

Результаты оценки энергетических характеристик сигналов НКА ГЛОНАСС на радиотелескопе РТ-7,5

© Авторы, 2015

© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2015

И.Б. Власов – д.т.н., профессор, кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства», МГТУ им. Н.Э. Баумана, начальник отдела, НИИ «Радиоэлектронная техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана

В.А. Ефремов – ст. преподаватель, кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства», МГТУ им. Н.Э. Баумана, инженер, НИИ «Радиоэлектронная техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана

В.П. Михайлицкий – к.т.н., ст. науч. сотрудник НИИ, «Радиоэлектронная техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана

В.С. Рыжов – инженер, кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства», МГТУ им. Н.Э. Баумана

Представлены технические характеристики комплекса мониторинга спутниковых сигналов на базе радиотелескопа РТ-7,5. Предложен простой метод калибровки приёмного тракта с использованием приёмного радиозлучения Солнца. Приведены результаты измерений энергетических характеристик сигналов полной группировки спутников ГЛОНАСС в L-диапазоне. Также представлены результаты измерений энергетических характеристик сигналов бортовой аппаратуры межспутниковых измерений (БАМИ) в S-диапазоне и сигнала угломерного радиоканала спутника 701к в Ku-диапазоне.

Ключевые слова: глобальные навигационные спутниковые системы, ГЛОНАСС, радиотелескоп РТ-7,5, контроль качества сигналов, измерение мощности навигационного сигнала.

The article presents the technical characteristics of the satellite signals monitoring station based on radio telescope RT-7.5. A simple calibration method using solar radio emission is presented. The measurements results of power characteristics of signals full GLONASS constellation in the L-band are shown. The paper also gives the measurements results of power characteristics of signals onboard equipment inter-satellite measurements (BAMI) in the S-band. Also the measurements results of power characteristics of 701k goniometric channel signal in the Ku-band are presented.

Keywords: global navigation satellite systems, GLONASS, radiotelescope RT-7.5, signal quality monitoring, navigation signal power measurements.

В течение последних нескольких лет на радиотелескопе РТ-7,5, помимо основных исследований в коротковолновой части ММ-диапазона,

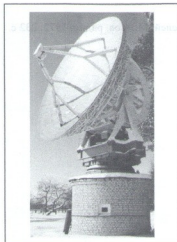


Рис. 1. Зеркальная антенна РТ-7,5



Рис. 2. Зеркальная антенна РТ-2

проводятся исследования, связанные с мониторингом сигналов спутниковых систем, в том числе и навигационных [1, 2]. Применение крупноапертурной зеркальной антенны с высоким усилением позволяет проводить высокоточную оценку энергетических характеристик навигационных спутниковых сигналов, а также, исследовать высокочастотную структуру этих сигналов. В настоящее время в состав комплекса мониторинга входят две полноповоротные зеркальные антенны: 1) РТ-7,5 – для приема сигналов в L- и S-диапазоне; 2) РТ-2 – для приема сигналов в Ku-диапазоне (рис. 1 и 2).

Технические характеристики комплекса для каждого рабочего диапазона представлены в табл. 1. Значение КИП для каждого диапазона равно, примерно, 0,6 говорит о правильной настройке антенной системы.

Таблица 1. Технические характеристики комплекса

Характеристики	Антенна			
	РТ-7,5		РТ-2	
Диаметр зеркала	7,75 м		2,1 м	
Монтировка	Полноповоротная азимутальная		Полноповоротная азимутальная	
Схема облучения	из первичного фокуса		из первичного фокуса	
Диапазон	L2	L1	S	Ku
Рабочий диапазон частот	1100...1700 МГц		2200...2225 МГц	13,6...14,8 ГГц
Поляризация	круговая		линейная	линейная/круговая
Коэффициент усиления антенны	38 дБ	40 дБ	43 дБ	48 дБ
КИП	0,62	0,59	0,62	0,64
Ширина ДН	2,2°	1,8°	1,2°	0,7°
Шумовая температура системы (УМ = 30°)	220 К	200 К	180 К	240 К

