

УДК 621.396.7

Возможность и эффективность дополнения среднеорбитального сегмента системы КОСПАС–САРСАТ геостационарным сегментом этой системы

Д. В. Антонов, В. А. Архангельский¹, В. И. Семин, А. В. Федосеев

¹к. т. н.

АО «Российские космические системы»

e-mail: antonov_dv@spacecorp.ru

Аннотация. В данной статье приводится обоснование необходимости измерений частоты сигнала аварийного радиобуя (АРБ), ретранслированного минимум через 6 спутников-ретрансляторов для точного определения координат медленно подвижных (до 5 м/с) АРБ в среднеорбитальном сегменте КОСПАС–САРСАТ. Показывается возможность дополнения 4-антенной наземной станции среднеорбитального сегмента двумя уже имеющимися каналами геостационарного сегмента для получения требуемого количества измерений. Описываются необходимые программно-аппаратные доработки, приводятся результаты математического моделирования зоны обслуживания полученной 6-канальной станции.

Ключевые слова: СССРС, СПОИ-СО, СПИАБ, зона обслуживания, медленно движущиеся АРБ, навигационная задача

Possibility and Effectiveness of Including the Geostationary Segment into the Middle Earth Orbit Segment of the COSPAS–SARSAT System

D. V. Antonov, V. A. Arkhangel'skiy¹, V. I. Semin, A. V. Fedoseev

¹candidate of engineering science

Joint Stock Company "Russian Space Systems"

e-mail: antonov_dv@spacecorp.ru

Abstract. This article describes necessity of having frequency measurements obtained through at least six satellites to locate slow moving beacons (velocity < 5 m/s) with the required accuracy in the middle Earth orbit segment of COSPAS–SARSAT. Possibility of adding two geostationary channels to the Middle Earth Orbit Location User Terminal (MEOLUT) with four antennas to achieve the required accuracy for slow moving beacons is shown. The necessary revision of hardware and software are described, the results of the mathematical simulation of the coverage area of the resulting LUT with six antennas are provided.

Keywords: MEOSAR, MEOLUT, GEOLUT, coverage area, slow moving beacon, location processing

Введение

Координаты аварийных радиобуев (АРБ) в среднеорбитальном сегменте КОСПАС–САРСАТ определяются по измерениям времен прихода сигнала АРБ на спутники-ретрансляторы (это время имеет обозначение *TOA*) и их частот (*FOA*). Сигналы АРБ ретранслируются на наземные станции приема и обработки информации среднеорбитального сегмента (СПОИ-СО), где и происходит измерение величин *TOA* и *FOA*, а затем определяются координаты излучившего сигнал АРБ.

Теоретические и экспериментальные исследования [1, 2] показали, что высокой точности определения координат АРБ можно достичь, решая навигационную задачу по измерениям *FOA* высокой точности (с.к.о. 0,04–0,08 Гц). При этом ошибки такого определения будут меньше 1–2 км, с вероятностью $\geq 95\%$, что лучше требуемой точности (5 км с вероятностью 95% [3]) в 2,5–5 раз.

Для получения такой точности решения навигационных задач необходимо использовать не менее трех спутников-ретрансляторов при определении координат неподвижного радиобуя и в общем случае не менее шести спутников-ретрансляторов, расположенных не менее чем в трех разных орбитальных плоскостях, для определения координат АРБ, движущихся под влиянием течений, ветров и морской качки [1].

Во время проектирования российских СПОИ-СО по соображениям экономии затрат было принято решение о создании четырехканальной станции, способной принимать сигналы только от четырех спутников-ретрансляторов. Для обеспечения приема сигналов АРБ как минимум от 6 КА предполагалось использовать обмен измерениями с другими (российским и зарубежными) СПОИ-СО.

На сегодняшний день первая российская СПОИ-СО, расположенная в г. Москве и находящаяся после изготовления в 2013 г. на этапе отработки, по результатам международных испытаний «Демонстрация и оценка» СССПС на фазе II показала высокие, соответствующие проектным точностные характеристики при определении координат неподвижных радиобуев [2]. Достигнутые точностные характеристики оказались лучше требуемых в 2,5–5 раз и значительно (более чем в 5 раз)

лучше, чем точности, полученные всеми другими зарубежными СПОИ-СО.

При определении координат морских буев, находящихся в движении, ввиду отсутствия необходимого количества измерений от разных КА использовались только измерения *TOA*, что привело к значительному ухудшению точности. Ошибки определения достигали 10–15 км и даже больше.

Низкая точность определения координат морских АРБ на московской СПОИ-СО, как следует из вышеизложенного, объясняются недостаточным количеством спутников-ретрансляторов, сигналы от которых одновременно может принимать эта СПОИ-СО (только 4 вместо необходимых 6).

