



УДК 621.396.6

А. Л. Асеев

*Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

В. М. Владимиров

Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия

Ю. Л. Фатеев

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

А. И. Филиппов

*Сибирский государственный аэрокосмический университет
им. акад. М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия*

В. Ф. Шабанов, В. Н. Шепов

Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия

ТОЧНОСТЬ УГЛОМЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПО СИГНАЛАМ ГЛОНАСС/GPS

Разработаны трехдиапазонные (L1/L2/L3) антенные модули АМ415, состоящие из целевой полосковой антенны вытекающей волны с правой круговой поляризацией и малошумящего усилителя. Исследованы их точностные характеристики. Показано, что при измерении в частотном диапазоне L1 по созвездию ГЛОНАСС/GPS среднеквадратическое отклонение (СКО) ошибки позиционирования второго и третьего модуля АМ415 относительно первого составляет в горизонтальной плоскости менее 2,2 мм, в вертикальной – менее 1,7 мм. СКО ошибки позиционирования по углам курса, крена и тангажа не хуже 9 угловых минут при расстоянии между центрами трех модулей 0,7 м и не хуже 4 угловых минут при расстоянии 2 м. Антенные модули АМ415 предназначены для высокоточного позиционирования по сигналам ГЛОНАСС/GPS.

Ключевые слова: целевая полосковая антенна, антенна с круговой поляризацией, высокоточное позиционирование по сигналам ГНСС, измерения по сигналам ГЛОНАСС/GPS.

A. L. Aseev

*Rzhanov Institute of Semiconductor Physics Siberian Branch of Russian Academy
of Sciences, Novosibirsk, Russia*

V. M. Vladimirov

*Krasnoyarsk Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences, Krasnoyarsk, Russia*

Yu. L. Fateev

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

A. I. Filippov

*Siberian State Aerospace University named after Academician M. F. Reshetnev,
Krasnoyarsk, Russia*

V. F. Shabanov, V. N. Shepov*Krasnoyarsk Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia*

ACCURACY OF GONIOMETRIC MEASUREMENTS ON SIGNALS OF GLONASS/GPS

Tri-band (L1/L2/L3) antenna modules AM415 have been developed consisting of a patch slot leaky wave antenna with the right-hand circular polarization and a low-noise amplifier. Their accuracy characteristics have been studied. It has been shown that when taking measurements in the L1 frequency band using GLONASS/GPS combined constellation the root-mean square deviation (RMSD) of the positioning accuracy of the second and third module AM415 relative to the first one is 2,2 mm in the horizontal plane and 1,7 mm in the vertical plane. RMSD of the positioning accuracy with yaw, roll and pitch angles does not exceed 9 angular minutes at a distance of 0,7 m between the centers of three antenna modules and it is up to 4 angular minutes at a distance of 2 m. The antenna modules AM415 are designed for the high accuracy positioning using GLONASS/GPS signals.

Key words: patch slot antenna, circular polarization antenna, high accuracy positioning using GNSS signals, measurements using GLONASS/GPS signals.

Переносные приемные активные антенны высокоточного позиционирования по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) с успехом применяются для измерений углов курса, крена и тангажа стационарных и движущихся объектов. Одна из таких антенн, применяемых для угломерных измерений, – щелевая полосковая антенна вытекающей волны [1; 2]. Несомненными достоинствами данной антенны являются низкопрофильность, широкополосность и единый стабильный фазовый центр, совпадающий с геометрическим центром антенны.

Излучатель щелевой полосковой антенны вытекающей волны выполняется из диэлектрической подложки с двусторонней металлизацией. Для приема СВЧ-сигнала с правой круговой поляризацией резонансные щели в металле верхней стороны подложки закручиваются по спирали вокруг фазового центра антенны. В металле нижней стороны выполняется микрополосковая линия (МПЛ), индуктивно связанная со щелями и нагруженная на активное сопротивление, равное волновому, для установления в МПЛ режима бегущей волны.

В работе [3] предложен новый способ улучшения технических характеристик щелевых полосковых антенн вытекающей волны, применяемых для высокоточного позиционирования по сигналам ГНСС. Показано, что применение дополнительных щелей с меньшей электрической длиной, чем электрическая длина основных щелей излучателя, и выполненных в виде концентрических дуг вокруг фазового центра антенны, позволяет улучшить частотные, фазовые [3] и угловые [4] характеристики антенн. В частности, уменьшается коэффициент эллиптичности, увеличивается подавление кроссполяризации и повышается стабильность локальных фазовых центров антенны, что повышает стойкость данных антенн к многолучевой интерференции, являющейся одним из основных источников ошибок высокоточного позиционирования.

В настоящей работе исследуются точностные характеристики переносных антенных модулей AM415, предназначенных для высокоточного позиционирования по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS в трех частотных диапазонах: L1, L2 и L3. Определяется точность позиционирования модулей AM415 в горизонтальной и вертикальной плоскостях и при измерениях углов курса, крена и тангажа.

© Асеев А. Л., Владимиров В. М., Фатеев Ю. Л., Филиппов А. И., Шабанов В. Ф., Шепов В. Н., 2013

На рис. 1, а показан внешний вид антенного модуля АМ415. В его состав входит разработанная щелевая полосковая антенна вытекающей волны с правой круговой поляризацией [3] и малошумящий усилитель (МШУ). Верхняя сторона излучателя щелевой полосковой антенны показана на рис. 1, б, нижняя – на рис. 1, в. Диаметр излучателя равен 145 мм, толщина – 1,5 мм, расстояние от излучателя до экрана – 13 мм. Рассчитанный (1) и измеренный (2) коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) пассивной антенны не превышает 1,5 в диапазоне частот 1,15–1,65 ГГц (рис. 1, г).

