

## Текущее состояние и основные характеристики геостационарных спутников-ретрансляторов системы КОСПАС–САРСАТ на базе космических аппаратов «Луч-5А» и «Луч-5В»

В. А. Архангельский<sup>1</sup>, Н. В. Дедов<sup>2</sup>, А. И. Литвин<sup>3</sup>, А. И. Останний<sup>4</sup>, В. И. Семин<sup>5</sup>,  
А. В. Федосеев<sup>6</sup>, М. Ю. Новиков<sup>7</sup>, В. А. Портнягин<sup>8</sup>, С. М. Роскин<sup>9</sup>, Н. А. Тестоедов<sup>10</sup>

<sup>1</sup>к. т. н., <sup>10</sup>д. т. н., член-корр. РАН

<sup>1–6</sup>АО «Российские космические системы», Москва, Россия

<sup>7–10</sup>АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М. Ф. Решетнева, г. Железногорск, Россия

e-mail: varhangelskij@gmail.com

**Аннотация.** В статье приводятся результаты летных испытаний российских геостационарных сегментов системы КОСПАС–САРСАТ, созданных на базе спутников-ретрансляторов (СР) «Луч-5А» и «Луч-5В» Многофункциональной космической системы ретрансляции (МКСР) «Луч» и земных станций приема информации аварийных радиобуев (СПИАБ).

**Ключевые слова:** КОСПАС–САРСАТ, поисково-спасательные работы, российский сегмент, спутник-ретранслятор, «Луч-5А», «Луч-5В»

## Current Status and Main Performance Characteristics of COSPAS–SARSAT Louch-5A and Louch-5V geostationary satellites

V. A. Arkhangel'skiy<sup>1</sup>, N. V. Dedov<sup>2</sup>, A. I. Litvin<sup>3</sup>, A. I. Ostanniy<sup>4</sup>, V. I. Semin<sup>5</sup>,  
A. V. Fedoseev<sup>6</sup>, M. Yu. Novikov<sup>7</sup>, V. A. Portnyagin<sup>8</sup>, S. M. Roskin<sup>9</sup>, N. A. Testoedov<sup>10</sup>

<sup>1</sup>candidate of engineering science,

<sup>10</sup>doctor of engineering science, corresponding member of the Russian Academy of Sciences

<sup>1–6</sup>Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russia

<sup>7–10</sup>ISS-Reshetnev Company, Zheleznogorsk, Russia

e-mail: varhangelskij@gmail.com

**Abstract.** The paper presents the results of the flight tests of the Russian geostationary segments of the COSPAS–SARSAT system built on the base of the relay satellites Louch-5A and Louch-5V of the multifunctional relaying space system (MRSS) Luch and ground stations for reception of the data from EPIRBs.

**Keywords:** COSPAS–SARSAT, search and rescue operations, Russian segment, relay satellite, Louch-5A, Louch-5V

## Введение

Геостационарные сегменты системы КОСПАС–САРСАТ (GEOSAR) начали создаваться разными странами мира (США, Европейским Союзом, Индией, Россией) в 90-е гг. прошлого века как дополнительный сегмент системы к эксплуатируемому низкоорбитальному сегменту системы КОСПАС–САРСАТ (LEOSAR). Системы GEOSAR значительно повышают оперативность обнаружения сообщений аварийных радиобуев (АРБ) по сравнению с существующими системами LEOSAR. За исключением полярных районов, максимальное время получения достоверного сообщения АРБ в системах GEOSAR не превышает 10 мин, что существенно меньше, чем в низкоорбитальном сегменте, где оно доходит до 1,5–2 ч.

Включение в состав АРБ навигационной аппаратуры потребителей (НАП) глобальных навигационных спутниковых систем (ГЛОНАСС, GPS) позволяет определять координаты АРБ с точностью до десятков метров. Если же в АРБ нет НАП, геостационарные спутники системы КОСПАС–САРСАТ позволяют оперативно оповещать о факте аварии, в то время как координаты терпящего бедствие АРБ будут получены с помощью системы LEOSAR с запаздыванием.

Геостационарный сегмент состоит из КА на геостационарной орбите с установленным на нем ретранслятором сигналов АРБ и приемных земных станций. Бортовой ретранслятор сигналов АРБ принимает аварийные послышки в диапазоне частот 406,0–406,1 МГц и ретранслирует их в диапазоне частот  $1544,5 \pm 0,05$  МГц на приемные земные станции, которые обнаруживают ретранслированные послышки АРБ и выделяют из них достоверную информацию.

Ретрансляторы сигналов АРБ системы КОСПАС–САРСАТ обычно устанавливаются на спутники другого целевого назначения в качестве дополнительной нагрузки. В настоящее время ретрансляторы сигналов АРБ геостационарных сегментов системы КОСПАС–САРСАТ установлены на российские КА «Луч-5А» (167° в. д.) и «Луч-5В» (95° в. д.) МКСП «Луч», КА «Электро-Л» № 2 (76° в. д.) и на зарубежные космические аппараты: Европейского Союза — КА серии «MSG» (3,4° з. д.;

0°; 9,5° в. д.), США — КА серии GOES (75° з. д.; 105° з. д.; 135° з. д.) и Индии — КА INSAT-3D (82° в. д.).

В качестве приемных земных станций для геостационарного наземного сегмента на базе КА «Луч-5А» и «Луч-5В» используются приемные земные станции СПИАБ, успешно прошедшие испытания с КА «Электро-Л».

