УДК 629.78 DOI 10.30894/issn2409-0239.2020.7.4.38.50

Предложения по созданию спутниковой системы сбора и передачи данных на базе отечественных космических аппаратов

Ю. Б. Дорофеев, к. т. н., cospas0536@spacecorp.ru
АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Д. А. Тулисов, cospas0536@spacecorp.ru
АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Аннотация. Показана необходимость слежения за местоположением и состоянием как стационарных, так подвижных объектов. Решение такой задачи возможно путем создания отечественной спутниковой системы сбора и передачи данных, обеспечивающей автоматизированный сбор информации о состоянии и координатах от различных объектов, обслуживаемых в рамках данной системы вне зависимости от их местоположения на земном шаре. Обоснован выбор оптимального варианта построения спутниковой системы сбора и передачи данных. Представлены данные об имеющемся научно-техническом заделе АО «Российские космические системы» по созданию спутниковой системы сбора и передачи данных. Показаны основные функции и принципы создания и задачи, решаемые системой сбора, обработки и передачи данных, приведены основные проектно-технические решения, состав, особенности функционирования и основные характеристики такой системы и ее составных частей. Предложен порядок создания и развертывания такой системы.

Ключевые слова: бортовой радиотехнический комплекс, система сбора и передачи данных, платформа сбора данных, ретрансляция информации, гидрометеорологические данные, зона видимости, станция приема и обработки информации

Proposals for the Creation of a Satellite System for Data Collection and Transmission Based on Domestic Spacecraft

Yu. B. Dorofeev, Cand. Sci. (Engineering), cospas0536@spacecorp.ru
Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

D. A. Tulisov, cospas0536@spacecorp.ru
Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper shows the necessity for tracking the location and condition of both stationary and moving objects. The solution of this problem is possible by creating a domestic satellite system for data collection and transmission that provides automated collection of information on the state and coordinates of various objects serviced within this system regardless of their location on the globe. The choice of the optimal option for building a satellite data collection and transmission system is justified. The article presents the data on the existing scientific and technical groundwork of Joint Stock Company "Russian Space Systems" for creating a satellite data collection and transmission system. The main functions and principles of creation and tasks solved by the system for data collection, procession, and transmission are shown. The main design and technical solutions, composition, features of operation, and the main characteristics of such a system and its components are given. The procedure of creation and deployment of such a system is proposed.

Keywords: onboard radio complex, data collection and transmission system, data collection platform, information relay, hydrometeorological data, visibility range, information receiving and processing station

Актуальность создания спутниковой системы сбора и передачи данных

Необходимость непрерывного контроля за местонахождением и состоянием различных как подвижных, так и стационарных объектов в настоящее время является важнейшей задачей.

Для решения подобного рода задачи целесообразно обеспечить создание устойчивой и безопасной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры передачи, обработки и хранения необходимых объемов данных, доступной для всех ее потенциальных потребителей. При этом должна быть решена задача обеспечения информационной безопасности на основе отечественных разработок при передаче, обработке и хранении данных.

В этой связи стоит задача внедрения новых надежных технических средств, которые позволили бы осуществлять автоматизированный сбор диспетчерской информации как со стационарных, так и с подвижных объектов, а также передачу информации на объекты. Технически эта задача может быть выполнена с использованием спутниковых средств [1]. В настоящее время, однако, ни одна из отечественных спутниковых систем не используется для решения такой задачи.

Создание такой космической системы позволит обеспечить автоматизированный сбор информации о состоянии и координатах от различных объектов, обслуживаемых в рамках данной системы вне зависимости от их местоположения на земном шаре, то есть в глобальном режиме. При этом средства системы будут автоматически вычислять географические координаты местоположения объектов и направлять их в соответствующие диспетчерские пункты пользователей [2]. Информация может быть также запрошена из диспетчерского пункта при наличии возможности передачи на объект необходимой информации.

Спутниковая система сбора и передачи данных (ССПД) не только позволит решать задачи контроля и управления, но и обеспечит повышение вероятности сохранения требуемого состояния и безопасности контролируемых объектов.

Обоснование выбора оптимального варианта построения спутниковой системы сбора и передачи данных

Структура спутниковой системы определяется видом орбиты (эллиптические, GEO — геостационарные, МЕО — среднеорбитальные, LEO — низкоорбитальные) и конкретным значением ее высоты, общим числом космических аппаратов (КА) в группировке и их взаимным расположением, количеством орбитальных плоскостей и угловым расстоянием между ними, наклонением орбиты к плоскости экватора и др.

В настоящее время в мире насчитывается достаточно большое количество отечественных [3–5] и зарубежных [6, 7] спутниковых систем (региональных и глобальных), основанных на использовании низких, средних, геостационарных и эллиптических орбит, таких как:

- геостационарные системы «Радуга-1М», «Ямал», «Экспресс», «Луч», Inmarsat, MobileSat (Австралия), AMCS (США), MSAT (Канада), AceS, Thuraya;
- системы на эллиптических орбитах — КА серии «Молния», Ellipsat;
- среднеорбитальные системы New ICO, Odyssey;
- низкоорбитальные системы — «Парус», «Голец», Globalstar, Iridium, Orbkomm, Argos.