Одна из основных задач, стоящих перед системами спутникового мониторинга, – оценка энергетических характеристик сигналов КА. К таким характеристикам можно отнести: регистрируемую у поверхности Земли мощность на выходе изотропной антенны с согласованной поляризацией, эквивалентную изотропно излучаемую мощность (ЭИИМ), а также, бортовую излучаемую мощность. Очевидно, что для абсолютных оценок этих параметров необходима абсолютная калибровка радиотракта измерительной системы, подразумевающая оценку двух параметров: коэффициента усиления приёмной антенны G и полный коэффициент передачи приемного тракта $K_{\text{прм}}$.

Методы калибровки и измерений. Общепринятым методом калибровки систем спутникового мониторинга является *раздельная* оценка и контроль параметров G и $K_{\text{прм}}$ [3].

Методы оценки коэффициента усиления приёмной антенны G [4]

- Оценка коэффициента усиления по измеренной форме диаграммы направленности антенны.
- Оценка коэффициента усиления с применением эталонной антенны.
- Оценка коэффициента усиления антенны по измеренной шумовой добротности системы $G/T_{\text{ш}}$.
- С применением дискретных источников радиоизлучения известной спектральной плотности потока мощности (СППМ), и шумовой температуре системы $T_{\text{ш}}$, определяемой с использованием эталонных генераторов шума.

Методы контроля коэффициента передачи приемного тракта $K_{\text{прм}}$

- Оценка коэффициента передачи приемного тракта $K_{\text{прм}}$ с использованием пилот-сигнала.
- Оценка коэффициента передачи приёмного тракта $K_{\text{прм}}$ с применением анализатора цепей.

Как видно, все вышеперечисленные методы требуют применения дополнительного эталонного оборудования.

Предлагается более простой способ *совместного* определения калибровочных параметров **методом оценки произведения коэффициента усиления антенны на полный коэффициент передачи приёмного тракта $GK_{\text{прм}}$** . Суть метода состоит в регистрации на выходе приёмного тракта прироста мощности P в полосе частот Δf при наведении антенны на шумовой калибровочный астрономический источник с известной СППМ S , создаваемой у поверхности Земли. Выражение для оценки $GK_{\text{прм}}$ имеет вид:

$$GK_{\text{прм}} = \frac{8\pi f^2 P Y_g Q}{c^2 \Delta f S}, \tag{1}$$

где f – центральная частота; Y – потери в атмосфере Земли [5]; g – коэффициент, учитывающий соизмеримость угловых размеров диаграммы направленности и источника [6]; Q – потери наведения [5]; c – скорость света.

К сожалению, в рассматриваемых диапазонах частот при данной апертуре приёмных антенн РТ-2 и РТ-7,5, отклик на выходе при использовании стандартных эталонных дискретных источников шумового радионизлучения, таких как Кассиопа А, Лебедь А и др. очень мал, поэтому, для осуществления калибровки радиотракта использовалось солнечное радионизлучение.

Достоинством применения Солнца в качестве калибровочного источника является его высокая СППМ, соизмеримая со СППМ сигналов спутниковых систем. Основным недостатком использования Солнца для высокоточных калибровок является зависимость СППМ от текущей солнечной активности. Для оценки текущего значения СППМ предлагается использовать данные других систем, ведущих мониторинг солнечной активности в рассматриваемых диапазонах частот.

Одной из таких систем является сеть солнечных радиотелескопов RSTN, осуществляющая ежедневную оценку СППМ Солнца. Сеть состоит из четырех станций, равномерно расположенных по долготе, каждая из которых осуществляет измерение СППМ ежедневно вблизи местного полдня на восьми фиксированных частотах, в том числе в L-, S- и Ku-диапазоне. Погрешность абсолютной оценки СППМ одной станцией $\pm 5\%$ при уровне доверительной вероятности $P_d = 0,67$ [7]. Сеть может отслеживать основную медленно меняющуюся компоненту солнечного радионизлучения, связанную с солнечными активными областями (рис. 3). Данные RSTN открыты публикуются и доступны в интернете практически в реальном времени [8].

