. На обоих частотах 121,5 МГц и 406 МГц система функционирует в режиме реального времени, в то время как на частоте 406

МГц она действует также и в глобальном режиме, обеспечивая таким образом обслуживание всей поверхности Земного шара.

Глобальное обслуживание обеспечивается посредством записи в бортовом запоминающем устройстве КА информации, получаемой в результате бортовой обработки сигналов радиомаяков. Информация, накопленная в памяти КА, постоянно излучается передатчиком. Прием на СПОИ осуществляется при появлении спутника в ее зоне видимости. Местоположение каждого радиомаяка таким образом может быть определено всеми СПОИ, чем обеспечивается многократная обработка сигналов наземном сегментом.

Бортовой ретранслятор КА сигналы, принятые на частоте 121,5 МГц, передает непосредственно на Землю. При приеме посылок радиомаяков 406 МГц бортовой аппаратурой измеряется Доплеровский сдвиг и из сигнала извлекаются цифровые данные. Эта информация привязывается ко времени, производится ее преобразование в цифровую форму и подается на передатчик. Эта информация также заносится в бортовое запоминающее устройство КА для последующей ее передачи и обработки на Земле в глобальном режиме.

Пропускная способность системы определяется количеством радиомаяков, находящихся в зоне видимости КА, которые могут быть одновременно обработаны системой.

Аварийные радиомаяки используются в основном в интересах следующих подвижных служб:

- авиационная подвижная служба; радиомаяки устанавливаются на самолетах, вертолетах и других воздушных судах гражданской и военной авиации;

- морская подвижная служба; радиомаяки устанавливаются на морских, речных грузо-пассажирских и промысловых судах, яхтах и других плавучих средствах;

- сухопутная подвижная служба; радиомаяки используются на сухопутных транспортных средствах, при проведении геологических, научных, спортивных и других экспедиций.

Наблюдается также тенденция к использованию радиомаяков на некоторых фиксированных объектах с целью подачи предупреждающих сигналов при критических условиях (например, при возникновении экологической либо другой опасности).

### **2.3 Спутниковая система “Курс”**

В состав технических средств спутниковой системы контроля за движением транспортных средств “Надежда-М” (в дальнейшем используется условное наименование “КУРС”) должны входить космический комплекс, наземный комплекс и парк радиомаяков, устанавливаемых на обслуживаемых подвижных объектах.

Космический комплекс системы должен включать в себя как минимум два ИСЗ, расположенных на низких полярных орбитах с высотой 1000 км. На

такой орбите ИСЗ совершает полный оборот вокруг Земного шара за 104 минуты. Космические аппараты будут иметь на борту комплекс радиотехнических средств, позволяющих осуществлять прием в диапазоне частот 405 МГц. Бортовая аппаратура КА будет осуществлять первичную обработку принятых сигналов и их привязку по времени, а также передавать обработанную информацию по линии ИСЗ-Земля.

Прием информации, передаваемой с КА будет осуществляться специальными Станциями приема и обработки информации (СПОИ), расположенными на территории Украины. Используя эффект Доплера, оборудование станции автоматически вычисляет географические координаты источника излучения сигнала, и определяет его идентификатор. Полученная на выходе информация может быть передана непосредственно в пункт сбора информации пользователя, либо направляться в Координационный центр системы для сортировки и доставки в диспетчерский пункт пользователя. Для приема информации с ИСЗ достаточно иметь в составе системы одну наземную станцию, однако для оптимальной обработки сигналов в таком случае станция должна располагаться как можно ближе к географическому Северному полюсу.

Планируется, что наземный комплекс системы “КУРС” будет включать в себя три СПОИ. При необходимости сеть станций системы “КУРС” в дальнейшем может быть расширена.

Централизованный сбор информации со СПОИ о дислокации всех объектов и ее распределение потребителям, для которых она предназначена (поисково-спасательные центры, пароходства), будет осуществляться Координационным центром системы (КЦС). Предусматривается также возможность получения пользователем информации и на региональной основе - т.е. непосредственно от ближайшей СПОИ, а не из центра системы.