В статье приведены результаты летных испытаний российских геостационарных сегментов системы КОСПАС–САРСАТ, созданных на базе спутников-ретрансляторов «Луч-5А» и «Луч-5В» и земных станций приема информации аварийных радиобуев (СПИАБ), а также результаты международных испытаний геостационарной спутниковой системы поиска и спасания на базе КА «Луч-5А».

## Зависимость основного функционального параметра геостационарной системы (КА + СПИАБ) от характеристик спутника-ретранслятора

Основной функциональный параметр геостационарного сегмента КОСПАС–САРСАТ — **вероятность получения достоверной посылки** ( $P_{\text{дост.}}$ ) от АРБ, находящегося в зоне видимости СР, за заданное время (не более 5 мин) [1].

При использовании СР радиолиния, по которой передается сигнал АРБ на СПИАБ, состоит из двух участков: АРБ–СР и СР–СПИАБ.

Общий вид земной станции СПИАБ, а также КА «Луч-5А» и «Луч-5В» представлены соответственно на рис. 1 и 2.

Вероятность  $P_{\text{дост.}}$  зависит от энергетического потенциала ( $H$ ), т. е. отношения мощности сигнала  $P_c$  посылки к спектральной плотности мощности шума  $N_{\text{ш}}$  на входе приемника СПИАБ, а также от параметров сигнала посылки: числа и длительности символов (бит) в посылке, типа и индекса модуляции, метода и параметров примененного кода для обнаружения и исправления ошибок. Эти параметры сигнала посылки в системе КОСПАС–САРСАТ были выбраны в 70-е гг. прошлого века при проектировании низкоорбитального сегмента этой системы [2], т. е. задолго до начала проектирования геостационарного сегмента, и к началу этого проектирования был создан достаточно



Рис. 1. СПИАБ, размещенная на пункте эксплуатации в районе г. Хабаровска

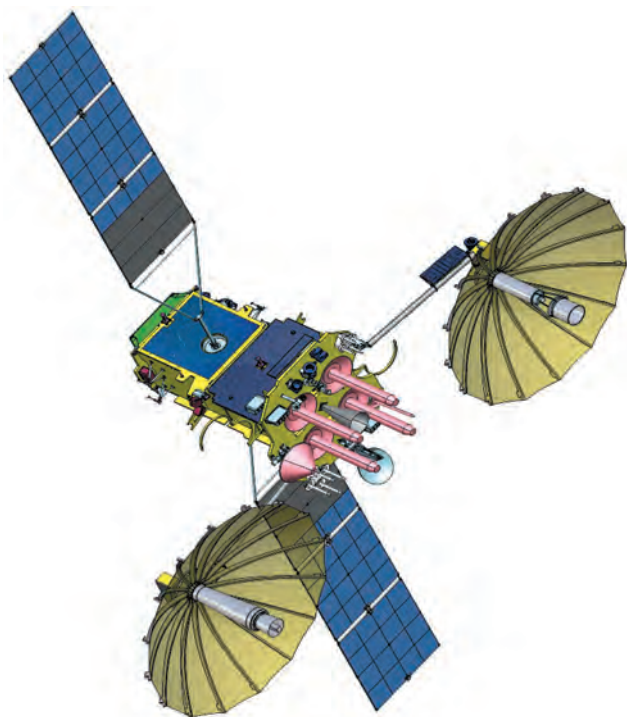


Рис. 2. Общий вид КА «Луч-5А», «Луч-5В»

большой парк АРБ, состоящий из нескольких сотен тысяч штук. Поэтому реальными путями получения требуемой высокой вероятности приема достоверного сообщения при создании геостационарных сегментов являются:

- повышение энергетического потенциала радиолиний АРБ–СР–СПИАБ;
- оптимизация обработки принятых СПИАБ сигналов, в том числе использование возможности накапливать энергию сигналов посылок посредством когерентного суммирования их.

В системе КОСПАС–САРСАТ для обнаружения и исправления ошибок используется код Боуза–Чоудхури–Хоквингема (БЧХ), содержащий 82 символа (бита), из которых 61 — информационный и 21 — проверочный, и исправляет до трех ошибок и обнаруживает четное число ошибок, равное или большее четырех [3].

Этот код не может обнаружить и тем более исправить нечетное число ошибок большее трех, и для любого нечетного числа ошибок более 3 будет

исправлять какие-либо 3 и ошибочно считать это сообщение достоверным. Чтобы исключить такие ложные сообщения, в КОСПАС-САРСАТ принято считать достоверными только те сообщения, в которых исправлено не более двух ошибок и не обнаружено более двух четных ошибок. Сообщение с исправленными тремя ошибками считается недостоверным.

При таком алгоритме декодирования кода БЧХ (82, 61) вероятность достоверного<sup>1</sup> сообщения равна

$$P_{\text{дост.}} = \sum_{k=0}^{82} C_{82}^k (1 - p_1)^{82-k} p_1^k, \quad (1)$$

где  $C_{82}^k$  — число сочетаний из 82 по  $k$ ;

$p_1$  — вероятность ошибки одного бита сообщения.