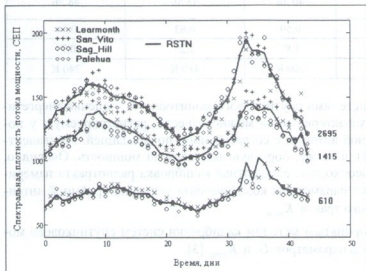


Рис. 3. СППМ радионизлучения Солнца в солнечных единицах потока (1 СЕП = 10^{-22} Вт/м²Гц) 3.12.2013 – 15.01.2014 на частоте 610, 1415 и 2695 МГц по данным RSTN

Относительная погрешность оценки $GK_{\text{прм}}$ находилась из оценки вклада ее основных составляющих (табл. 2).

Таблица 2. Вклад основных составляющих относительной погрешности оценки $GK_{\text{прм}}$ при уровне доверительной вероятности $P_d = 0,67$

Источник погрешности	Погрешность ϵ , % ($P_d = 0,67$)	Примечание
СППМ Солнца, S	$\pm 2,5$	по 4-м станциям RSTN
Потери в атмосфере, Y	$\pm 0,7$	спокойная атмосфера, угол места $\beta = 10^\circ$
Коэффициент, учитывающий соизмеримость угловых размеров диаграммы направленности и источника, g	± 1	
Потери наведения, Q	$\pm 0,5$	
Анализатор спектра, P	± 5	
Полная погрешность	$\pm 6\% (\pm 0,25 \text{ дБ})$	

После определения калибровочного параметра $GK_{\text{прм}}$ радиотракта возможна оценка энергетических характеристик сигналов КА. Мощность сигнала на выходе изотропной антенны с согласованной поляризацией $P_{\text{на}}$ в дБВт может быть найдена как:

$$P_{\text{на}} = P - GK_{\text{прм}} + k_{\text{кан}}, \quad (2)$$

где P – прирост мощности на выходе приемного тракта в заданной полосе частот – канальная мощность, дБВт; $GK_{\text{прм}}$ – калибровочный параметр радиотракта, дБ; $k_{\text{кан}}$ – коэффициент пересчёта канальной мощности в полную, дБ.

ЭИИМ $P_{\text{ЭИИМ}}$ (дБВт)

$$P_{\text{ЭИИМ}} = P_{\text{на}} + L + Y - F_{\text{КА}}(\alpha), \quad (3)$$

где L – потери распространения в свободном пространстве, дБ; Y – потери в атмосфере, дБ; $F_{\text{КА}}(\alpha)$ – значение уровня нормированной диаграммы направленности бортовой антенны при надирном угле α , дБ.

Излучаемая бортовая мощность $P_{\text{КА}}$ (дБВт) может быть определена как

$$P_{\text{КА}} = P_{\text{ЭИИМ}} - G_{\text{КА}}, \quad (4)$$

где $G_{\text{КА}}$ – коэффициент усиления бортовой антенны, дБ.

Относительные погрешности оценки энергетических характеристик находились из оценки вклада их основных составляющих (табл. 3).

Таблица 3. Вклад основных составляющих относительных погрешностей оценки энергетических характеристик при уровне доверительной вероятности $P_{\alpha} = 0,67$

Источник погрешности	Погрешность ϵ , % ($P_{\alpha} = 0,67$)	Погрешность ϵ , дБ ($P_{\alpha} = 0,67$)	Примечание
Анализатор спектра, P	$\pm 5\%$	$\pm 0,2$ дБ	
Калибровочный параметр радиотракта, $GK_{\text{прм}}$	$\pm 6\%$	$\pm 0,25$ дБ	
Мощность на выходе изотропной антенны с согласованной поляризацией, $P_{\text{на}}$	$\pm 8\%$ ($\pm 0,3$ дБ)		
Уровень нормированной диаграммы направленности бортовой антенны, $F(\alpha)$ [4]	$\pm 6\%$	$\pm 0,25$ дБ	по четырем измерениям при различных α
ЭИИМ, $P_{\text{ЭИИМ}}$	$\pm 10\%$ ($\pm 0,4$ дБ)		по четырем измерениям при различных α
Коэффициент усиления бортовой антенны, $G_{\text{КА}}$ [4]	$\pm 12\%$	$\pm 0,5$ дБ	
Излучаемая бортовая мощность, $P_{\text{КА}}$	$\pm 16\%$ ($\pm 0,65$ дБ)		по четырем измерениям при различных α