Для работы в рамках системы контроля за движением транспортных средств объекты пользователей должны быть оснащены радиомаяками, представляющие собой радиопередатчики, излучающие цифровые послылки в диапазоне 405 МГц с периодичностью порядка одной минуты. Посылки содержат цифровой идентификатор радиомаяка, с помощью которого осуществляется опознавание подвижного объекта. Планируется производство нескольких модификаций радиомаяков, в том числе и таких, которые позволят также передавать и дополнительную формализованную информацию (от 6 до 10 байт); дополнительная информация может вводиться в передающее устройство вручную либо автоматически.

Аппаратура КА и СПОИ системы “КУРС” будет автоматически вычислять географические координаты местоположения объектов, оснащенных радиомаяками. При этом географические координаты объекта будут определяться с вероятностью 0,99 со среднеквадратичной ошибкой 3,6 км для неподвижных объектов и 20 км для объектов, движущихся со скоростью не более 30 км/час. При наличии двух ИСЗ на орбите, система “КУРС” позволит не реже двух раз в сутки получать информацию о

географическом местоположении объекта вне зависимости от его расположения на поверхности Земного шара. Фактическая частота получения информации в основном зависит от географической широты места объекта и может достигать до 10-15 раз в сутки.

Вследствие наличия на борту КА запоминающего устройства системы позволяют принимать и обрабатывать сигналы, поступающие с любой точки Земного шара. Это свойство особенно важно для тех диспетчерских служб и подвижных объектов, которые не имеют строго выраженных географических ограничений в своем передвижении, т.е. судов мирового торгового флота, международного автотранспорта и т.д.

Создание спутниковой системы контроля за движением транспортных средств планируется на технической базе находящейся в штатной эксплуатации российской части международной спутниковой системы КОСПАС-САРСАТ (“Надежда”), предназначенной для определения местоположения судов и самолетов, потерпевших аварию, в которой используются многоцелевые ИСЗ с аппаратурой КОСПАС-САРСАТ на борту. В состав космического комплекса российской части системы КОСПАС-САРСАТ входят как минимум два ИСЗ, расположенных на низких полярных орбитах с высотой 1000 км.

Наземный комплекс системы КОСПАС-САРСАТ включает в себя СПОИ и Международный координационно-вычислительный центр (МКВЦ). Станции связаны с центром арендованными телефонными каналами связи.

Штатная орбитальная группировка КОСПАС-САРСАТ/КУРС будет включать в себя четыре ИСЗ с унифицированной бортовой аппаратурой, которая может функционировать как в рамках системы КОСПАС-САРСАТ, так и в рамках системы “КУРС”. Переключение режима работы бортовой аппаратуры будет осуществляться по командам с Земли. При этом два ИСЗ будут постоянно работать в режиме КОСПАС-САРСАТ, а два других - в рамках системы “КУРС”. Разрабатываемое в настоящее время оборудование второго поколения СПОИ будет также унифицированным, т.е. будет способно принимать и обрабатывать с ИСЗ как в режиме КОСПАС-САРСАТ, так и в режиме “КУРС”, т.е. сбор информации со СПОИ и ее распределение потребителям будет осуществляться существующим МКВЦ системы КОСПАС-САРСАТ.

Такое построение космического и наземного сегментов системы “КУРС” позволит в максимальной степени использовать существующие технические средства и каналы связи и минимизировать эксплуатационные расходы.

#### **2.4 Спутниковая система “ГОНЕЦ”**

Предполагается, что система “ГОНЕЦ” будет включать в себя космический сегмент, состоящий из 36 КА и земной сегмент, включающий в себя абонентские терминалы трех типов. Связь между абонентами может производиться без использования наземных сетей связи.

Первый тип терминалов - носимые терминалы весом 3-5 кг будут

обеспечивать передачу информации со скоростью 4,8 кбит/сек. Терминал будет снабжен клавиатурой с полным набором русских, латинских и служебных символов. Кроме того, терминал будет обеспечивать сопряжение с персональным компьютером.

