

УДК 621.396.7

Экспериментальная оценка точности определения координат медленно подвижных радиобуев в среднеорбитальном сегменте КОСПАС–САРСАТ

Д. В. Антонов

АО «Российские космические системы»

e-mail: antonov_dv@spacecorp.ru

Аннотация. В настоящее время в рамках программы КОСПАС–САРСАТ осуществляется экспериментальная фаза «Демонстрации и оценки», предназначенная для определения основных эксплуатационных характеристик разворачиваемой среднеорбитальной спутниковой системы поиска и спасания.

В статье приведены экспериментальные результаты определения координат медленно подвижного аварийного радиобуя (АРБ) с помощью станции приема и обработки информации среднеорбитального сегмента (СПОИ-СО) системы КОСПАС–САРСАТ, оборудованной 4, 6 или 12 антеннами.

Приведенные результаты подтверждают сделанные ранее теоретические выкладки и результаты численного моделирования, согласно которым СПОИ-СО, оборудованная 4 антеннами, не может определять координаты медленно подвижных АРБ с требуемой точностью 5 км в 95 % случаев, в то время как измерений от 6 спутников-ретрансляторов (у СПОИ-СО должно быть не менее 6 антенн) достаточно для выполнения требований по точности независимого определения координат медленно подвижных АРБ.

Ключевые слова: КОСПАС–САРСАТ, СССРС, СПОИ-СО, «Демонстрация и оценка», навигационная задача, экспериментальная оценка, подвижные АРБ

Experimental Evaluation of the Slow Moving Beacon Location Accuracy in the Middle Earth Orbit Segment of the COSPAS–SARSAT System

D. V. Antonov

Joint Stock Company "Russian Space Systems"

e-mail: antonov_dv@spacecorp.ru

Abstract. The COSPAS–SARSAT "Demonstration and Evaluation" phase is being performed. Its purpose is to determine the maintenance characteristics of the Middle Earth Orbit Search and Rescue System (MEOSAR) being developed at present.

This article shows the experimental results of a slow moving EPIRB obtained at the Middle Earth Orbit Location User Terminal (MEOLUT) equipped with 4, 6, and 12 antennas.

These results match the theoretical conclusions and mathematical simulations made earlier: the MEOLUT with four antennas cannot locate slow moving beacons with the specified quality (5 km in 95 %). Meanwhile, the measurements from six satellites (MEOLUT should have at least six antennas) are sufficient to meet the accuracy requirements for slow moving beacons.

Keywords: COSPAS–SARSAT, MEOSAR, MEOLUT, Demonstration and Evaluation, locating, experimental results, moving EPIRBs

Введение

Как было показано в [1], при использовании измерений частоты для независимого от ГНСС определения координат на станции приема и обработки информации в среднеорбитальном сегменте КОСПАС–САРСАТ, в отличие от низкоорбитального сегмента, наличие даже небольшой скорости у АРБ может приводить к большим и непредсказуемым ошибкам, если эта скорость не учитывается. Как правило, АРБ имеет собственную скорость, находясь на водной поверхности под действием течений и ветра, при этом его скорость не превышает 5 м/с. В дальнейшем под подвижными будут подразумеваться АРБ, которые перемещаются со скоростью не более чем 5 м/с (18 км/ч).

Так как именно морские АРБ составляют большую часть парка всех радиобуев [2] и, кроме того, в перспективе ожидается внедрение нового типа авиационных буев, активируемых в полете (ELT-DT), проблема подвижных АРБ приобретает огромное значение для среднеорбитальной спутниковой системы поиска и спасания (СССПС).

В [1] показывается, что независимое определение координат подвижных АРБ по измерениям частот принятых сигналов (*FOA* — frequency of arrival) возможно при наличии измерений не менее чем от 6 спутников-ретрансляторов, принятых от одной и той же посылки АРБ. При решении навигационной задачи по измерениям времен прихода сигналов (*TOA* — time of arrival) требуются измерения от одной и той же посылки АРБ, принятой не менее чем через 3 спутника-ретранслятора.

При достижимых точностях измерений *TOA* (с. к. о. = 25 мкс) и *FOA* (с. к. о. = 0,08–0,20 Гц) на СПОИ-СО точность определения координат по измерениям *TOA* оказывается значительно ниже, чем при использовании измерений *FOA* [1]. Как показало математическое моделирование, результаты которого приведены в [3], СПОИ-СО, оборудованная 4 антеннами, не способна определять координаты подвижных АРБ по измерениям *TOA* с требуемой точностью 5 км в 95 % случаев ни в какой зоне, в то время как СПОИ-СО, оснащенная 6 антеннами, способна определять координаты как неподвижных, так и подвижных АРБ.