Результаты измерений. В 2014 г. на RT-7,5 проводились исследования трех видов сигналов НКА ГЛОНАСС: сигнала угломерного радиоканала КА ГЛОНАСС-К № 701к в Ku-диапазоне (23.04 – 28.05 2014), сигналов полной группировки КА ГЛОНАСС-М в L1-, L2-диапазоне (3.06 – 14.07 2014) и сигналов бортовой аппаратуры межспутниковых измерений (БАМИ) КА ГЛОНАСС-М №№ 742 – 745 (19.03 – 19.05 2014). Все измерения проводились с использованием анализатора спектра Rohde & Schwarz FSH8. Регистрировалась канальная мощность P в полосе частот $\Delta f = 10$ МГц, примерно равной полосе излучения исследуемых сигналов по уровню первых нулей спектра. Значения коэффициентов пересчёта канальной мощности в полную $k_{\text{кан}}$ представлены в табл. 4.

Таблица 4. Значения коэффициентов пересчета канальной мощности в полную $k_{\text{кан}}$ для ширины полосы канала $\Delta f = 10$ МГц

Сигнал	$k_{\text{кан}}$, дБ
L2	0,24
L1	0,24
БАМИ (преамбула)	0,11
БАМИ (информационно-измерительный)	0,44
Угломерный радиоканал КА № 701к	0,44

Сигнал угломерного радиоканала КА ГЛОНАСС-К № 701к. Спектр сигнала угломерного радиоканала КА № 701к, зарегистрированный антенной РТ-2 представлен на рис. 4, где Δf – полоса разрешения анализатора спектра; N – количество усредненных спектров. На рисунке также представлен смоделированный спектр сигнала с двичной фазовой манипуляцией и тактовой частотой 5,11 МГц. Для сравнения на рис. 5 представлен спектр сигнала угломерного радиоканала КА № 701к, зарегистрированный антенной РТ-7,5.

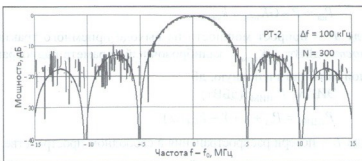


Рис. 4. Спектр мощности сигнала угломерного радиоканала КА № 701к, зарегистрированный антенной РТ-2

В табл. 5 даны оценки энергетических характеристик сигнала угломерного радиоканала КА № 701к по измерениям, проведённым на антенне РТ-2.

В ходе сеансов наблюдения КА № 701к был установлен факт эпизодической работы бортового передатчика аппарата в Кудиазоне. Во всех сеансах наблюдения зафиксировано отсутствие сигнала при углах места менее 30 градусов (как на антенне РТ-2 так и на антенне РТ-7,5). Кроме того, зарегистрирован собственно момент включения передатчика.

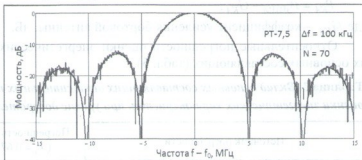


Рис. 5. Спектр мощности сигнала угломерного радиоканала КА № 701к, зарегистрированный антенной РТ-7,5

Кроме того, зарегистрирован собственно момент включения передатчика.

Таблица 5. Оценка энергетических характеристик сигнала угломерного радиоканала КА № 701к

Характеристика	Значение (уровень доверительной вероятности $P_x = 0,67$)
Мощность на выходе изотропной антенны с согласованной поляризацией ($\beta = 30^\circ$)	$-180 \pm 0,5$ дБВт
ЭНИМ	$24 \pm 0,5$ дБВт
Энергетический потенциал радиолинии ($\beta = 30^\circ$)	70 ± 1 дБГц
Излучаемая бортовая мощность	15 ± 3 Вт

Сигналы полной группировки КА ГЛОНАСС-М. Проводились исследования сигналов полной группировки спутников КА ГЛОНАСС в диапазоне L1 и L2 (в том числе находящихся в резерве или временно выведенных из системы). К сожалению, КА, на которых установлена аппаратура L3-диапазона не излучали в этом диапазоне в период проведения эксперимента.