При оптимальной обработке принятого СПИАБ сигнала вероятность ошибки приема одного бита сигнала равна [4]

$$p_1 = 1 - \Phi \left( \sqrt{\frac{2E_1 n}{N_{\text{ш}}}} \right) = 1 - \Phi(L_E H \tau n), \quad (2)$$

где  $E_1 = l_E P_c \tau$  — энергия одного бита принятого сигнала;

$H$  — энергетический потенциал на входе приемника СПИАБ;

$\tau$  — длительность одного бита ( $\tau = 1/c$ , где  $c$  — скорость передачи информации от АРБ, равная 400 бит/с);

$L_E = m l_{\text{реал.}}$  — коэффициент потерь мощности сигнала, т.е. доля мощности сигнала, идущая на модуляцию его полезной информацией с учетом потерь на реализацию;

$m$  — доля мощности, идущая на модуляцию полезной информации от суммарного сигнала;

$l_{\text{реал.}}$  — потери на реализацию;

$N_{\text{ш}}$  — спектральная плотность мощности шума на входе приемника СПИАБ;

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{x^2}{2}} dx \text{ — интеграл вероятности;} \quad (3)$$

<sup>1</sup>С учетом, что принятое сообщение уже прошло проверку на наличие правильное битовой (15 бит) и кадровой (9 бит) синхронизации.

$n$  — число посылок АРБ, когерентно суммированных для получения достаточно малого числа ошибок в сообщении, чтобы оно прошло проверку на достоверность при декодировании кода БЧХ.

Принимая в формулах (1), (2), (3) значения коэффициентов потерь  $m = -1$  дБ, что соответствует потерям при фазовой модуляции с индексом 1,1 рад, принятой в АРБ [1];

$$l_{\text{реал.}} = -2 \text{ дБ,}$$

получим

$$\frac{E}{N_{\text{ш}}} = H - 10 \lg c + 10 \lg n = H - 26 + 10 \lg n. \quad (4)$$

Результаты расчетов по формулам (1)–(4) представлены на рис. 3.

Как следует из рисунка,  $P_{\text{дост.}}$  однозначно определяется значениями  $H$  и  $n$ .

Энергетический потенциал сквозной радиолинии АРБ-СР-СПИАБ можно рассчитать по следующей формуле:

$$\frac{1}{H_{\Sigma}} = \frac{1}{H_1} \left( 1 + \frac{N_{\text{пх1}}}{N_{\text{ш СР}}} \right) + \frac{1}{H_2} \left( 1 + \frac{P_{\text{пх}\Sigma}}{P_{\text{с прм СР}}} \right) + \frac{\Delta f_{\text{СР}}}{H_1 H_2}, \quad (5)$$

где  $H_1$  — энергетический потенциал радиолинии АРБ-СР;

$H_2$  — энергетический потенциал радиолинии СР-СПИАБ;

$\Delta f_{\text{СР}}$  — полоса пропускания ретранслятора на СР;

$N_{\text{ш СР}}$  — спектральная плотность мощности шумов на входе приемника СР;

$N_{\text{пх1}}$  — спектральная плотность мощности широкополосной помехи на входе приемника СР;

$P_{\text{пх}\Sigma}$  — суммарная мощность широкополосной помехи и узкополосных помех, действующих в полосе приема СР;

$P_{\text{с прм СР}}$  — мощность сигнала посылки АРБ на входе СР.

Формула (5) является некоторой модификацией формулы расчета энергетики радиолиний в спутниковых радиосистемах связи [5]. При отсутствии внешних помех эта формула приобретает хорошо известный вид:

$$\frac{1}{H_{\Sigma}} = \frac{1}{H_1} + \frac{1}{H_2} + \frac{\Delta f_{\text{СР}}}{H_1 H_2}. \quad (5a)$$



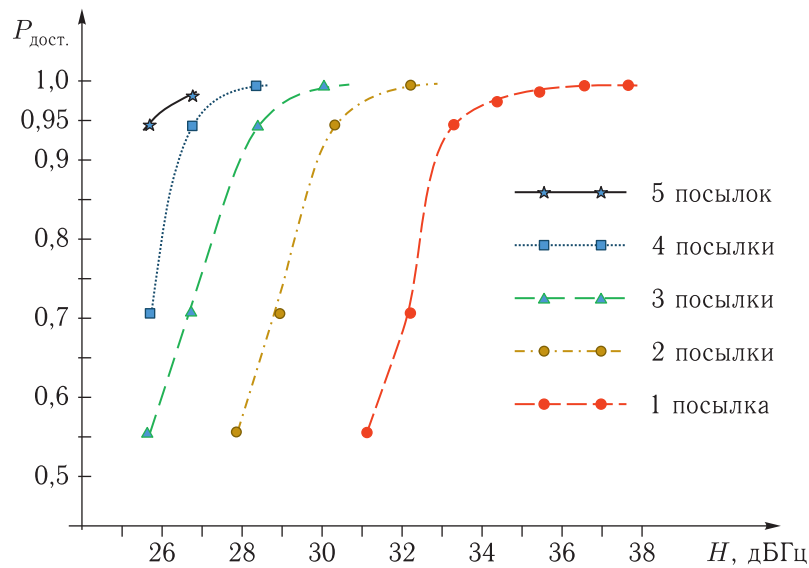


Рис. 3. Зависимость вероятности получения достоверного сообщения радиобуя от энергетического потенциала составной радиолинии АРБ–СР–СПИАБ и числа посылок в накоплении

Энергетические потенциалы радиолиний АРБ–СР ( $H_1$ ) и СР–СПИАБ ( $H_2$ ) рассчитываются по формулам:

$$H_1 = \text{ЭИИМ}_{\text{АРБ}} + (G/T)_{\text{СР}} + 20 \lg \left( \frac{\lambda_1}{4\pi D} \right) + L_{\text{м.л.}} + L_{\text{пол.}} - 228,6 \text{ дБГц}, \quad (6)$$

$$H_2 = \text{ЭИИМ}_{\text{СР}} + (G/T)_{\text{СПИАБ}} + 20 \lg \left( \frac{\lambda_2}{4\pi D} \right) + L_{\text{пот.}} - 228,6 \text{ дБГц}. \quad (7)$$