Второй тип терминалов - стационарный, будет обеспечивать передачу информации со скоростью 9,6 кбит/сек и будет отличаться от первого типа терминалов несколько большими размерами антенн и наличием в составе терминала персонального компьютера.

Терминалы первого и второго типов могут также снабжаться речепреобразующими устройствами для цифровой передачи речи. Сопряжение этих типов терминалов с аппаратурой телефонной, телеграфной, телексной и факсимильной связи будет осуществляться через стандартные платы сопряжения, устанавливаемые в персональный компьютер.

Третий тип терминалов - региональные станции будут предназначены для передачи больших массивов информации при работе в составе региональных узлов связи и будут обеспечивать передачу информацию со скоростью 64 Кбит/сек.

Планируется, что система "ТОНЕЦ" будет характеризоваться следующими характеристиками:

- для работы переносных абонентских терминалов диапазон частот 312-315 МГц в направлении Земля-Космос и 387-390 МГц в направлении Космос-Земля;

- для работы скоростных каналов региональных станций будет использоваться L-диапазон, где выбраны участки 1642,5 - 1643,4 МГц и 1541 - 1541,9 МГц на трассах Земля-Космос и Космос-Земля соответственно;

- время ожидания связи не более 10 минут;

- время доставки сообщения до 4 часов (при нахождении абонентов в зоне видимости одного и того же спутника диаметром 5000 км время доставки сокращается до одной минуты);

- средняя длительность сеанса связи составляет 10 минут.

### **3. Обоснование выбора оптимальной системы**

К настоящему времени известно уже несколько видов систем спутниковой связи, отличающихся, в первую очередь, построением космического сегмента. К ним относятся системы с космическими аппаратами на геостационарной, эллиптических и круговых орбитах, каждая из которых имеет много разновидностей.

Системы с КА на геостационарной орбите имеют наибольшую зону радиовидимости и могут обеспечивать связью огромные территории. Такие системы наиболее удобны, если обслуживаемая территория по своему расположению на поверхности Земли и конфигурации полностью входит в зону радиовидимости одного КА. Применяя в этом случае на КА многолучевые антенны, можно сколь угодно точно "очертить" границы этой территории и использовать для ее обслуживания всю энергетику ретранслятора. Вместе с тем, поскольку геостационарная орбита проходит

строго над экватором, КА принципиально нет могут обеспечивать связью приполярные и полярные районы Земли из-за низкого угла места антенн земных станций. Кроме того, при использовании в системе двух или более КА возникают ограничения по применению некоторых видов связи (например, как дуплексная телефонная связь) из-за большого времени задержки сигналов, превышающего заданную МСЭ норму. Следует отметить и тот факт, что на геостационарной орбите уже сосредоточено большое количество КА и размещение новых в нужных “точках стояния” с требуемой ЭМС представляет серьезную трудность.

В отличие от систем с геостационарными КА, которые могут использовать только единственную орбиту, системы с КА на круговых орбитах имеют много вариантов построения группировок, отличающихся количеством используемых в них КА, структурой построения, высотой и наклоном орбит. В принципе в системах с КА на круговых орбитах может использоваться всего один КА, который способен последовательно обеспечивать связью внутри своей зоны радиовидимости все регионы Земли или переносить записанные в память бортового ретранслятора сообщения на любые расстояния с задержкой во времени.

Что касается структуры группировок, то с точки зрения обеспечения связи между всеми земными и космическими элементами системы (связность системы) более выгодными являются группировки с симметричной структурой, при которой все КА находятся по отношению друг к другу в одинаковом положении. Для лучшего обеспечения связности в системе требуется внести еще некоторую избыточность по отношению к минимальному количеству КА, необходимому для обеспечения сплошного покрытия обслуживаемой территории.