Одновременно использовались три метода оценки энергетических характеристик: по измеренной канальной мощности (основной метод), по измеренной мощности сигнала на центральной частоте в полосе разрешения анализатора спектра, а также по записи высокочастотного сигнала цифровым регистратором с последующей постобработкой навигационного сигнала. Разность оценок бортовой излучаемой мощности тремя методами не превысила 0,5 дБ (для большинства измерений разность составила не более 0,2 дБ).

В ходе проведения эксперимента по сигналам полной группировки КА ГЛОНАСС были получены оценки значений калибровочного параметра $GK_{\text{прм}}$ для диапазона L1 и L2 для двух методов оценки энергетических характеристик анализатором спектра. Объём каждой из четырёх выборок – 14. Среднее квадратичное отклонение результата наблюдения для метода оценки по измеренной канальной мощности составило 0,2 дБ, а для метода оценки по измеренной мощности сигнала на центральной частоте составило 0,25 дБ. Среднее квадратичное отклонение результата наблюдения для каждого метода хорошо

согласуется с теоретической оценкой погрешности однократного определения $GK_{\text{прм}}$ при уровне доверительной вероятности $P_d = 0,67$ (см. табл. 2).

На рис. 6 и 7 представлены оценки полной мощности сигналов L1, L2 (сумма синфазной и квадратурной компоненты) на выходе изотропной антенны с согласованной поляризацией для 26 КА при различных углах места (всего 99 измерений). Пунктиром обозначен минимально допустимый уровень сигнала в соответствии с Интерфейсным контрольным документом (ИКД) ГЛОНАСС [9]. Можно видеть, что мощность сигнала КА №736 в диапазоне L2 ниже этого значения.

На рис. 8 представлена оценка полной бортовой излучаемой мощности сигналов L1 и L2 в зависимости от порядка вывода КА на орбиту. Бортовая мощность для группы КА, выведенных на орбиту недавно, имеет меньший разброс, чем для КА выведенных на орбиту значительно ранее.



Рис. 6. Полная мощность сигнала L1 на выходе изотропной антенны с согласованной поляризацией для 26 КА ГЛОНАСС

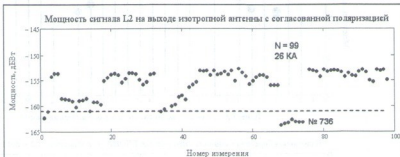


Рис. 7. Полная мощность сигнала L2 на выходе изотропной антенны с согласованной поляризацией для 26 КА ГЛОНАСС

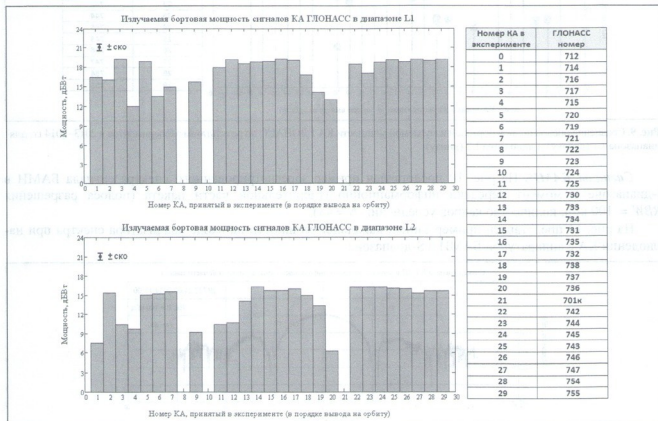


Рис. 8. Оценка полной бортовой излучаемой мощности в зависимости от порядка вывода КА ГЛОНАСС на орбиту для диапазона L1 (верх) и диапазона L2 (низ)

На рис. 9 представлено сравнение оценок полной бортовой излучаемой мощности по результатам экспериментов в 2013–2014 гг. для двух диапазонов. Полуширина маркера на графиках соответствует относительной погрешности при уровне доверительной вероятности $P_d = 0,67$ для однократного наблюдения. Заметно совпадение результатов почти для всех КА, за исключением нескольких. Наибольшую разницу имеет КА № 736, отмеченный ранее, полная бортовая излучаемая мощность которого в двух диапазонах уменьшилась примерно на 8 дБ.