Геостационарные системы (ГС) характеризуются зоной радиовидимости, обеспечивающей одним КА контроль и наблюдение за объектами на большой территории.

Большое количество спутниковых систем, базирующихся на использовании геостационарных космических аппаратов, связано с очевидными их достоинствами:

- возможностью практически полного (90 %) покрытия земной поверхности с использованием всего лишь 3–5 спутников для глобальных систем и зонального покрытия с использованием 1–2 спутников для региональных;
- отработанной технологией изготовления, вывода, ориентации и удержания КА на геостационарной орбите;

- возможностью использования в составе ретрансляторов относительно простых антенн несложного типа;

- относительной простотой построения системы оперативного управления группировкой КА и текущего контроля их состояния;

- возможностью использования минимального числа дорогостоящих земных станций (вплоть до одной на каждую подспутниковую зону) в составе наземного сегмента спутниковой системы связи (СПСС), которые обеспечивают сопряжение абонентских терминалов (АТ) различных типов с наземными сетями связи;

- неподвижностью зон покрытия земной поверхности, формируемых лучами спутниковых антенн, что обеспечивает меньшую вероятность потребности перехода АТ из одной зоны в другую в процессе переговоров и, как следствие, для автоматизации этого процесса не требуется больших затрат системных ресурсов (каналов сигнализации и управления).

В связи с прохождением орбиты над экватором и небольшим углом места наземных станций геостационарные КА не обеспечивают связью полярные районы Земли.

Для обеспечения связью приполярных и полярных районов могут использоваться КА на эллиптических орбитах.

Низкоорбитальные (НО) искусственные спутники Земли (ИСЗ) находятся на небольшой высоте и обеспечивают на входе приемных устройств оконечных станций такой уровень сигнала, который позволяет принимать информацию на ненаправленную антенну в движении, а не только на остановках. В свою очередь, передатчики терминалов с ненаправленными антеннами обеспечивают на борту низкоорбитальных ИСЗ достаточный для ретрансляции сигнал. Таким образом, в системах на базе низкоорбитальных ИСЗ обеспечивается надежная работа маломощных мобильных и переносных станций с ненаправленными антеннами.

Космический сегмент низкоорбитальных систем обычно состоит из десятков КА, равномерно распределенных над всей поверхностью Земли таким образом, что в пределах прямой видимости любой оконечной станции находятся не менее 1–2, а в полярных районах — и 3–4 космических

ретрансляторов, обеспечивающих необходимую надежность связи в пределах всей земной поверхности. Избыточность взаимосвязанных спутников в космическом сегменте обуславливает также высокую живучесть низкоорбитальных систем за счет создания обходных и резервных каналов связи.

Целесообразность применения НО спутниковых систем в настоящее время обусловлена:

- ограничениями при создании ГС систем по точкам стояния и параметрам каналов ретрансляции, связанными с перегруженностью геостационарной орбиты большим количеством КА;

- возможностью использования эффекта Доплера для позиционирования контролируемых объектов;

- возможностью работы абонента на всенаправленных антеннах, связанной с практическим использованием низких частот на линии КА–Земля;

- высокой надежностью системы, определяемой уровнем резервирования, при котором отказ одного КА приводит только к снижению оперативности;

- независимостью эффективности функционирования линии связи от рельефа и других характеристик местности, на которой находятся контролируемые объекты;

- сравнительно невысокой стоимостью обеспечения персональной связью.

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует о том, что выбор оптимального варианта построения спутниковой системы сбора и передачи данных на базе отечественных космических аппаратов должен осуществляться на основе следующего ряда критериев и условий [8]: стоимость, соответствие поставленным задачам и требуемым характеристикам, возможность создания и развертывания в условиях финансовых и административно-политических ограничений. Реализация такого подхода возможна при условии использования имеющегося задела по созданию и применению отечественных спутниковых систем и входящих в их состав средств, а также характеристик и достоинств разных космических сегментов создаваемой системы при их совместной эксплуатации.

В этой связи основными свойствами такой системы следует определить наличие космической

группировки уже созданных или создаваемых КА, которая способна образовать двухъярусный космический сегмент с реализованной возможностью использования режима межспутниковой ретрансляции [9], обеспечивающего глобальность и оперативность доставки информации, а также оснащения КА бортовым радиотехническим комплексом, который может работать с одним типом аппаратуры потребителя. Кроме того, важной характеристикой для обеспечения эффективности создаваемой системы при ее глобальном применении является возможность использования эффекта Доплера для независимого определения местоположения объектов.

Опыт, научно-технический задел АО «Российские космические системы» по созданию спутниковой системы сбора и передачи данных «Курс»

Система «Курс» [10], которая потенциально была способна решать задачи, стоящие перед системой сбора и передачи данных, была разработана в 1985–1990 гг. в РНИИ КП. С целью оценки точности и оперативности измерения координат объектов с использованием системы «Курс» в течение 1996–2002 гг. ФГУП «РНИИ КП» был проведен ряд демонстрационных экспериментов и испытаний, которые подтвердили эффективность ее использования для контроля за местоположением подвижных объектов и грузов, а также технических решений по созданию отдельных элементов наземной инфраструктуры системы «Курс».