На данный момент в рамках международных испытаний «Демонстрация и оценка» СССПС экспериментальная проверка способности СПОИ-СО определять координаты АРБ с требуемой точностью была проведена только для неподвижных АРБ, находящихся на суше. Данная статья приводит результаты эксперимента по определению координат подвижного АРБ, который должен показать экспериментальное подтверждение или опровержение результатов теоретических исследований.

Описание эксперимента

Морской АРБ (номер 2065E84560FFBFF) был установлен на борту судна, перемещавшегося между 4 портами неподалеку от Бодо (Норвегия). АРБ был активирован с 3 по 6 мая 2016 г. Трасса этого АРБ, построенная по данным АИС, представлена на рис. 1. Измерения *TOA/FOA* были получены несколькими станциями СПОИ-СО, включая московскую СПОИ-СО и СПОИ-СО Европейского Союза (ЕС).

После завершения отправки посылок АРБ ЕС предоставил измерения СПОИ-СО вместе с высокоточными данными АИС о положении судна для проведения анализа возможности определять координаты подвижных АРБ с требуемой точностью.

На рис. 2, взятом из [2], представлены результаты по точности независимых решений в зависимости от собственной скорости АРБ, полученных на СПОИ-СО ЕС, а также с помощью низкоорбитального сегмента КОСПАС–САРСАТ. Зеленой линией на рисунке обозначена требуемая точность 5 км, число над точками означает количество решений с заданной скоростью. При определении координат АРБ считалось, что он неподвижен. Как видно, с увеличением скорости АРБ ошибка определения координат быстро растет, достигая величины десятков и сотен километров, при этом на точность решений, полученных с помощью низкоорбитального сегмента, собственная скорость АРБ влияет значительно меньше.

Чтобы оценить возможность СПОИ-СО с различным количеством антенн определять координаты подвижных АРБ, на основе измерений, полученных на 4-антенной СПОИ-СО в г. Москве



Рис. 1. Трасса АРБ, установленного на судне



Рис. 2. Результаты определения координат подвижного АРБ с помощью СПОИ-СО ЕС (синие точки), а также с помощью низкоорбитального сегмента КОСПАС-САРСАТ (красные точки)

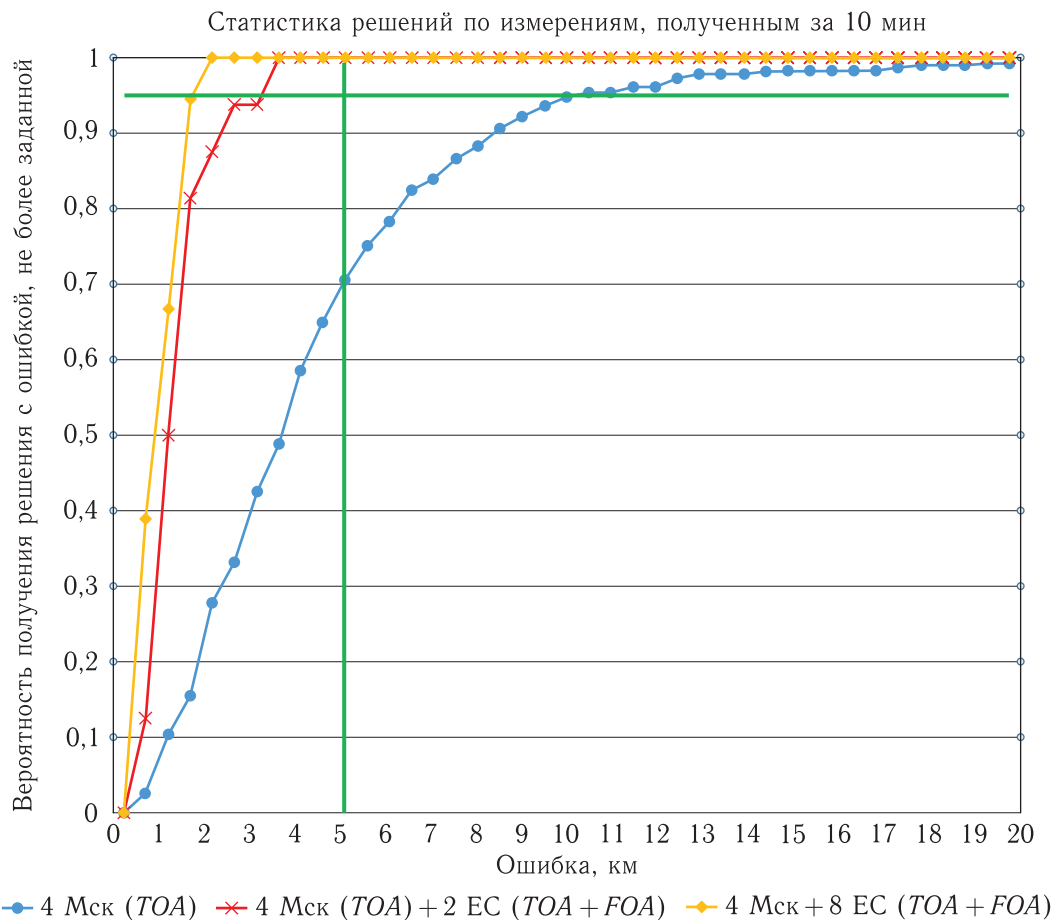


Рис. 3. График вероятности получения решения с ошибкой, не более заданной. Зелеными линиями показаны требуемые точность и вероятность независимого решения