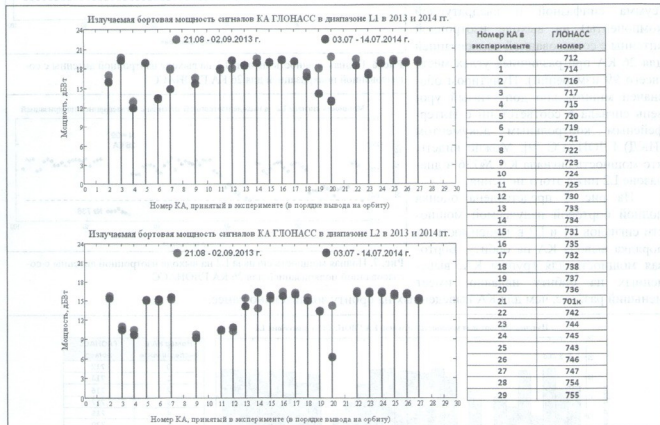


Рис. 9. Сравнение оценок полной бортовой излучаемой мощности КА ГЛОНАСС по результатам экспериментов в 2013–2014 гг. для диапазона L1 (вверху) и диапазона L2 (внизу)

Сигналы БАМИ. На рис. 10 представлен пример зарегистрированного спектра сигнала БАМИ в S-диапазоне в момент передачи информационно-измерительной части пакета (полоса разрешения $RBW = 100$ кГц, количество кадров усреднения $N = 43$).

На рис. 11 представлен пример записи канальной мощности на входе анализатора спектра при наблюдении КА с аппаратурой БАМИ в S-диапазоне.

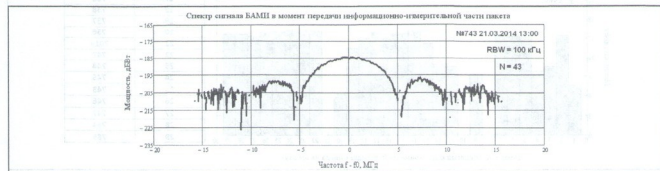


Рис. 10. Спектр мощности сигнала БАМИ в момент передачи информационно-измерительной части пакета

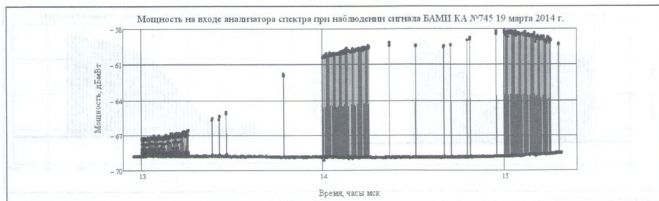


Рис. 11. Запись канальной мощности при наблюдении КА с аппаратурой БАМИ в S-диапазоне

На рис. 11 заметны три сеанса передачи пачки пакетов, привязанные к началу часа. Между основными сеансами передачи можно увидеть одиночные пакеты.

На рис. 12 представлена зависимость полной мощности сигнала БАМИ на выходе изотропной антенны с согласованной поляризацией в зависимости от угла места КА, построенная по записи, представленной на рис. 11.

Всего за время эксперимента был произведён 21 сеанс записи канальной мощности на входе анализатора спектра для 4 КА с аппаратурой БАМИ. По этим записям были построены зависимости коэффициента усиления бортовой антенны БАМИ от надирного угла (рис. 13 и 14). Пунктирной линией отображена номинальная зависимость коэффициента усиления бортовой антенны БАМИ от надирного угла [10]. Для КА № 743 наблюдается заметное отклонение формы бортовой диаграммы направленности от номинальной.