На основании положительных результатов летных испытаний (ЛИ) системы «Надежда» по рекомендации Госкомиссии решением Роскосмоса в 1997 г. система «Курс» [2] была принята в опытную эксплуатацию в следующем составе:

- КА («Космос-2135»);
- станция приема и обработки информации (СПОИ), обеспечивающая работу в режиме «Курс» (Теплый Стан) на частоте 1643 МГц по радиолинии КА–СПОИ;
- региональный центр (РЦ) в Теплом Стане, обеспечивающий прием данных, полученных

от СПОИ, и передачу в международный координационно-вычислительный центр (г. Москва) и пользователям;

- радиомаяки «Маран», излучающие радиосигнал по линии абонентский терминал — космический аппарат (АТ–КА) на частоте 406 МГц.

В период подготовки в 2008 г. к запуску малого космического аппарата «Стерх» в рамках ОКР «Надежда-М» во ФГУП «РНИИ КП» создан стенд для отработки программно-математического обеспечения (ПМО) опытного образца центра приема и обработки информации подсистемы «Курс-М» [11].

Однако существующая в настоящее время наземная инфраструктура системы «Надежда» утратила возможность работы в режиме «Курс» в результате действия ряда факторов, таких как:

- длительное отсутствие на орбите КА с бортовым радиотехническим комплексом (БРТК), работающим в режиме «Курс»;
- отсутствие оператора системы, способного обеспечить эксплуатацию, необходимую модернизацию системы и предоставление услуг мониторинга;
- отсутствие станций приема и обработки информации (СПОИ), обеспечивающих работу с БРТК «Курс» на частоте 1700 МГц, а также аппаратуры потребителя, работающей на частоте 402 МГц (в 2003 г. по согласованию с Росгидрометом для системы «Курс» была установлена частота 402 МГц по радиолинии АТ–КА и частота 1700 МГц по радиолинии КА–СПОИ).

Тот факт, что в настоящее время на орбите находятся отечественные гидрометеорологические НО и ГС ИСЗ, а, кроме того, планируются в перспективе запуски высокоэллиптических КА, позволяет использовать возможности установленной на этих КА бортовой аппаратуры приема, обработки и ретрансляции сигналов от платформ сбора данных ПСД-402, обеспечивающей передачу данных мониторинга подвижных и стационарных объектов.

Таким образом, находящиеся на орбите и планируемые к запуску отечественные гидрометеорологические КА фактически сформируют двухъярусный космический сегмент системы, имеющей возможность в глобальном масштабе обеспечивать мониторинг подвижных и стационарных объектов посредством передачи и обработки данных о их состоянии и местоположении. В такой ССПД обеспе-

чивается ретрансляция данных от наземных платформ через НО КА на частоте 465 МГц на геостационарные КА и далее на наземные СПОИ.

Для реализации потенциальных возможностей ССПД необходимо создание наземной инфраструктуры и единого управляющего органа системы.

Основные функции и принципы создания и задачи системы сбора, обработки и передачи данных

Создаваемая система ССПД должна обеспечивать выполнение следующих функций [11]:

- автоматизированный сбор данных о состоянии и местоположении стационарных и подвижных сухопутных и морских объектов, в том числе объектов, перевозящих опасные и ценные грузы;
- сбор метеорологической, океанографической и другой информации в интересах различных отраслей народного хозяйства, а также гидрометеорологического обеспечения судов;
- сбор экологической и природоресурсной информации;
- передача пользователям полученной информации о состоянии и местоположении контролируемых объектов, в том числе передача оперативной

информации в чрезвычайных ситуациях (землетрясения, наводнения, экологические и промышленные катастрофы).

Оценка ориентации зон взаимной радиовидимости [9] КА ГС «Электро-Л» и КА НО «Метеор-МП» (рис. 1) свидетельствует о возможности использования режима межспутниковой ретрансляции для повышения оперативности доставки информации от платформ сбора данных в создаваемой системе ССПД.

При этом аппаратное построение модернизированного бортового радиотехнического комплекса ССПД НО КА [9] должно обеспечить выполнение следующих функций:

- прием, обработка, хранение и передача в транспортный информационный кадр, формируемый в бортовой информационной системе (БИС), данных от наземных платформ сбора данных для дальнейшей передачи их в главные метеорологические центры;
- ретрансляция данных от наземных платформ сбора данных, расположенных в полярных зонах Земли, через НО КА с переносом частоты с 402 МГц на 465 МГц и далее через геостационарные КА на наземные СПОИ.

Для создания такой ССПД на базе отечественных низкоорбитальных и геостационарных КА

Рис. 1. Зоны видимости КА «Электро-Л» и КА «Метеор-МП»

должна быть решена задача формирования и развертывания инфраструктуры предоставления информационных услуг о состоянии и местоположении подвижных и стационарных объектов, опасных и ценных грузов абонентам, расположенным в любой точке земного шара, а также обеспечения организационных и нормативно-правовых условий для нового отечественного сегмента потребительских услуг.