Обмен измерениями с зарубежными СПОИ-СО для получения необходимого количества измерений и точного измерения координат движущихся АРБ гораздо менее эффективен ввиду низкой точности измерения *FOA* на них. Кроме того, обмен измерениями с зарубежными СПОИ-СО не является надежным источником данных, так как согласно спецификациям КОСПАС–САРСАТ он является опциональной функцией и не обязателен к исполнению [3].

Решение навигационной задачи с помощью измерений от среднеорбитального и геостационарного сегментов

В данной статье предлагается новый способ решения задачи определения координат движущихся буев с требуемой точностью. Суть этого способа заключается в том, что при решении навигационной задачи на СПОИ-СО кроме измерений, полученных от четырех каналов этой СПОИ-СО, дополнительно используются еще и измерения сигналов АРБ, ретранслированные геостационарными ИСЗ, оснащенными ретрансляторами КОСПАС–САРСАТ, и принятые станциями приема информации аварийных буев (СПИАБ). Хотя измерения *FOA* от геостационарных КА не могут непосредственно помочь определить координаты АРБ (т.к. геостационарный КА практически



Рис. 1. Зона обслуживания 4-антенной СПОИ-СО, дополненной двумя геостационарными каналами, при работе с медленно подвижными АРБ

неподвижен относительно Земли и движение КА не вызывает значительного доплеровского сдвига частоты), они помогают определить скорость АРБ, поскольку именно скорость АРБ в этом случае вызывает доплеровское смещение частоты. Таким образом, при решении навигационной задачи по измерениям FOA для определения 6 неизвестных параметров (долготы, широты, 3 компонентов скорости и неизвестной частоты излучения) требуются как минимум 3 измерения от среднеорбитальных КА и еще как минимум 3 измерения от среднеорбитальных или геостационарных КА.

В аппаратной части такое решение требует затрат только на дооснащение СПИАБ аппаратурой измерения частоты и времени прихода сигналов от геостационарного КА.

Для проверки целесообразности использования измерений от геостационарных спутников-ретрансляторов было проведено компьютерное моделирование, в котором 4-антенная московская СПОИ-СО использовала измерения от двух станций СПИАБ, принимавших данные с геостационарных КА «Электро-Л» № 1 (14,5 з. д.) и КА «Электро-Л» № 2 (76,0 в. д.). Результаты этого моделирования показаны на рис. 1.

Цветными областями на рисунке отмечена получившаяся зона обслуживания, разным цветом соответствуют разные точности определения координат, значками спутников отмечены КА «Электро-Л» № 1 и КА «Электро-Л» № 2, черными линиями отмечена зона радиовидимости этих аппаратов, антенной — СПОИ-СО и 2 станции СПИАБ, расположенные в г. Москве.

Доработки СПИАБ и СПОИ-СО, необходимые для реализации и отработки предлагаемого способа

В предыдущем разделе показана эффективность дополнения измерений, полученных московской СПОИ-СО с четырьмя антеннами, измерениями сигналов АРБ, ретранслированных как минимум двумя геостационарными КА. Для реализации этого решения на данный момент имеются почти все сложные и дорогие средства:

- геостационарные КА «Электро-Л»:
- № 1 — будет переведен в точку стояния $14,5^\circ$ з. д.;
- № 2 — находящийся в точке стояния 76° в. д.;
- № 3 — будет выведен на орбиту в точку стояния 165° в. д.;
- геостационарные КА «Луч-5»:
- «Луч-5А» — находящийся на орбите в точке стояния 167° в. д.;
- «Луч-5В» — находящийся на орбите в точке стояния 95° в. д.

Все эти КА имеют ретрансляторы сигналов АРБ КОСПАС–САРСАТ;

- московская станция приема информации аварийных буев (СПИАБ), введенная в эксплуатацию в составе российского геостационарного сегмента системы КОСПАС–САРСАТ в 2013 г. и успешно выполняющая свои функции совместно с КА «Электро-Л» № 1;
- еще 4 СПИАБ, установленные в городах Москве, Железногорске и Хабаровске (2 комплекта) для работы с КА «Электро-Л» № 2, «Электро-Л» № 3, «Луч-5А» и «Луч-5В».

Для реализации предлагаемого способа эти СПИАБ должны быть доработаны для того, чтобы они могли производить измерения *FOA* и *TOA*. Реализовать такую доработку можно без сложной доработки аппаратуры и программ СПИАБ, однако потребуется дооснащение приемниками, используемыми в СПОИ-СО (АЦПРМ-СО) и малонаправленными антеннами для приема сигналов от навигационных спутников специальным «навигационным» (вторым) каналом этих приемников, а также

проведением необходимой доработки программного обеспечения.

Кроме перечисленных доработок, для реализации предлагаемого способа повышения точности определения координат движущихся буев необходимо решить еще две технические задачи:

- оперативное измерение и учет при обработке мгновенных значений частот гетеродинов (опорных генераторов) ретрансляторов сигналов АРБ на геостационарных КА;
- достаточно точное знание параметров орбит геостационарных КА в реальном масштабе времени.