В этих формулах

$\text{ЭИИМ}$  — эквивалентная изотропно излучаемая мощность АРБ или СР соответственно;

$G/T$  — параметр качества приемной системы СР или СПИАБ;

$\lambda_1 = 73,88$  см — длина волны в линии АРБ–СР;

$\lambda_2 = 19,42$  см — длина волны в линии СР–СПИАБ;

$L_{\text{м.л.}} = -2,0$  дБ — потери из-за многолучевости на линии АРБ–СР;

$L_{\text{пол.}} = -4,1$  дБ — поляризационные потери в этой линии;

$L_{\text{пот.}} = -1$  дБ — дополнительные суммарные потери в радиолинии СР–СПИАБ.

Потери за счет распространения сигнала в атмосфере будем считать учтенными в дополни-

тельных суммарных потерях в радиолинии СР–СПИАБ.

Все величины, входящие в формулу (5), выражены в натуральных единицах, а в формулах (6) и (7) — в децибелах.

Анализ формулы (5) показывает, что максимально возможное значение  $H_\Sigma$  всегда меньше, чем  $H_1$ . Если выполняются условия

$$H_2 \gg H_1 \text{ и } H_2 \gg \Delta f_{\text{СР}}, \quad (8)$$

а помехи были достаточно малы, то есть

$$N_{\text{пх}} \ll N_{\text{ш СР}} \text{ и } P_{\text{пх}\Sigma} \ll P_{\text{с прм СР}} \cdot \frac{H_2}{H_1}. \quad (9)$$

и выполняются условия  $H_2 > 10H_1$ ,  $\Delta f_{\text{СР}} < 0,1H_2$ , то

$$H_\Sigma = H_1 - 1,1 \text{ дБГц}.$$

Если выполняются условия  $H_2 > 3H_1$ ,  $\Delta f_{\text{СР}} < 0,1H_2$ , то

$$H_\Sigma \cong H_1 - 3 \text{ дБГц}.$$

За исключением помехи, совпадающей по спектру с сигналом посылки, которая не может быть уменьшена никаким увеличением  $H_1$  или  $H_2$ , остальные неравенства в (8) и (9) усиливаются с ростом  $H_2$ . Отсюда следует, что для повышения

вероятности приема достоверного сообщения нужно увеличивать  $H_1$  и  $H_2$ .

Как следует из формул (6) и (7), основными параметрами, которые определяют  $H_1$  и  $H_2$  в геостационарном сегменте системы КОСПАС–САРСАТ и могут быть изменены при создании ее составных частей — СР и СПИАБ, являются  $(G/T)_{\text{СР}}$ ,  $\text{ЭИИМ}_{\text{СР}}$  и  $(G/T)_{\text{СПИАБ}}$ .

## Результаты летных испытаний геостационарных сегментов системы КОСПАС–САРСАТ на базе спутников-ретрансляторов «Луч-5А» и «Луч-5В»

Измерения  $G/T$  и определение ЭИИМ ретранслятора, а также расчет вероятности приема достоверного сообщения проводились по программе и методике КОСПАС–САРСАТ C/S T.013 [1].

До начала этих испытаний был определен параметр качества  $(G/T)$  московской СПИАБ, равный 9,8 дБ/К. В результате проведенных измерений были получены следующие результаты:

- эквивалентная изотропно-излучаемая мощность СР:  $\text{ЭИИМ} = 26,9$  дБмВт;
- параметр качества СР:  $G/T = -9,2$  дБ/К;
- ширина полосы пропускания ретранслятора по уровню 3 дБ:  $\Delta f_p = 80$  кГц.

Вероятности получения достоверных посылок, в зависимости от ЭИИМ тестового радиобуя (ЭИИМ<sub>ТРБ</sub>), приведены в табл. 1.

Требуемая стандартом C/S T.009 вероятность получения достоверного сообщения за 5 мин — 0,99, что выполняется для всех значений излучаемой мощности тестового АРБ. Требования к получению достоверного сообщения по первой излученной посылке в документах КОСПАС–САРСАТ не предъявляются, однако приведенные в табл. 1 значения  $P_{1\text{пос}} = 0,98$  для  $\text{ЭИИМ}_{\text{ТРБ}} = 29$  дБмВт и  $P_{1\text{пос}} = 0,9$  для  $\text{ЭИИМ}_{\text{ТРБ}} = 26$  дБмВт являются очень хорошими.

**Энергетический запас геостационарного сегмента КОСПАС–САРСАТ на основе КА «Луч-5А»** составляет следующее значение.

Таблица 1. Вероятности получения достоверного сообщения АРБ при накоплении энергии посылок за время 5 мин ( $P_{5\text{пос}}$ ) и по первой посылке ( $P_{1\text{пос}}$ )

| $\text{ЭИИМ}_{\text{ТРБ}}$ , дБмВт | $H_{\text{СРД}}$ , дБГц | с. к. о.<br>$H_{\text{СРД}}$ , дБГц | $P_{5\text{пос}}$ | $P_{1\text{пос}}$ |
|------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|
| 32,4                               | 42,2                    | 1,5                                 | 1,0               | 0,97              |
| 29,0                               | 37,2                    | 1,3                                 | 1,0               | 0,98              |
| 28,0                               | 36,3                    | 1,4                                 | 1,0               | 0,94              |
| 26,0                               | 34,9                    | 0,7                                 | 1,0               | 0,90              |

Примечание.  $H_{\text{СРД}}$  — значение среднего энергетического потенциала по всем излученным посылкам АРБ, измеренного на СПИАБ, а с. к. о.  $H_{\text{СРД}}$  — его среднее квадратическое значение ( $\sigma$ ).