и 12-антенной СПОИ-СО ЕС, были воспроизведены следующие сценарии.

- **Сценарий 1.** СПОИ-СО состоял из 4 антенн, для определения координат были использованы только измерения TOA . В качестве входных данных были взяты данные московской СПОИ-СО. В статистику попали только решения, полученные по измерениям от 4 космических аппаратов.
- **Сценарий 2.** Рассматривалась работа виртуальной СПОИ-СО, состоящей из 6 антенн. В качестве входных данных были взяты измерения московской СПОИ-СО (4 антенны) и данные СПОИ-СО ЕС (2 антенны). Координаты АРБ определялись по измерениям TOA/FOA . В статистику попали только решения, полученные по измерениям от 6 КА.

- **Сценарий 3.** Рассматривалась работа виртуальной СПОИ-СО, состоящей из 12 антенн. В качестве входных данных использовались данные TOA/FOA от 4 антенн московской СПОИ-СО и 8 антенн СПОИ-СО ЕС. В результате по одной излученной посылке АРБ было принято 6–11 измерений.

Точности измерений были приняты следующими: $\sigma_{TOA} = 25$ мкс, $\sigma_{FOA} = 0,08$ Гц (Москва), $0,20$ Гц (ЕС).

При решении навигационной задачи по данным TOA был рассмотрен весь период излучения посылок (с 2016.05.03. 11:00 по 2016.05.06. 12:50 UTC). При решении по измерениям TOA/FOA был использован более короткий интервал (с 2016.05.06 03:00 по 2016.05.06 06:00 UTC). Выбор таких интервалов связан с наличием большого количества аномальных измерений FOA