Для реализации возможностей отечественной орбитальной группировки, на КА которой установлена бортовая аппаратура приема, обработки и ретрансляции сигналов от платформ сбора данных на частоте 402 МГц, необходимо обеспечить создание новых элементов наземной инфраструктуры спутниковой системы сбора, обработки и передачи данных на базе отечественных КА, а также решить ряд организационно-технических и финансово-экономических проблем.

Основные проектно-технические решения

Состав системы

ССПД обеспечивает определение местоположения подвижных объектов, а также сбор и передачу ограниченного объема данных (500–5000 бит) от стационарных и подвижных объектов через ИСЗ в наземный центр приема и обработки информации и состоит из трех основных составных частей:

- космический сегмент,
- наземный сегмент,
- наземные средства потребителей.

Космический сегмент включает бортовые радиотехнические комплексы, установленные на отечественных ИСЗ, выводимых на низкую орбиту (КА «Метеор-МП») и геостационарную орбиту (КА «Электро-Л»).

В качестве базового космического аппарата в системе применяется низкоорбитальный гидрометеорологический космический аппарат «Метеор-МП» нового поколения.

Наземный сегмент СПД состоит из:

- центра приема и обработки информации (ЦПОИ), создание которого возможно в АО «Российские космические системы»;

- региональных станций приема и обработки информации низкоорбитального СПОИ НО и геостационарного СПОИ ГС космического сегмента СПД, размещаемых на территории РФ;

- региональных пользовательских центров (РЦ) системы, в случае необходимости совмещаемых со СПОИ;

- каналов связи между СПОИ, ЦПОИ, РЦ и потребителями.

В состав ЦПОИ, размещаемом в АО «Российские космические системы», должны входить СПОИ НО и СПОИ ГС.

Наземные средства потребителей, обеспечивающие требуемый вид услуг передачи данных в различных условиях эксплуатации и доступ к ресурсам системы, включают:

- аппаратуру потребителя, работающую в персональном режиме;
- подсистемы связи, глобальные сети связи Интернет, входящие в состав СПД функционально.

Особенности функционирования СПД

СПД функционирует следующим образом:

- передатчики абонентских терминалов (АТ) периодически (1 раз в минуту) в автоматическом режиме посылают сообщения, которые принимаются спутниками с БРТК, работающим на частоте 402 МГц;

- в БРТК эти сообщения преобразуются в соответствии с циклограммой работы, а затем передаются на наземные станции приема и обработки информации;

- наземные станции осуществляют выделение цифрового потока, передаваемого из ЗУ БРТК, определение местоположения АТ, формирование и передачу массива информации обмена с ЦПОИ (БРТК геостационарного космического сегмента СПД осуществляет ретрансляцию принятых на частоте 465 МГц от АТ сообщений);

- от наземных станций принятая информация о местоположении и состоянии контролируемых объектов передается в ЦПОИ, где осуществляется ее прием, обработка и предоставление пользователям, а также хранение в базах данных для последующего анализа.

Т а б л и ц а. Характеристики ССПД

Технические характеристики	<div>ССПД-НО</div> <div>«Метеор-МП»</div>	<div>ССПД-ГС</div> <div>«Электро-Л»</div>
Параметры орбиты высота, км/наклонение, ° точка стояния, в.д.	650/98 —	36 000 76
Расположение СПОИ	Москва, Новосибирск, Мурманск, Южно-Сахалинск, Петропавловск-Камчатский, Красноярск	Москва
Производительность системы	150 радиомаяков в зоне видимости, 2000 за виток (при трех каналах в ПРМ–ПРЦ)	300 радиомаяков в зоне видимости (одновременно работающих)
Время ожидания, мин максимальное среднее	130/60 при 2 НО ИСЗ 80/40 при 4 НО ИСЗ	1
Объем сообщения за один сеанс связи, бит	500–2000	500–5000

Полученные системой данные могут быть представлены в виде отображения местоположения на электронной карте, ведения табличного учета состояния, статистики поведения контролируемых объектов (пройденный путь, маршрут и т. п.).

Подсистемы анализа и визуализации полученной информации в ЦПОИ обеспечивают выдачу сигналов и справочной информации в случае каких-либо происшествий, а также работу системы поддержки принятия решения.

Основные характеристики ССПД, характеристика предоставляемых системой телематических услуг

Основные характеристики ССПД [11] для двух–четырех НО ИСЗ и одного ГС ИСЗ приведены в таблице.

Количество обслуживаемых объектов приемопередающей аппаратурой одного КА НО [9]:

- за виток — 2000;
- в зоне видимости, одновременно работающих — 150;

– для ССПД на базе ГС КА — 300 радиомаяков в зоне видимости (одновременно работающих).

Время задержки сеанса связи: максимальное/среднее — 130/60 мин (при 2 ИСЗ), 80/40 мин (при 4 НО ИСЗ).