Запас системы равен 11 дБ (37 дБмВт–26 дБмВт), где

– 37 дБмВт — номинальное значение  $\text{ЭИИМ}_{\text{ТРБ}}$  (C/S T.001 [2]);

– 26 дБмВт — наименьшее значение  $\text{ЭИИМ}_{\text{ТРБ}}$ , при котором обеспечивается заданная вероятность  $P \geq 0,99$  получения достоверного сообщения, установленное при испытаниях.

Судя по данным табл. 1, фактический запас системы еще больше. Документами КОСПАС–САРСАТ требования к энергетическому запасу не предъявляются, однако в них имеется рекомендация иметь этот запас по возможности большим, т. к. это позволит принимать аварийные сообщения при неудачных расположениях АРБ:

- при расположении оси антенны радиобуя близкой к направлению на СР;
- нахождении АРБ в лесах или в условиях другой сильной растительности;
- наличии около АРБ затеняющих или пероотражающих излучение предметов и т. п.

Приведенные результаты испытаний показывают весьма высокий уровень основных характеристик геостационарного сегмента на базе КА «Луч-5А». Для подтверждения этого утверждения рассмотрим табл. 2, в которой приведены основные характеристики действующих геостационарных сегментов разработки США, ЕС и России вместе с характеристиками сегмента на базе КА «Луч-5А».

Из таблицы видно, что по основному параметру  $(G/T)$ , определяющему вероятность достоверного приема аварийного сообщения, при плохой

Таблица 2. Сравнительные характеристики основных параметров геостационарных сегментов системы КОСПАС–САРСАТ

| Параметр \ Система                      | GOES, США | MSG, ЕС | «Электро-Л», Россия | «Луч-5А», «Луч-5В», Россия |
|---|-----------|---------|---------------------|----------------------------|
| $G/T$ , дБ/К                            | –18,5     | –21,3   | –16,5               | –9,2                       |
| $ЭИИМ_{ср}$ , дБмВт                     | 45,0      | 20,0    | 50,1                | 26,9                       |
| $\Delta f_p$ — полоса ретрансляции, кГц | 100       | 180     | 138                 | 80                         |

энергетике радиолинии ОРБ–СР, **СР «Луч-5А» значительно лучше** всех остальных КА, используемых в других геостационарных сегментах. По остальным параметрам КА «Луч-5А» соответствует требованиям и уровню других СР. Исключение составляет только малое значение  $ЭИИМ_{ср}$ . Правда, для СР MSG это значение еще меньше, но последний использует земные приемные антенны диаметром 9 м, а на СПИАБ всего 5 м. Влияние малой  $ЭИИМ$  на качестве геостационарного сегмента будет рассмотрено в следующем разделе.

### Оценка уровня и влияния помех на геостационарный сегмент КОСПАС–САРСАТ на базе КА «Луч-5А»

Исследование помех в диапазоне рабочих частот КОСПАС–САРСАТ 406,01–406,09 МГц и их влияния на работу геостационарного сегмента проводилось двумя способами:

- визуальным наблюдением и анализом частотно-временной панорамы принимаемого СПИАБ сигнала;

- измерением на достаточно протяженных отрезках времени уровня сигналов, принимаемых СПИАБ от ортографического радиобуя (ОРБ), размещенного на о. Кергелен (координаты 70° в. д., 50° ю. ш.) и постоянно, с периодом 30 с, излучающего достаточно мощные (с  $ЭИИМ \sim 38\text{--}40$  дБм) сигналы. При отсутствии помех энергетический потенциал принимаемых сигналов ОРБ должен быть 48–50 дБГц. Уменьшение фактически принимаемого энергетического потенциала ОРБ возникает из-за действия помех. По величине уменьшения фактически принимаемого энергетического потенциала ОРБ относительно энергетического потенциа-

ла ОРБ при отсутствии помех можно приближенно оценить суммарную мощность последних.

На рис. 4 и 5 представлены примеры частотно-временных панорам, принимаемых СПИАБ с КА «Луч-5А». По вертикальной оси на этих рисунках расположена частота, по горизонтальной — время (МСК). Уровень помех отображается цветом: синий — слабый, зелено-желтый — средний, красный — большой. Этот уровень измеряется в полосе элементарного фильтра быстрого преобразования Фурье  $\approx 10$  Гц (рис. 4 и рис. 5). Желтыми короткими линиями отображены принятые посылки радиобуев, желтой горизонтальной черточкой с той же желтой вертикальной сразу после горизонтальной обозначены принятые достоверные посылки.

Рис. 4 представляет частотно-временную панораму в дневное время (14 ч МСК 26.09.2012), а рис. 5 — в вечернее время (19 ч МСК 26.09.2012). Анализ этих рисунков показывает, что число и интенсивность помех в вечернее время значительно больше и многие посылки не могут быть достоверно выделены.