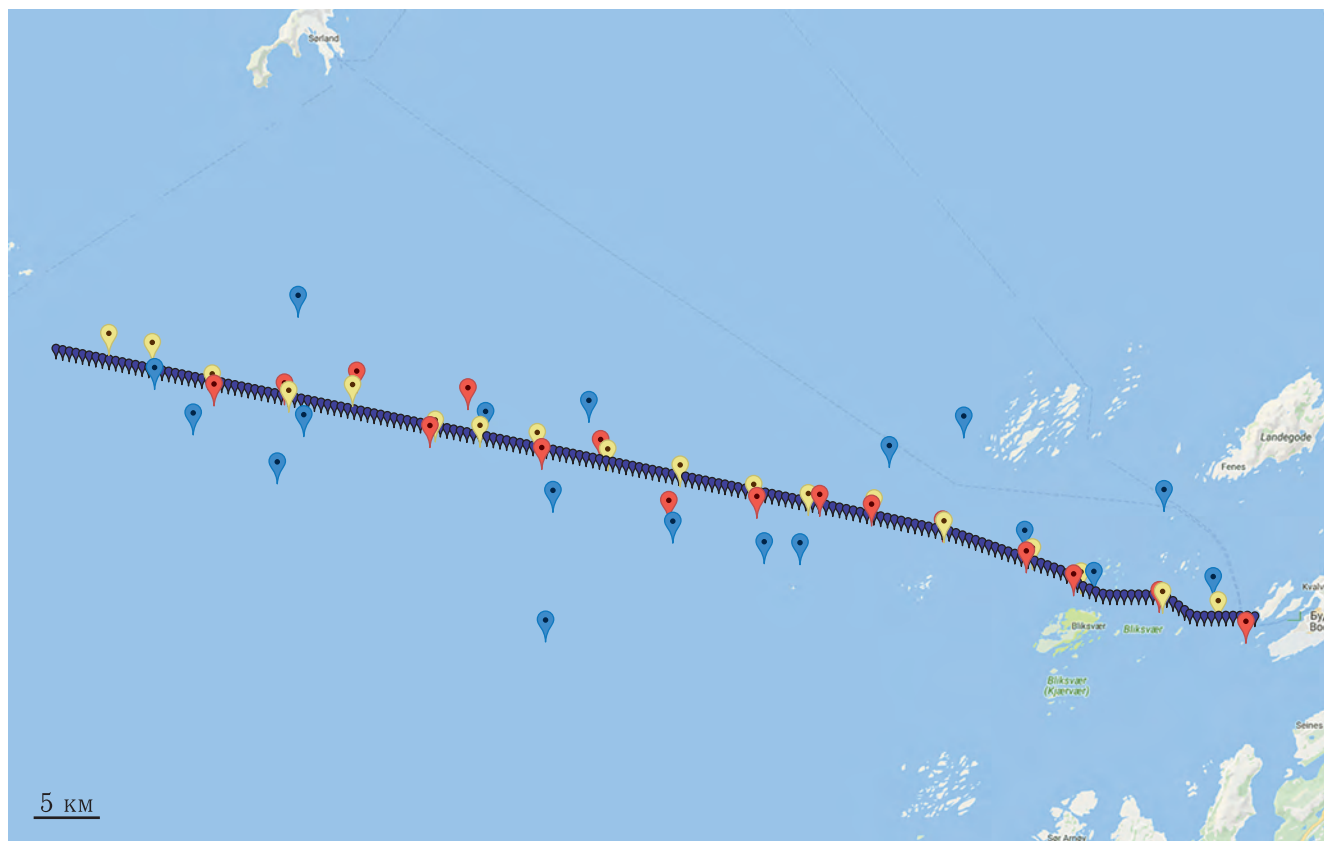


Рис. 4. Решения, полученные в разных сценариях, на карте. Голубые маркеры — сценарий 1 (4 антенны), красные маркеры — сценарий 2 (6 антенн), желтые маркеры — сценарий 3 (12 антенн). Маленькие синие маркеры — трасса судна на анализируемый период времени

Т а б л и ц а. Статистика определения координат медленно подвижного АРБ

				Решения по посылкам, полученным за 10 мин			
№ сценария	Количество антенн	Использованные данные	Количество КА в решении	Количество решений	Средний теоретический показатель точности (95 %), км	Разброс показателя точности (95 %)	Получившаяся ошибка в 95 % случаев
1	4	Москва (4)	4	360	11,33	5,80–28,96	10,13
2	6	Москва (4) + ЕС (2)($TOA + FOA$)	6	16	3,37	2,47–6,85	3,00
3	12	Москва (4) + ЕС (8)($TOA + FOA$)	6–11	18	1,28	0,90–2,12	1,78

в данных ЕС, на выбранном трехчасовом интервале аномальных значений не было.

Координаты АРБ определялись по измерениям, полученным за 10-минутный интервал, при этом решения были отнесены к середине 10-минутного интервала (это было сделано для того, чтобы минимизировать ошибку из-за изменения положения АРБ).

Результаты эксперимента

Результаты определения координат подвижного АРБ в зависимости от сценария приведены на рис. 3–4 и в таблице.

Как и ожидалось, ошибка определения координат подвижного АРБ по измерениям TOA

4-антенной СПОИ-СО оказалась хуже требуемых 5 км и составила около 10 км.

6- и 12-антенные СПОИ-СО выполнили требования по точности независимого определения координат. 12-антенная СПОИ-СО при этом показала значительный запас по точности (примерно в 3 раза). Следует отметить, если бы точность измерения *FOA* всех измерений была бы 0,08 Гц (как на московской СПОИ-СО), то точность определения координат оказалась бы еще лучше.

Выводы

По результатам проведенного эксперимента впервые была показана возможность СПОИ-СО определять координаты медленно подвижных АРБ с требуемой точностью, при этом было достаточно измерений *TOA/FOA* от 6 спутников-ретрансляторов. Точность определения координат, полученная на 4-антенной СПОИ-СО, оказалась хуже требуемой примерно в 2 раза.

Проведенный эксперимент по определению координат медленно подвижного АРБ показал соответствие со сделанными ранее теоретическими выводами и математическими моделированиями.

Список литературы

1. Антонов Д.В., Архангельский В.А., Белоглазова Н.Ю. Точность определения координат аварийных 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. Origin: C/S Secretariat. Results of the Survey of 406-MHz Beacon Production in 2015, and the Secretariat's Population Forecast to Year 2025. Интернет источник http://cospas-sarsat.int/images/cospas_sarsat/pdf_uploads/153/CSC-57-OPN-0407.pdf, дата обращения 04.04.2017.
3. Антонов Д.В. Оценка зоны обслуживания станции приема и обработки информации среднеорбитального сегмента КОСПАС-САРСАТ // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2017, т. 4, вып. 3. С. 24–34.
4. Origin: Norway/Spain. Slow-moving beacon location accuracy. LEOSAR-MEOSAR comparison // Интернет источник http://cospas-sarsat.int/images/cospas_sarsat/pdf_uploads/151/JC-30-Inf-29.pdf, дата обращения 04.04.2017.