Количество требуемых КА в группировке можно уменьшить, если не требуется глобального покрытия и можно ограничить обслуживаемую системой территорию или допустить на ней некоторые перерывы связи. Варьируя количеством КА и наклоном орбиты, можно выделить широтные пояса в северном и южном полушариях, внутри которых будет обеспечиваться непрерывная связь, а вне их - периодическая. Например, при высоте орбиты 1600 км, выбранной в проекте системы “Паллада”, для обеспечения непрерывной связи в глобальном масштабе требуется 36 КА, а для обслуживания широтного пояса в пределах  $35...80^0$  с.ш., включающего всю территорию России, - только 24 КА. При обслуживании же отдельных территорий, ограниченных не только в широтном, но и в долготном направлении, группировка КА над остальными территориями останется неиспользованной, и, следовательно, избыточной.

Системы с КА на эллиптических орбитах, которые также могут иметь множество вариантов построения, применяются в настоящее время как дополнение к системам с геостационарными КА для обслуживания приполярных и полярных районов.

В настоящее время в России и за рубежом развернуты работы по

созданию глобальных и региональных систем телекоммуникаций с использованием ретрансляторов на низкоорбитальных космических аппаратов (высота орбит 800-1500 км). Создание спутниковых систем связи на низкоорбитальных орбитах обусловлено:

- перегруженностью геостационарной орбиты, приводящей к значительным ограничениям при создании новых систем по точкам стояния космического аппарата и параметров каналов ретрансляции;

- использованием эффекта Доплера для определения местоположения объектов;

- практическое использование на линии Борт-Земля более низких частот, что обеспечивает возможность работы абонента на обычных всенаправленных антеннах;

- потенциальные возможности существенного повышения эффективности повторного использования спектра и увеличения запасов на линии при работе на более высоких частотах.

Кроме того, сети, работающие через низколетящие спутники, отличаются:

- общая готовность линии не зависящая от характера местности;

- высокая степень резервирования, поскольку отказ или даже нескольких низкоорбитальных КА не приводит к отказу системы, а только несколько снижает оперативность;

- возможность быстрого обеспечения дешевой персональной связью, что позволяет существенно увеличить количество пользователей системы и обеспечить связью быстроразвивающиеся регионы, лишенные и в настоящее время развитых систем связи.

Геостационарные спутники способны обеспечить ряд из перечисленных выше преимуществ, но, как правило, за счет более высоких затрат. Так, например, можно было бы оказать услуги с геостационарных спутников, когда во главу угла не ставилась бы задача экономии средств. Кроме того, использование нескольких лучей с узкой диаграммой направленности на геостационарном спутнике увеличивает энергетические запасы на линии, но в этом случае только за счет увеличения капитальных расходов.

В случае систем подвижной спутниковой связи, для которых простота антенны является решающим фактором, применение всенаправленных антенн на геостационарной орбите технически реализуемо, но может быть выполнено гораздо проще с помощью комбинированного использования геостационарных спутников, маломощных низколетящих спутников, маломощных подвижных передатчиков и дешевой абонентской аппаратуры. В такой сети пользовательские терминалы работают с низкоорбитальными спутниками, которые используются как ретрансляторы для обмена информацией с геостационарными спутниками. Геостационарные спутники, в свою очередь, работают непосредственно с Земными станциями. Однако, глобальный охват низколетящих спутников с геостационарной орбиты является исключительно дорогой затеей, что приведет к возрастанию капитальных затрат на одного абонента, и, в свою очередь, обуславливает

более высокие тарифы.

Система, базирующаяся только на низколетящих спутниках, с эксплуатационной точки зрения, не представляет ничего нового. В настоящее время эксплуатируется международная система поиска и спасения КОСПАС-САРСАТ, отечественная навигационная система ГЛОНАСС, американская навигационная система NAVSTAR. Такие организации, как Министерство обороны РФ, НАСА и другие уже в течении многих лет используют спутники, выведенные на низкие орбиты.

Тем не менее, до недавнего времени спутниковые системы на низких орбитах не отличались коммерческой привлекательностью по следующим причинам:

- до последнего времени отсутствовали эффективные, гибкие и дешевые средства доставки небольших КА к низким орбитам. Технология “ПЕГАС”, т.е. групповое выведение низкоорбитальных КА на орбиту с использованием самолета позволило решить эту проблему;

- отдавая должное актуальности создания “ПЕГАС”а, необходимо признать, что одного его было бы недостаточно. Требовались параллельные технологические проработки, такие, например, как создание высокоскоростных, компактных и дешевых электронных компонентов, благодаря которым достигалось снижение веса спутника.