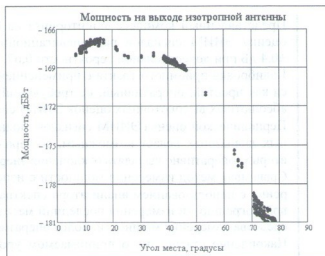


Рис. 12. Полная мощность сигнала БАМИ на выходе изотропной антенны с согласованной поляризацией в зависимости от угла места, построенная по записи, представленной на рис. 11

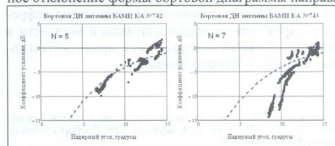


Рис. 13. Фрагменты бортовых диаграмм направленности антенн БАМИ КА № 742 и № 743

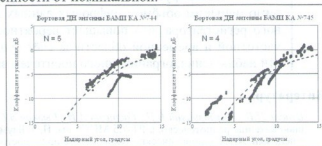


Рис. 14. Фрагменты бортовых диаграмм направленности антенн БАМИ КА № 744 и № 745

В ходе эксперимента было замечено кратковременное существенное anomальное снижение регистрируемой канальной мощности при наблюдении сигнала БАМИ КА №743: всего 2 события (рис. 15 и 16). Последующий анализ показал, что в эти моменты времени КА находился вблизи соединения с Солнцем. В этой точке орбиты происходит плановый разворот корпуса КА на орбите. Однако, не выясненной остаётся причина снижения принимаемой на земле мощности – снижение принимаемой мощности за счёт изменения положения электрической оси передающей антенны или снижение излучаемой бортовой мощности за счёт повышенного энергопотребления на борту во время разворота корпуса КА.

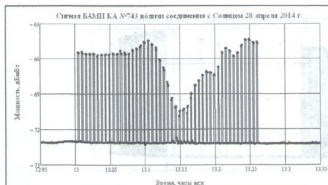


Рис. 15. Кратковременное снижение принимаемой мощности сигнала БАМИ КА № 743 вблизи соединения с Солнцем 28.05.2014 г.

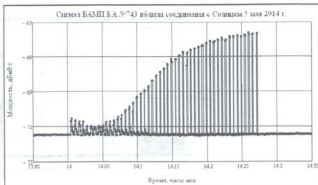


Рис. 16. Кратковременное снижение принимаемой мощности сигнала БАМИ КА № 743 вблизи соединения с Солнцем 5.05.2014 г.

Представленный комплекс мониторинга на базе радиотелескопа РТ-7,5 позволяет производить оценку ЭИИМ сигналов радионавигационных КА с погрешностью однократного измерения $\pm 0,4$ дБ при доверительной вероятности 0,67.

Калибровка приемного тракта с применением солнечного радиоизлучения может рассматриваться как простой, оперативный, не требующий дополнительной аппаратуры метод для проведения абсолютных высокоточных оценок ЭИИМ спутниковых сигналов.

Периодическая оценка ЭИИМ сигналов полной группировки КА ГЛОНАСС в различных частотных диапазонах делает возможным, во-первых, контролировать погрешность этой оценки, а во-вторых, оперативно выявлять отклонения энергетического потенциала линии КА – потребитель.

Сравнимая метод измерения мощности с использованием цифрового регистратора и метод измерения с использованием анализатора спектра можно сделать вывод, что при примерно одинаковой погрешности измерения последний метод, благодаря применению стандартного поверенного средства измерения мощности, более оперативен и надежен.

Накопление статистики о принимаемом уровне мощности сигналов КА при различных углах места позволяет оценить форму ДН бортовой антенны, что может быть использовано для повышения точности оценки ЭИИМ.

Применение штатного программного обеспечения анализатора спектра позволяет осуществлять запись регистрируемых спектров при сопровождении КА максимумом ДН антенны с несоизмеримо меньшим объемом цифровых данных для постобработки, в отличие от применения цифрового регистратора, что повышает вероятность обнаружения аномалий излучаемой мощности в частотной и временной области за счёт существенно большей потенциальной продолжительности наблюдения, ограниченного носителем записываемых цифровых данных.