На рис. 6 представлена зависимость измеренного энергетического потенциала в радиолинии ОРБ–СР «Луч-5А» — СПИАБ за период времени с 00 до 23 ч 27.09.2012. Из рис. 6 видно, что в вечернее время (с 18 ч 30 м до 21 ч МСК) потенциал посылок был существенно (на 5–6 дБ) меньше, чем в остальное время суток. Это уменьшение может быть объяснено наличием в диапазоне частот, принимаемых ретранслятором КА «Луч-5А», достаточно мощных помех, не совпадающих по спектру с посылками ОРБ о. Кергелен

Суммарная мощность этих помех порядка –48 дБВт, т. е. на 6 дБ больше мощности собственных шумов ретранслятора. Аналогичные снижения потенциала наблюдались и в другие дни, примерно в те же часы. Такое уменьшение потенциала для

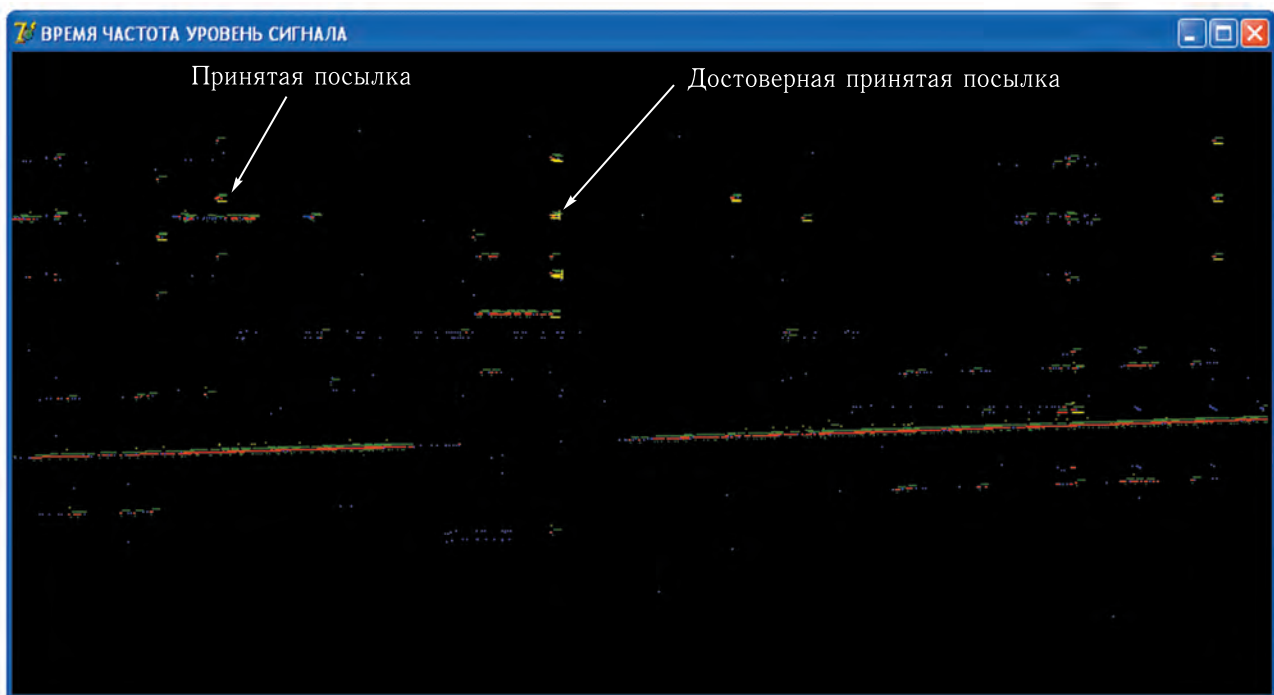


Рис. 4. Частотно-временная панорама спектра сигналов на входе процессора СПИАБ. 26.09.2012, 14 ч МСК



Рис. 5. Частотно-временная панорама спектра сигналов на входе процессора СПИАБ. 26.09.2012, 19 ч МСК

ОРБ, размещенного на о. Кергелен, из-за большой *ЭИИМ* никак не повлияло на вероятность правильного приема достоверных сообщений ОРБ о. Кергелен. Однако для аварийных буев, которые из-за неудачного расположения могут иметь малую *ЭИИМ* (29 дБмВт и меньше), снижение потенци-