Сочетание таких прогрессивных разработок позволило создать рентабельные системы сравнительно недорогой, как с точки зрения низких затрат на предоставление ими услуг, так и возможности распределения требуемых инвестиций по многочисленным пользователям, связи. Если такая система будет развернута на американском континенте, то ее возможности становятся также доступными для остального мира. Стоимость сети на низколетящих спутниках, по данным американских источников, является достаточно низкой в пересчете на одного потенциального пользователя. Такое преимущество в сочетании с низкой стоимостью абонентского терминального оборудования (до 500 долларов США), делает систему “ОРБКОММ”, на сегодняшний день, наиболее привлекательной и конкурентноспособной.

#### **4. Описание системы “ОРБКОММ” и ее технические характеристики**

##### **4.1 Назначение системы**

Планируется, что американо-канадская спутниковая система передачи данных и определения местоположения “ОРБКОММ” будет использоваться для:

- определения координат бедствия подвижных объектов;
- передачи аварийных сообщений, включающих координаты места бедствия и другую аварийную информацию в диспетчерские центры;
- слежения за местоположением и состоянием подвижных и стационарных объектов;
- обмена информацией в режиме передачи данных между абонентами

системы;

-обмена информацией в режиме передачи данных между абонентами системы и абонентами других сетей связи (электронная почта, X.25, X.400 и др.);

-передачи коротких сообщений абонентам системы через диспетчерский центр по телефону, телефаксу и т.д..

Данная система разработана для предоставления недорогой связи в различных странах мира. Система пригодна как для обслуживания отдельных пользователей, так и для построения специализированных диспетчерских пунктов, решающих задачи информационного обслуживания в масштабах большой организации, предприятия или отрасли.

Возможности системы “ОРБКОММ” должны отвечать различным нуждам как коммерческих, так и государственных структур:

- слежение за вагонами, контейнерами, автомобилями и другими подвижными объектами;

- слежение за состоянием окружающей среды, промышленных объектов, удаленных объектов и т.п.;

- связь с персональными пользователями системы и коммерческими организациями (с водителями грузовиков, с перевозчиками опасных грузов и т.д.);

- связь в аварийных ситуациях (со службами техпомощи, скорой помощи и т.п.)

#### **4.2. Принцип работы**

Предполагается, что в состав технических средств системы “ОРБКОММ” будут входить:

- космический сегмент;

- наземный сегмент;

- оборудование пользователей.

Первоначально планируется запустить два спутника на полярной орбите и в дальнейшем расширить космический сегмент до группировки из 36 низкоорбитальных ИСЗ. 4 ИСЗ будут находиться на полярной орбите и по 8 ИСЗ в 4 орбитальных плоскостях с наклоном 45 градусов и высотой 785 км. Вес каждого спутника ориентировочно 36,5 кг. Спутники будут состоять из передатчиков, приемников и бортовых процессоров. Они также будут содержать приемники GPS, определяющих местоположение спутника на орбите. Это необходимо для системы позиционного контроля, которая поддерживает спутники на орбитах. Планируется, что спутники будут рассчитаны на эксплуатацию в течении четырех лет. Запуск спутников планируется осуществлять с самолета по системе “Пегас”, что позволит значительно снизить стоимость системы.

Спутники в системе “ОРБКОММ” будут использоваться в качестве ретрансляторов, а также передавать сигналы для определения местоположения объектов. Точность определения местоположения, по расчетам разработчиков, составит 375-1175 метров.

Частоты излучения передатчиков ИСЗ 137.0 - 138.0 МГц, 400.05-400.15 МГц.

Планируется, что на борту ИСЗ будет установлено запоминающее устройство и средства системы позволят принимать и обрабатывать сигналы, поступающие из любой точки Земного шара. Это свойство особенно важно для тех диспетчерских служб и подвижных объектов, которые не имеют строго выраженных географических ограничений в своем передвижении.