Количество сеансов связи с одного АТ в сутки (для 1 НО ИСЗ):

> 15 для > 80° Ш; > 7 для > 50° Ш; > 4 для > 20°.

Вероятность приема данных и определения координат за один сеанс связи при угле места > 7° — 0,98.

Точность определения координат АТ, установленным на подвижный объект, при использовании навигационной аппаратуры ГЛОНАСС/GPS — не хуже 0,1 км.

Номинал несущей частоты АТ — 402 МГц. Номинал несущей частоты БРТК ИСЗ–СПОИ — 1696,4 МГц.

Система обеспечивает передачу данных от абонентских терминалов в формате коротких пакетов, полученных в результате сбора сообщений о местоположении и датчиковой информации с объемом, задаваемым техническим заданием на системы пользователей, в течение времени нахождения в зоне видимости.

Скорость передачи информации по линии ИСЗ–СПОИ — 9600 бит/с.

Объем сообщения за один сеанс связи 500–2000 бит.

В ССПД обеспечивается защита от несанкционированного доступа к спутниковым каналам путем использования специализированных средств аутентификации абонента.

Система предоставляет следующие телематические услуги пользователям:

- определение местоположения подвижных объектов;
- автоматизированный сбор данных с датчиков контроля состояния любых объектов, в том числе необслуживаемых, сбор данных о местоположении объектов;
- передача аварийных сообщений.

Наземные средства системы обеспечивают взаимодействие с сетью общего пользования: телефонной (ТЛФ) и телеграфной (ТЛГ), сетью Интернет и другими наземными сетями.

Характеристика составных частей ССПД. Бортовой радиотехнический комплекс (БРТК)

Бортовые радиотехнические комплексы представляют собой комплект специальной приемопередающей аппаратуры, размещенной на ИСЗ и взаимодействующей с аппаратурой абонентских терминалов, находящихся на объектах пользователей, и наземными станциями.

Бортовой радиотехнический комплекс системы ССПД, устанавливаемый на гидрометеорологический НО КА, обеспечивает взаимодействие с аппаратурой потребителя и наземными станциями приема и обработки информации и при этом выполняет следующие функции:

- прием, детектирование и выделение цифрового сообщения из сигнала, передаваемого от абонентских терминалов (АТ);
- измерение доплеровского смещения частоты сигнала от АТ с привязкой начала измерения к бортовому времени;
- запоминание данных о принятом сообщении, значении доплеровской частоты и времени измерения

для передачи на СПОИ в зоне видимости СПОИ–ИСЗ;

- формирование в цифровой форме модулирующего сигнала, содержащего принятые от АТ сообщения, значение доплеровской частоты и времени измерения;

- передача на СПОИ в непрерывном режиме принимаемых в реальном времени и ранее запомненных в ОЗУ данных с АТ.

Бортовые антенны НО КО ориентированы на центр Земли с точностью $\pm 8^\circ$ в зоне геометрической видимости заданного потенциала АТ — ИСЗ и ИСЗ–СПОИ.

БРТК, устанавливаемый на гидрометеорологический ГС КА, обеспечивает работу в режиме ретрансляции информации, полученной от АТ.

Применяемые в ССПД бортовые радиотехнические комплексы имеют следующие особенности.

Аппаратура БРТК, устанавливаемая на НО КА и работающая одновременно в режиме КОСПАС и ССПД, обеспечивает (в режиме ССПД) прием данных от АТ (в диапазоне от 401,91 до 401,99 МГц), их предварительную обработку и запоминание для передачи в БИС и последующей передачи информации в цифровом виде на наземную СПОИ в общем потоке данных с КА.

Кроме того, модернизированная аппаратура должна обеспечивать кодирование, формирование и последующую ретрансляцию информации на частоте 465 МГц на бортовой комплекс (6-й канал) ГС КА.

Скорость передачи информации АТ (402 МГц) на СПОИ 9600 бит/с. Аппаратура БРТК обеспечивает прием посылок 150 АТ (402 МГц), работающих одновременно и равномерно распределенных в зоне радиовидимости КА. Объем ОЗУ аппаратуры БРТК составляет не менее 10 Мбит, что достаточно для запоминания 20 000 посылок АТ (402 МГц).

6-й канал 2-го ствола БРТК ГС КА обеспечивает переретрансляцию данных от платформ сбора данных со скоростью 1,0–1,2 Кбит/с, поступающих от БРТК НО КА. Сигнал частотой 465 МГц поступает на вход маломощного усилителя (МШУ). После усиления сигнал поступает в канал ретрансляции данных ПСД, где производится гетеродинирование сигнала в полосе 465 МГц. Сигнал модулируется, фильтруется, преобразуется на несущую

частоту 1696,4 МГц, поступает на вход усилителя мощности (УМ) и затем на антенну для передачи на СПОИ ГС.

7-й канал 2-го ствола БРТК ГС КА обеспечивает работу с АТ (402 МГц) и передачу информации на СПОИ (1697 МГц). БРТК обеспечивает ретрансляцию информации от АТ в объеме до 300 каналов частотного разделения со скоростью передачи до 300 бит/с и объемом передаваемой информации не более 5200 бит от каждого АТ без запоминания и обработки в ОЗУ. Возможно применение АТ со скоростью 400, 1200 бит/с.