Для проверки возможности разрешения этих задач был проделан эксперимент. Посылки АРБ, полученные с московского СПИАБ следящим за геостационарным КА «Электро-Л» № 1, были откалиброваны по французскому орбитографическому бую (номер бую 9C634E2AB509240), обладающему высокой стабильностью частоты излучаемого сигнала и времени излучения. После калибровки были проанализированы измерения *FOA* бую с номером BBBF0DEE6437320, находящегося в г. Гонконге. Как описано в [1], анализ целесообразно производить по разностям измерений от двух КА. На рис. 2 показан пример ошибок разностей измерений частоты (с учтенным доплеровским смещением частоты, вызванным движением КА) от спутников-ретрансляторов «Электро-Л» № 1 и GPS № 12 (среднее значение составило 0,043 Гц, с. к. о. — 0,118 Гц).

Таким образом, проведенный эксперимент показывает принципиальную возможность использования измерений от геостационарных спутников-ретрансляторов для решения навигационной задачи для медленно подвижных АРБ в среднеорбитальном сегменте КОСПАС–САРСАТ.

Выводы

Одним из путей повышения точности определения координат подвижных АРБ в среднеорбитальном сегменте КОСПАС–САРСАТ является использование дополнительных измерений частоты (*FOA*) аварийного радиобуя, получаемых станциями СПИАБ от геостационарных спутников КА «Электро-Л» № 2, «Электро-Л» № 3, «Луч-5А»

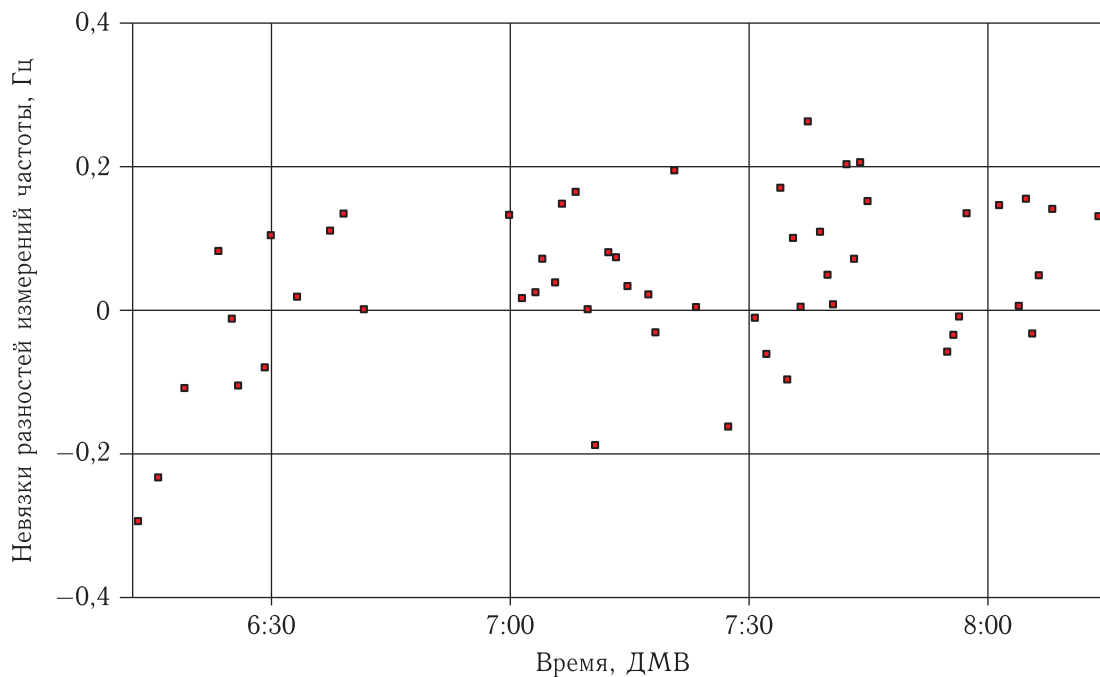


Рис. 2. Невязки разностей измерений FOA от «Электро-Л» № 1 и GPS № 12, 22.10.2015

и «Луч-5В». Такой способ может позволить без больших материальных затрат использовать материально технический задел российских геостационарных станций для повышения точности определения координат и расширения зоны обслуживания аварийных радиобуев российского среднеорбитального сегмента системы КОСПАС–САРСАТ.

Список литературы

1. Антонов Д.В, Архангельский В.А., Белоглазова Н.Ю. Точность определения координат аварий-

ных радиобуев по измерениям частот и времен прихода сигналов этих буев на космические аппараты среднеорбитального сегмента системы КОСПАС–САРСАТ // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2016, т. 10, № 1. С. 62–67.

2. Антонов Д.В., Федосеев А.В. Экспериментальные исследования точности определения координат аварийных радиобуев в среднеорбитальном сегменте КОСПАС–САРСАТ // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2016, т. 10, № 11. С. 22–27.
3. COSPAS–SARSAT MEOLUT performance specification and design guidelines // C/S T.019, Issue 1, December 2015.