Наземный сегмент будет состоять из приемо-передающих Земных станций и координирующего их работу Центра управления сетью. Приемо-передающие станции будут осуществлять обмен информацией между Центром управления сетью и спутниками. Эти станции, как правило, должны состоять из двух антенн со следящими системами, ВЧ тракта, модемного оборудования и коммуникационной программы для обмена с Центром управления сетью.

От количества и месторасположения приемо-передающих Земных станций будет зависеть территория, обслуживаемая системой и оперативность связи. По расчетам американских специалистов, для России необходимо 6 приемо-передающих станций и один Центр управления сетью. Учитывая, что приемо-передающие станции должны работать в автономном режиме под управлением Центра управления сетью и их не планируется обслуживать оперативным персоналом, а также то, что связь системы с другими сетями осуществляется через Центр управления сетью, по расчетам разработчиков, персонал всей системы на территории России должен состоять из 70-80 человек.

Центр управления сетью является центром сети в каждой стране и осуществляет стык сети “ОРБКОММ” с другими государственными и частными сетями связи. Связь между Земными станциями и Центром управления сетью (дуплексный канал 56 Кбит/сек) может осуществляться как по проводным каналам, так и с использованием технологии VSAT.

Предполагается изготавливать различные типы пользовательских терминалов. Например, планируется изготовление малогабаритных терминалов, которые можно будет встроить в автомобильный УКВ радиоприемник.

Частота излучения терминалов 148.0 - 150.05 МГц. Скорость передачи информации на ИСЗ - 2.4 Кбит/сек, с ИСЗ - 4.8 Кбит/сек.

#### **4.3 Форматы передаваемых сообщений**

В сети “ОРБКОММ” планируется осуществлять обработку следующих видов сообщений:

- короткие послышки, не требующие подтверждения. Терминалы пользователей передают короткие сообщения, прием которых не требует подтверждения (режимы DataNet, MapNet );

- короткие послышки, которые требуют подтверждения. Существуют два уровня подтверждений: что сообщение принято системой и что сообщение принято адресатом (режимы DataNet, MapNet, SecurNet);

- запрос сообщения. Сообщение передается терминалом пользователя по команде со спутника. Эта команда поступает на спутник с Центра управления сетью, который обслуживает пользовательский терминал (режимы DataNet, MapNet);

- обмен сообщениями. Сообщение разбивается на части для надежности передачи и передается короткими пакетами по 10 бит через спутниковый канал. Пакет считается принятым после получения подтверждения, либо, если таковое не получено, пакет передается еще раз. Эти сообщения могут быть переданы на терминалы пользователей и приняты от них (режим VitalNet);

- прием/передача пакетов средней длины (256 бит). Они передаются или принимаются терминалом пользователя без участия Центра управления сетью. Это допустимо в удаленных и океанских зонах. Терминал пользователя осуществляет прием или передачу пакетов информации, когда связь с Центром управления сетью невозможна. Сообщение архивируется в памяти спутникового процессора до установления контакта спутника с терминалом или Центром управления сетью;

- команды - короткие команды, состоящие из одного пакета передаются на терминал пользователя. Подтверждение может требоваться или не требоваться.

Режим SekurNet предназначен для передачи сигналов тревоги, бедствия, безопасности. При нажатии определенной кнопки на терминале или другом способе включения режима, пользовательский терминал передает короткое сообщение о бедствии постоянно до тех пор, пока не будет принято подтверждение о приеме этого сообщения.

Режим MapNet предназначен для передачи сообщения о местоположении удаленного пользовательского терминала.

Режим DataNet предназначен для обмена цифровой информацией с удаленными необслуживаемыми терминалами. Информация может быть записана в память терминала и считываться в момент передачи, а также может считываться с датчиков. В этом режиме могут быть переданы команды на терминал для срабатывания оконечного оборудования.

Режим VitalNet включает в себя все выше перечисленные режимы и, соответственно, терминал будет иметь возможность также осуществлять прием/передачу сообщений.