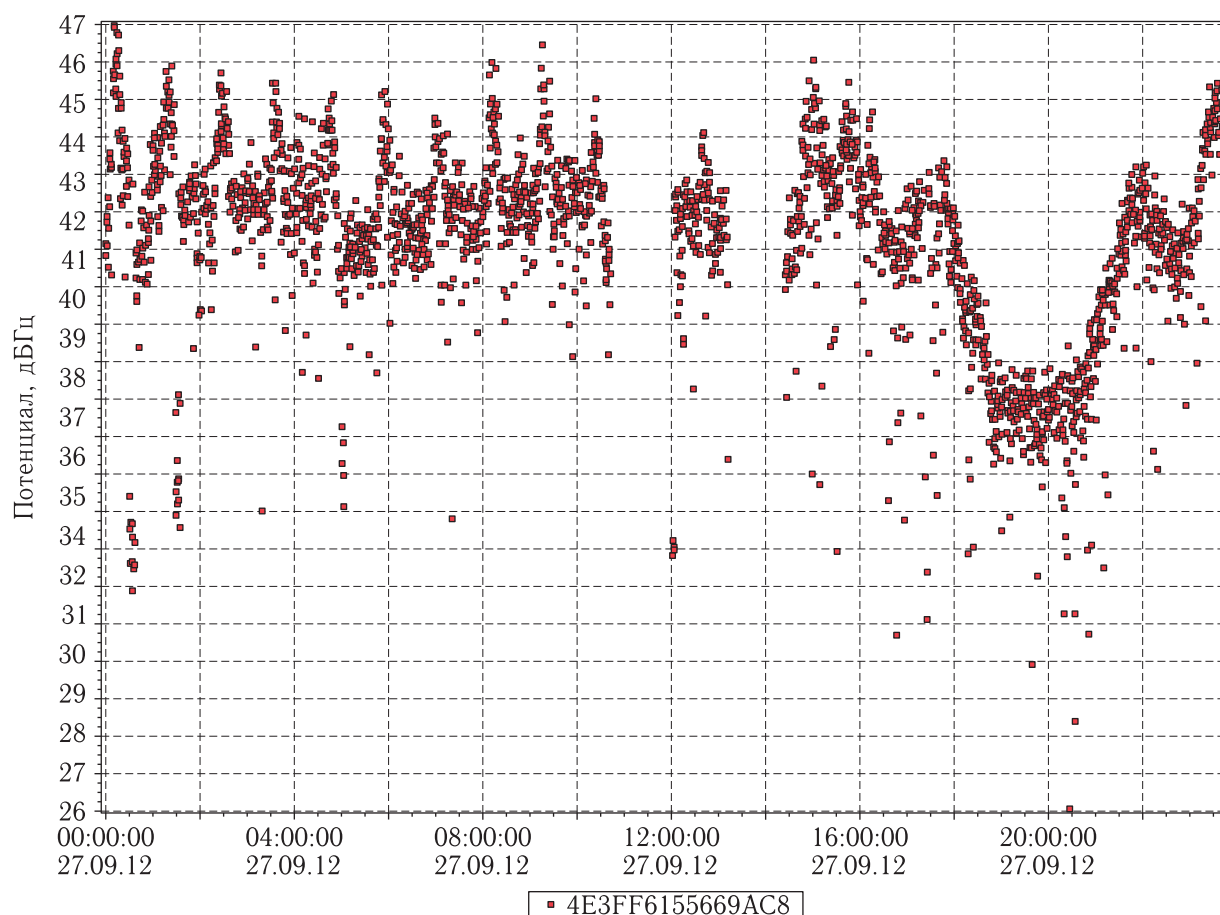


Рис. 6. Энергетический потенциал ОРБ о. Кергелен, ретранслированный КА «Луч-5А» 27.09.2012

ала за счет таких помех не позволит принимать достоверные посылки данных АРБ.

Поскольку увеличение доли мощности передатчика ретранслятора, отводимой на ретрансляцию сигналов КОСПАС–САРСАТ в изготовленном и выведенном на орбиту КА «Луч-5А», невозможно, было принято решение об увеличении  $G/T$  антенны СПИАБ. Это увеличение можно было сделать путем замены облучателя антенны, МШУ и входного фильтра. Соответствующие доработки СПИАБ были сделаны в 2013 г., и в 2014 г. два комплекта СПИАБ по доработанной документации были изготовлены для размещения в районах Хабаровска и Железногорска.

После монтажа и ввода в эксплуатацию СПИАБ в г. Хабаровске в ноябре 2015 г. были проведены испытания геостационарного сегмента, состоящего из этой СПИАБ и КА «Луч-5А», находящегося в орбитальной позиции  $167^\circ$  в. д., а также

испытания с этой же СПИАБ и КА «Луч-5В» в орбитальной позиции  $95^\circ$  в. д.

Проведенные испытания полностью подтвердили высокие технические характеристики СР «Луч-5А» и «Луч-5В», полученные при испытаниях в 2012 г. Значительного (на 5 и более децибел) снижения потенциала принимаемых посылок за счет помех, обнаруженного в 2012 г. при испытаниях СР «Луч-5А» с московской СПИАБ, на доработанной СПИАБ не обнаружено. Все характеристики геостационарного сегмента «Луч-5А» и СПИАБ в г. Хабаровске полностью удовлетворяют требованиям КОСПАС–САРСАТ Т.013 [1], и этот сегмент может быть представлен в Совет КОСПАС–САРСАТ для ввода в штатную эксплуатацию.

Для ввода в штатную эксплуатацию в системе КОСПАС–САРСАТ геостационарного сегмента «Луч-5В» и СПИАБ в г. Железногорске планируется в 2018 г. ввести в строй эту СПИАБ

и повторить испытания этого сегмента на соответствие требованиям C/S T.013.

## **Международные испытания геостационарной спутниковой системы поиска и спасения на базе КА «Луч-5А»**

В 2012 г. решением 57-й сессии Совета КОСПАС–САРСАТ были закреплены намерения национальных администраций Российской Федерации, Новой Зеландии и США провести испытания по оценке характеристик ГССПС на базе КА «Луч-5А» с целью обеспечения ввода бортового ретранслятора данного КА в систему КОСПАС–САРСАТ.

В 2017 г. после многочисленных уточнений сроков данные испытания были начаты. Цели испытаний:

- 1) оценка характеристик радиолинии КА «Луч-5А»–СПИАБ;
- 2) уточнение спецификаций и стандартов КОСПАС–САРСАТ в части требований к приемным станциям СПОИ, которые планируют осуществлять прием сигнала с КА серии «Луч».