Станция приема и обработки информации

1. Станции приема и обработки информации для обеспечения работы с БРТК НО КА (СПОИ НО) являются одним из основных элементов наземного сегмента системы и предназначены для решения следующих задач:

- слежение по программе за ИСЗ;
- обнаружение, демодуляция и детектирование принятого сигнала;
- выделение цифрового потока, передаваемого из запоминающего устройства БРТК, содержащего информацию посылок, доплеровское значение частоты и время обнаружения сигналов от абонентских терминалов БРТК;
- определение координат объектов, оборудованных АТ;
- хранение данных в ПЭВМ;
- автономное определение траекторных данных ИСЗ по опорным радиомаякам или по измерениям доплеровского смещения частоты в радиолинии ИСЗ–СПОИ (эфемеридные данные рассчитываются на ПЭВМ или поступают из баллистического центра (БЦ) системы);
- передача принятых за сеанс данных в ЦПОИ системы и потребителям.

СПОИ производит обработку всего объема информации, полученной в течение сеанса, и обеспечивает ее сортировку. После окончания сортировки СПОИ определяет положение радиобуя при наличии не менее 4 верных посылок. При получении недостаточного числа посылок обеспечивается передача данных от АТ без определения координат.

СПОИ должна включать основное и вспомогательное оборудование.

Основное оборудование:

- антенная система;
- приемное устройство;
- устройство сопряжения с ПЭВМ;
- вычислительный комплекс на базе ПЭВМ с программно-математическим обеспечением;
- система приема сигналов точного времени;
- устройство сопряжения с каналом связи.

Вспомогательное оборудование:

- имитатор бортового радиокомплекса;
- контрольный радиомаяк;
- комплект измерительных приборов;
- комплект запасных частей.

В аппаратуре СПОИ предусмотрена автоматическая проверка функционирования всего комплекса средств и отдельных устройств.

Комплекс аппаратуры СПОИ функционирует следующим образом. По рассчитанным или полученным из БЦ эфемеридным данным ПЭВМ рассчитывает зоны видимости для каждого ИСЗ и перед каждым сеансом связи формирует программу наведения антенны, которая обеспечивает слежение антенной системы за перемещением ИСЗ.

Принятый антенной сигнал с ИСЗ поступает на приемное устройство, где осуществляется обнаружение, выделение и предварительная обработка сигналов.

Предварительно обработанные цифровые сигналы поступают на окончательную обработку в ПЭВМ, обеспечивающей декодирование поступающей информации, ее запоминание с целью повторной обработки, определение координат контролируемых объектов, формирование потоков выходной информации и выдачу их на устройство сопряжения с каналом связи, обеспечивающим передачу информации в ЦПОИ.

2. Станции приема и обработки информации ГС (СПОИ ГС) предназначены для решения следующих задач:

- непрерывный круглосуточный прием сигнала, несущего информацию от АТ, ретранслированного БРТК ГС КА на частоте 1697 МГц в полосе 80 МГц;
- обнаружение, выделение и выдача в линию связи для передачи в АПК ЦПОИ сообщений от АТ;

- измерение частоты сигналов от АТ для их идентификации;

- одновременный прием сигналов не менее 20 АТ, находящихся в зоне радиовидимости ГС КА.

Состав средств, входящих в СПОИ ГС, аналогичен составу СПОИ НО.

Центры приема и обработки информации

1. Центр приема и обработки информации системы обеспечивает решение следующих задач:

- хранение базы данных;
- анализ состояния и работоспособности системы ССПД в целом;
- прием из центра управления ИСЗ траекторных данных;

- координация работы всех СПОИ, входящих в состав системы;

- сбор информации со всех СПОИ, функционирующих в составе системы, ее анализ и обработка;

- формирование выходных сообщений, сортировка и передача соответствующему потребителю сообщений, поступивших от его объектов;

- оперативное решение вопросов реконфигурации системы в случае нарушения функционирования любого элемента системы;

- регистрация абонентов, обеспечение ввода их в систему и ведение базы данных по наземным средствам системы;

- автоматический учет (биллинг) пользовательского трафика.

В соответствии с решаемыми задачами в состав ЦПОИ входят:

- аппаратно-программный комплекс;
- СПОИ НО и СПОИ ГС;
- специализированное программное обеспечение;

- устройство сопряжения с каналами связи;
- каналы связи (ТЛФ, ТЛГ, Интернет) входят функционально.

2. Региональный пользовательский центр, при необходимости совмещенный со СПОИ, должен обеспечивать:

- организацию приема и сбор информации в регионе, ее сортировку, передачу соответствующему

потребителю сообщений, поступивших от его объектов;

- одновременную работу со всеми КА, находящимися в зоне радиовидимости совмещенной с РЦ СПОИ НО;

- определение возможности обслуживания отдельных групп терминалов, организацию сеансов связи по групповому обслуживанию терминалов;

- взаимодействие с техническими средствами других систем, в том числе для уменьшения времени доставки информации;

- взаимодействие абонентов системы ССПД с другими наземными сетями через информационные шлюзы;

- ведение базы данных по пользователям, закрепленным за РЦ с учетом их текущего местоположения, режима обслуживания и заявленного трафика.