#### **4.4 Взаимодействие с другими сетями связи**

Взаимодействие с другими сетями связи будет осуществляться через Центр управления сетью, в котором должны быть предусмотрены соответствующие интерфейсы. Центр управления сетью “ОРБКОММ” будет осуществлять прием информации с терминала и переформатировать его в зависимости от того, в какую сеть оно направлено. Аналогично, принятые из других сетей сообщения будут переформатироваться в Центре управления сетью в передаваться на пользовательские терминалы. Окончательный выбор интерфейсов, их типов и количества должен определяться на стадии

проектирования с обязательным согласованием с Министерством связи РФ и владельцами сетей.

#### **4.5 Зоны обслуживания и время доставки сообщений**

Теоретически, система “ОРБКОММ” будет покрывать всю территорию Земного шара. Первые два спутника планируется запустить на полярную орбиту (наклонение 90 град.). Основное покрытие должны будут осуществлять 24 спутника ( по 8 спутников в каждой из трех орбитальных плоскостей). Эти орбитальные плоскости будут иметь разнесение по долготе восходящего угла 120 градусов и наклонение 45 градусов к экватору. В дальнейшем, для увеличения пропускной способности системы планируется запустить еще 8 спутников в четвертой орбитальной плоскости с наклонением 45 градусов и дополнительно два полярных спутника с наклонением 90 градусов.

Продолжительность сеансов связи и перерывов между сеансами в зависимости от широты месторасположения терминала пользователя будет изменяться: до 50 градуса средняя продолжительность сеансов связи составляет 10 минут, а среднее время ожидания - 3-4 минуты. С увеличением широты появляются значительные перерывы между сеансами связи. Наиболее длительное ожидание сеанса связи наблюдается на широте 65 градусов и составляет 81,9 мин. Это вызвано тем, что на этой широте терминал пользователя сможет работать только с полярными спутниками, так как уже не будет попадать в зону действия спутников с наклонением в 45 градусов.

В дальнейшем, с увеличением широты места, будет увеличиваться время, в течении которого можно будет работать со спутниками и, соответственно, время ожидания сеансов связи будет уменьшаться.

Время доставки сообщения (быстродействие системы) зависят от: времени ожидания сеанса связи; времени передачи сообщения на спутник; времени передачи сообщения со спутника на Земную станцию; времени передачи сообщения с ЗС в Центр управления сетью; времени передачи сообщения из Центра управления сетью к адресату.

В данном случае имеется в виду, что сообщение имеет такую длительность, что передается за один сеанс связи. Как правило, большинство сообщений пользователей имеет такую длительность.

Время доставки сообщения с терминала на спутник, а также со спутника через Земную станцию и Центр управления сетью адресату составляет 1-2 мин (при том условии, что терминал и Земная станция одновременно находятся в зоне видимости спутника). В случае, когда в зоне видимости спутника находится только терминал, сообщение сразу передается с терминала на спутник, а со спутника на Земную станцию только тогда, когда она попадает в его зону видимости. Соответственно увеличивается время доставки сообщений.

#### **Заключение**

В настоящей работе рассмотрены существующие и планируемые к

вводу в ближайшее время космические системы, позволяющие осуществлять определение местоположения подвижных объектов и передавать эти данные в диспетчерские пункты, что позволяет осуществлять контроль за движением и безопасностью этих объектов.

Из космических систем, которые могут решать поставленные задачи, а также позволяют осуществлять двустороннюю связь в режиме передачи данных, наиболее дешевой и надежной, возможно будет являться система “ОРБКОММ”. Однако, так как система еще не введена в эксплуатацию, данное заключение сделано чисто теоретически, основываясь на данных, полученных в результате предварительных расчетов.

Целесообразность применения спутниковых каналов связи определяется техническими и экономическими преимуществами, которые могут быть получены с их помощью. Поэтому основной критерий сравнения сетей — это энергетический эффект и стоимость развертывания системы в целом.

Стоимость спутниковой системы связи, в основном, складывается из:

- затрат на разработку и производство спутника;
- затрат на вывод спутника на орбиту;
- затрат на развертывание сети земных станций.