Литература

1. Власов И.Б., Михайлицикий В.П., Гаврилов А.И., Рыжов В.С. Результаты наблюдения сигналов спутниковых систем с помощью антенны радиотелескопа РТ-7,5 МГТУ им. Н.Э. Баумана. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. Спец. вып. №7. Радиооптические технологии в приборостроении. 2012. С. 182–190.
2. Научно-технические серии. Серия «Радиосвязь и радионавигация». Вып. 3. Радионавигационные технологии / Коллективная монография / Под ред. А.И. Перова, И.Б. Власова. М.: Радиотехника, 2013. 162 с.
3. Tholert S., Erker S., Meurer M. GNSS Signal Verification with a High Gain Antenna – Calibration Strategies and High Quality Signal Assessment // ION 2009. International Technical Meeting, January 26–28 2009. Anaheim, CA
4. Фролов О.П., Васько В.П. Зеркальные антенны для земных станций спутниковой связи. М.: Горная линия – Телеком. 2008. 496 с.
5. Бартепьев В.А., Болотов Г.В., Быков В.Л. и др. Спутниковая связь и вещание: Справочник. Изд-е 3-е, перераб. и доп. / Под ред. Л.Я. Кантора. М.: Радио и связь. 1997. 528 с.
6. Кузьмин А.Д., Самолюкович А.Е. Радиоастрономические методы измерения параметров антенн. М.: Советское радио. 1965
7. Kennelly J.A., Cornelius D.W. Learmonth Solar Observatory // The Australian Physicist, 1983. V. 20. P. 276–280.
8. <http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/lists/radio.html>
9. ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Навигационный сигнал в диапазоне L1, L2. Редакция 5.1, 2008 г.
10. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2010. 800 с.

Радиолокация
и радиометрия

Методы и средства
оптоэлектроники
в радиофизике

Системы
радиоуправления

Антенны и техника СВЧ

Робототехника

Биомедицинская
электроника

Технологии
живых
систем

Новые
информационные
технологии

Нейрокомпьютинг

Нанотехнологии

Информационные
и измерительные
системы

Радионавигационные технологии



УДК 629.78
ББК 39.67
П 15

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СЕРИИ

Редакционный совет:

д.ф.-м.н., проф. О.В. Бешкий, акад. Ю.В. Гуляев, д.т.н., проф. А.Ю. Гринев, д.т.н., проф. Ю.Л. Козирацкий, д.т.н., проф. Г.С. Кондратенков, д.т.н., проф. А.В. Коренной, д.т.н., д.б.н. И.В. Матвейчук, д.т.н., проф. В.И. Меркулов, д.т.н., проф. А.И. Перов, к.б.н. А.В. Савельев, акад. А.С. Сигов, д.т.н. проф. М.С. Ярлык

Выпуск 4

Серия «Радиосвязь и радионавигация»

Рецензент:

докт. техн. наук, профессор *В.Н. Харисов* (ОАО «ВНИИР Прогресс»)

П 15 Радионавигационные технологии. Сб. статей. / Под ред. *А.И. Перова*. – М.: Радиотехника, 2015. – 144 с.: ил. Научно-технические серии. Вып. 4. Серия «Радиосвязь и радионавигация». (Авторы указаны на с. 144)

ISBN 978-5-93108-096-3

Отражены теоретические вопросы спутниковой навигации, технологии перспективной системы ГЛОНАСС, показаны результаты экспериментальных исследований технологий спутниковой навигации; рассмотрены вопросы мониторинга навигационных сигналов; даны приложения технологий спутниковой навигации в различных областях. Книга подготовлена по материалам научно-технической конференции «Радионавигационные технологии в приборостроении» (сентябрь 2014 г.).

Для научных работников и инженеров, а также преподавателей и студентов вузов.

УДК 629.78
ББК 39.67

ISBN 978-5-93108-096-3

© Авторы, 2015

© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2015