В соответствии с решаемыми задачами в состав РЦ входят:

- аппаратно-программный комплекс;

- специализированное программное обеспечение;

- устройство сопряжения с каналами связи;

- каналы связи (ТЛФ, ТЛГ, Интернет входят функционально);

- СПОИ НО (в случае необходимости).

Абонентские терминалы

Абонентские терминалы предназначены для передачи информации о состоянии и местоположении контролируемых объектов через БРТК ССПД.

В ССПД используются различного вида абонентские терминалы, устанавливаемые на подвижных или стационарных объектах и излучающие модулированный радиосигнал, служащий для определения координат и несущий необходимую для пользователя информацию о состоянии объекта. Для определения местоположения с высокой точностью на АТ устанавливается навигационное оборудование ГЛОНАСС/GPS.

Для обеспечения запросов потребителей услуг ССПД должны быть разработаны следующие типы АТ [11]:

- автономный терминал + приемник ГЛОНАСС/GPS (для высокоточного определения координат объекта) — АТ-1;

– автономный терминал + необслуживаемый контроллер сбора данных (для определения параметров состояния стационарных объектов, с возможностью определения местоположения с точностью не хуже 3 км) — АТ-2;

– автономный терминал + необслуживаемый контроллер + приемник ГЛОНАСС/GPS (для высокоточного определения координат и параметров состояния объекта) — АТ-3.

Особенностью ССПД является возможность создания универсальных мобильных абонентских терминалов для работы как через низкоорбитальные, так и через геостационарные спутники.

Комплектация терминалов, программное обеспечение и конструктивное оформление разрабатываются с использованием базовой модификации по ЧТЗ, согласованном с Заказчиком (пользователем) системы.

Предложения по расположению элементов наземного сегмента системы ССПД на территории РФ

Центр приема, обработки и передачи информации целесообразно расположить в Москве на базе АО «Российские космические системы». В состав ЦПОИ входит по одной СПОИ НО и СПОИ ГС.

Для реализации возможностей создаваемой ССПД необходимо развернуть сеть региональных СПОИ на территории Российской Федерации в Южно-Сахалинске, Новосибирске и Мурманске (по одной СПОИ НО в каждом из городов), что определяется характеристиками зон радиовидимости [10, 11] СПОИ НО, изображенных на рис. 2. Зона радиовидимости при работе с ГС КА представлена на рис. 3.

Рис. 2. Зоны радиовидимости для низкоорбитальных КА (угол $> 10^\circ$)

Рис. 3. Зона радиовидимости при работе с ГС КА

Для повышения надежности функционирования системы целесообразно в дальнейшем (на втором этапе развертывании системы) дополнительно разместить СПОИ НО в Петропавловске-Камчатском и Норильске.

СПОИ функционально должны быть подчинены главному центру, обеспечивая решение региональных задач мониторинга и передачу принятой информации в ЦПОИ. Данная схема расположения средств системы обеспечивает выполнение мониторинговых функций на всей территории Российской Федерации и в ее экономической зоне.

Передача информации центром к потенциальным пользователям ССПД осуществляется через веб-интерфейс по сети Интернет (по протоколу TCP/IP). Возможна также передача сообщений удаленным пользователям (на веб-серверы) по сетям GSM в формате GPRS.

По заказу потребителей услуг системы может быть создана сеть региональных пользовательских центров приема и обработки информации, размещенных в регионах РФ.

Порядок создания и развертывания ССПД

Организацию и обеспечение проведения работ по созданию и развертыванию ССПД осуществляют Роскосмос (Заказчик) совместно с АО «Российские космические системы» (Исполнитель) по согласованию с Росгидрометом, Росрыболовством, МЧС РФ и другими заинтересованными федеральными органами исполнительной власти.

Комплекс работ, обеспечивающих создание и эффективное применение ССПД, включает:

- создание центра приема и обработки информации (в АО «Российские космические системы»), формирование нормативной базы и организационной структуры для создания на этой основе главного центра приема и обработки информации и оператора системы;
- разработку и изготовление СПОИ НО и СПОИ ГС, обеспечивающих прием и обработку информации от БРТК, установленных как на низкоорбитальных, так и на геостационарных КА;
- создание региональных пользовательских центров приема и обработки информации;

- изготовление опытных образцов и серийной партии абонентских терминалов;

- проведение комплексных испытаний и ввод в действие (развертывание) системы;

- проведение комплекса организационных работ по созданию управляющего органа — оператора системы и обеспечению продвижения на рынке оказания операторских услуг мониторинга состояния стационарных и подвижных объектов, опасных и ценных грузов.

По заказу потребителей услуг системы может быть создана сеть пользовательских центров приема и обработки информации, размещенных в регионах РФ.