Проведение испытаний осуществляется по программе и методике, приведенной в документе КОСПАС–САРСАТ — C/S R.020. В соответствии с данной программой Россия является координатором испытаний и ответственной за функционирование бортового ретранслятора на период испытаний, а также предоставляет наземные средства приема; Новая Зеландия обеспечивает прием на своей наземной станции, а США обеспечивает работу имитатора сигналов радиобуев, расположенного на Гавайских островах.

На начало июня 2017 г. проведены следующие из запланированных испытаний.

1. Испытание №1 «Пороговые характеристики приема, системный запас и эффективность обработки сообщений радиобуя».

2. Испытание №2 «Время, необходимое для формирования достоверного и подтвержденного сообщений».

3. Испытание №4 «Пропускная способность канала СПИАБ КА «Луч-5А».

По предварительной оценке результатов испытаний №1 и №2 можно сделать следующие выводы:

– запас системы в геостационарной спутниковой системе поиска и спасения (ГССПС), по данным российской и новозеландской СПИАБ, составляет не менее 11 дБ (разность между ЭИИМ стандартного радиобуя в 37 дБмВт и ЭИИМ АРБ при пороге приема сообщений станцией СПИАБ), что лучше на 3–6 дБ, чем запас в других ГССПС (MSG, «Электро-Л», GOES);

– среднее время получения достоверного сообщения в 95 % случаев не превышало 2 мин для всех уровней ЭИИМ радиобуя (от 24 до 37 дБмВт).

Следует отметить, что полученные предварительные результаты свидетельствуют о преимуществе оцениваемой радиолинии перед имеющимися в КОСПАС–САРСАТ (в части КА серии MSG, КА серии «Электро-Л» и КА серии GOES). Неоспоримым фактом также является то, что значительный вклад в повышенные характеристики геостационарного сегмента КОСПАС–САРСАТ на основе КА «Луч-5А» обеспечивается за счет ретранслятора КОСПАС–САРСАТ на КА «Луч-5А».

В ближайшее время после завершения испытаний отчет о них и рекомендации о вводе ретранслятора в систему КОСПАС–САРСАТ будут направлены на рассмотрение Объединенного комитета КОСПАС–САРСАТ.

## **Заключение**

Результаты летных испытаний российских геостационарных сегментов системы «КОСПАС–САРСАТ», созданных на базе спутников-ретрансляторов (СР) «Луч-5А» и «Луч-5В» Многофункциональной космической системы ретрансляции (МКСР) «Луч» и земных станций приема информации аварийных радиобуев (СПИАБ), проведенные в 2012–2013 гг., показали высокий уровень основных характеристик геостационарного сегмента на базе КА «Луч-5А».

Так, по одному из основных параметров —  $G/T$ , определяющему вероятность достоверного приема аварийного сообщения, КА «Луч-5А»

значительно (до 10 дБ) лучше КА, используемых в других геостационарных сегментах международной системы КОСПАС–САРСАТ (КА MSG, КА GOES, КА «Электро-Л»). Энергетический запас радиолинии (запас системы), т.е. разница между ЭИИМ номинального аварийного радиобуя, удовлетворяющего спецификациям КОСПАС–САРСАТ [2], и значения ЭИИМ, при котором СПИАБ еще может выполнять требования КОСПАС–САРСАТ, по вероятности выделения достоверного сообщения составила не менее 11 дБ, что на 3–6 дБ больше, чем для других СР системы КОСПАС–САРСАТ.

В 2017 г. были также проведены международные испытания по оценке ГССПС на базе КА «Луч-5А» с участием США и Новой Зеландии, предварительные результаты которых свидетельствуют об очевидном преимуществе КА «Луч-5А» перед имеющимися в КОСПАС–САРСАТ. Неоспоримым фактом также является то, что значительный вклад в повышение качества характеристик геостационарного сегмента КОСПАС–САРСАТ на основе КА «Луч-5А» обеспечивается за счет аппаратуры ретрансляции, имеющейся на борту КА «Луч-5А». В ближайшее время отчет об испытаниях и рекомендации о вводе КА в систему КОСПАС–САРСАТ будут направлены на рассмотрение Объединенного комитета КОСПАС–САРСАТ.

Таким образом, высокие тактико-технические характеристики СР «Луч-5А» и «Луч-5В» и зем-

ных станций, подтвержденные результатами национальных и международных испытаний, позволяют сделать вывод, что геостационарные сегменты в составе этих СР и их земных станций готовы к вводу в систему КОСПАС–САРСАТ.

Геостационарный сегмент в составе космического аппарата (КА) «Луч-5А» и СПИАБ, размещенной в г. Хабаровске, с технической точки зрения готовы к вводу в эксплуатацию в систему КОСПАС–САРСАТ в 2017 г. Ввод в эксплуатацию комплекса на базе КА «Луч-5В» будет осуществляться после введения в строй СПИАБ в г. Железнодорожск.

## Список литературы

1. COSPAS–SARSAT GEOSAR Space Segment Commissioning Standard // C/S T.013, Issue 1, Revision 2, October 2013.
2. Specification for COSPAS–SARSAT 406 MHz distress beacons // C/S T.001, Issue 3, Revision 15, October 2014.
3. Кларк Дж., мл., Кейп Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи. Пер. с англ. / Под ред. Б.С. Цыбакова. М.: Радио и связь, 1987.
4. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. М.: Сов. радио, 1986.
5. Спилкер Дж., мл. Цифровая спутниковая связь. Пер. с англ. / Под ред. В.В. Маркова. М.: Связь, 1978.