В силу того, что данные по стоимости спутника и стоимости вывода его на орбиту является конфиденциальной информацией и, как правило, нигде не публикуется, их можно оценить лишь приближенно. Затраты на производство и запуск спутника типа “ИНМАРСАТ” посредством ракетоносителя типа “Протон”, на сегодня находятся в пределах 80-150 млн. долларов США, а для системы “ОРБКОММ”, при запуске которой используется технология “Пегас”, эти затраты составляют 5-20 млн. долларов США. Такая экономия средств достигается, во-первых, путем применения на спутниках аппаратуры, созданной на основе микросхем и микропроцессоров, что значительно снижает затраты на схемотехнические элементы и значительно снижает весогабаритные характеристики космических аппаратов; во-вторых, при использовании технологии “Пегас” исчезает необходимость в производстве дорогостоящих ракетоносителей, т.к. здесь для вывода на орбиту сразу нескольких космических аппаратов используются самолеты, поднимающиеся на высоту 11-12 тыс. метров, с которых производится запуск ракеты-носителя. Затраты на развертывание земных станций для систем подвижной связи примерно одинаковы и находятся в пределах 10-20 млн. долларов США.

Энергетический эффект достигается путем уменьшения расстояния между земными станциями и спутниками, что приводит к уменьшению требуемой мощности передатчиков как земных станций, так и передатчиков, устанавливаемых на космических аппаратах. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению размеров спутника. Также низкоорбитальные ИСЗ, при соответствующем выборе группировки, могут обслуживать любые

территории на поверхности Земли, вплоть до глобального охвата.

1. Описание системы “ОРБКОММ”

2. Описание системы “Инмарсат” М. 1995г.

3. “Системы спутниковой связи” под ред. Кантора М.: Радио и связь 1992г.

4. *Соколов В.В. Могучев В.И. Пыльцов В.А. Фомин А.Н.* ”Оценка возможностей систем спутниковой связи с различными видами орбит космических аппаратов” “Зарубежная радиоэлектроника”,1996г., №2.

5. *Богомья В.І., Дурняк Б.В., Козелков С.В., Машков О.А., Моргул О.А.* Наукові проблеми навігації та управління при створенні перспективної космічної інфраструктури України / Зб. наук. пр.: ПІМЕ НАН України, вип. 46, 2008, с. 75-93.

6. *Дурняк Б.В., Машков О.А., Пулеко І.В., Чумакевич В.О.* Методологія розробки псевдо супутникових комплексів як складних технічних систем / Моделювання та інформаційні технології / ПІМЕ НАН України, вип. 45, 2008, с. 103-116.

7. *Богомья В., Козелков С., Машков О., Моргул О.* Наукові проблеми навігації та управління в створенні перспективної космічної інфраструктури України / „Арсенал-XXI, №3-4, 2007, с. 19-26.

8. *Машков О.А., Пулеко І.В., Чумакевич В.О.* Методологія розробки псевдо супутникових систем як складних технічних систем / Системні технології. Регіональний міжвузівський зб. наук. пр.- Вип. 6(47). –Дніпропетровськ, 2006,с.172-188.

9. *Машков О.А., Коробчинський М.В., Усенко І.П.* Аналіз напрямлений підвищення якості функціонування структури мережної системи управління подвижними об'єктами / Зб. наук. пр.: Моделювання та інформаційні технології / ПІМЕ НАН України, Вип. 36, Київ, 2006, с.138-153.

10. *Машков О.А., Іщенко Д.А., Пекарев Д.В., Михалевич В.Е.* Обґрунтування структури автоматизованого програмно-алгоритмічного комплексу прогнозування та виявлення кризових ситуацій за результатами аналізу космічної обстановки / Зб. наук. пр. НАН України, ПІМЕ – „Моделювання та інформаційні технології”, 2004, Вип.. 28, с. 3

11. *Кравченко Ю.В., Машков О.А., Мосов С.П., Савченко В.А.* Деклараційний патент на винахід: „Локальна радіонавігаційна система”, МОН України, Департамент інтелектуальної власності, 68960А, 20031110538, 16.08.2004р., Бюл.№8.

*Поступила 19.01.2009р.*