Одновременно с выполнением перечисленных работ в интересах создания и развертывания ССПД и предоставления на ее базе услуг по мониторингу подвижных и стационарных объектов должен быть решен ряд технических и финансово-экономических проблем:

- создание нормативно-правовой базы (положение о системе, нормативные документы предоставления потребителям услуг мониторинга, базовое тарифное соглашение и т. д.);

- формирование на базе АО «Российские космические системы» централизованной структуры, осуществляющей эксплуатацию системы в интересах потребителей услуг мониторинга, и создание единого управляющего органа — оператора ССПД.

При этом оператор системы обеспечивает:

- предоставление всего спектра телематических услуг ССПД;
- сертификацию технических средств;
- продажу и аренду абонентского оборудования, программного обеспечения и пользовательских элементов наземного сегмента ССПД;
- гарантийное обслуживание и сервисную поддержку наземного оборудования.

На этапе разработки технической документации должны быть проработаны вопросы об объединении функций мониторинга разных министерств и ведомств в рамках единой государственной системы мониторинга.

Поскольку технические средства центров унифицированы, они при необходимости могут дублировать возможности друг друга, обеспечивая надежность и высокое качество услуг мониторинга.

Очевидно, что при таком подходе система может быть легко наращиваема путем создания подобных центров на территориях зарубежных государств, что обеспечит постоянную равномерную загрузку космического сегмента.

Заключение

Создание отечественной спутниковой системы сбора и передачи данных в совокупности с формированием и развертыванием необходимой инфраструктуры обеспечит реализацию возможностей данной системы для решения следующих актуальных задач:

- создание эффективной мониторинговой системы на базе отечественных спутниковых средств для предоставления абонентам информационных услуг о состоянии и местоположении подвижных и стационарных объектов, расположенных в любой точке земного шара;

- создание и внедрение перспективных научно-технических разработок, в том числе комплекса технических средств мониторинга, информационных технологий обработки данных в действующие и создаваемые системы мониторинга;

- обеспечение информационной защищенности в интересах национальной безопасности при осуществлении мониторинга объектов;

- создание оператора системы, а также использование возможностей системы по обеспечению функционального взаимодействия с зарубежными системами для проведения активной политики на рынке операторских услуг, что позволит повысить экономическую эффективность созданной ССПД и будет способствовать развитию международных связей.

Список литературы

1. *Рогальский В.И.* Аналитический обзор «Российские космические системы местоопределения подвижных средств и передачи цифровых данных». М.: ФГУП «РНИИ КП», 2000.
2. *Селиванов А.С., Рогальский В.И., Дедов Н.В.* Космическая система сбора природоресурсных данных с наземных платформ и определения их местоположения «Курс» // Современные технологии автоматизации, 1997, № 3. С. 36–41.
3. *Сомов А.М., Корнев С.Ф.* Спутниковые системы связи. М.: Горячая линия – Телеком, 2012. 244 с.
4. *Михайлов Р.Л.* Описательные модели систем спутниковой связи как космического эшелона телекоммуникационных систем специального назначения. СПб.: Научно-технические технологии, 2019. 150 с.
5. Системы спутниковой связи и вещания: Справочно-аналитическое издание / Под ред. Ю.А. Подъездова. М.: Радиотехника, 2018. 360 с.
6. *Курбанов К.А., Сахно С.И.* Современные зарубежные системы спутниковой связи, обеспечивающие предоставление высокоскоростных услуг связи // Инновационные механизмы решения проблем научного развития: Сб. статей Международной научно-практической конференции. Уфа: ООО «Omega Science», 2017. С. 55–58.
7. *Minoli D.* Innovations in Satellite Communication and Satellite Technology: the Industry Implications OF DVB-S2X, high throughput Satellites, Ultra HD, M2M, and IP.. Secure Enterprise Systems Inc., NY, 2015. 420 p.
8. *Меньшиков В.А., Перминов А.Н., Рембеза А.И., Урличич Ю.М.* Основы анализа и проектирования космических систем мониторинга и прогнозирования природных и техногенных катастроф. М.: Машиностроение, 2014. 736 с.
9. *Дорофеев Ю.Б., Матвеев С.В., Рубан Л.Н., Тулисов Д.А.* Использование режима межспутниковой ретрансляции в гидрометеорологической космической системе нового поколения на основе КА «Метеор-МП» // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2017, т. 4, вып. 4. С. 57–63.
10. *Дорофеев Ю.Б., Матвеев С.В.* Основные принципы функционирования и использования системы сбора, обработки и передачи данных на базе отечественных спутниковых средств // Труды IX научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций». М.: Центр «Антистихия», 2009.
11. *Дорофеев Ю.Б., Никушкин И.В., Матвеев С.В.* Особенности функционирования и использования системы сбора, обработки и передачи данных «Курс-М» на базе отечественных спутниковых средств // Ракетно-космическое приборостроение и информационные технологии. 2009–2010. Труды II Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий», посвященной 100-летию со дня рождения М.С. Рязанского, 2–4 июня 2009 г. / Под редакцией Ю.М. Урличича, А.А. Романова. М.: Радиотехника, 2009.