В антенном модуле АМ415 применен трехдиапазонный (L1/L2/L3) МШУ.

Измеренные параметры МШУ во всех трех частотных диапазонах составили: коэффициент усиления 30 ± 1 дБ, КСВН – менее 1,5, коэффициент шума – менее 2 дБ, Δ ГВЗ – менее 4 нс. Ток потребления МШУ – не более 50 мА. Габаритные размеры корпуса АМ415: диаметр – 175 мм, высота – 50 мм. Масса модуля АМ415 составляет менее 1 кг.

Для испытания антенных модулей АМ415 использовалась угломерная навигационная аппаратура МРК-32. Измерения углов курса, крена и тангажа проводились в частотном диапазоне L1 в статическом режиме в нормальных климатических условиях на коротких (0,7 м), средних (1 м) и длинных (2 м) базах. В процессе испытаний записыва-

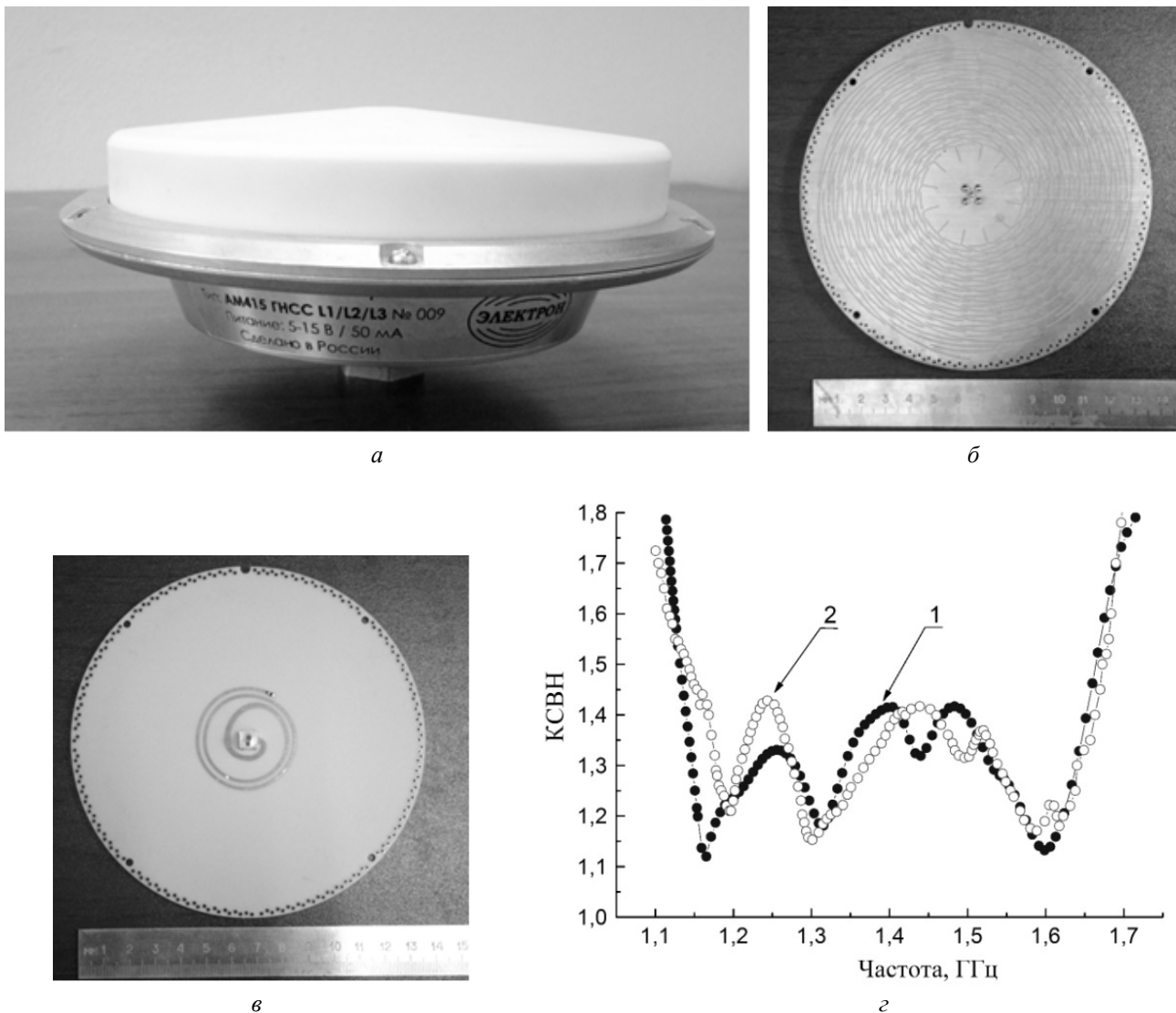


Рис. 1. Внешний вид антенного модуля АМ415 (а), фотографии верхней (б) и нижней (в) сторон излучателя щелевой полосковой антенны вытекающей волны и КСВН пассивной антенны (г), где 1 – расчет; 2 – эксперимент

лись файлы измерительной информации, формируемой аппаратурой МРК-32, в том числе измеренные значения курса, крена и тангажа, а также координаты второго и третьего антенных модулей АМ415 относительно первого. В качестве основного критерия при оценке качества АМ415 использовалась погрешность относительных координат АМ415. Это связано с тем, что погрешность измерения углов курса, крена и тангажа зависит как от фазовых характеристик АМ415, так и от длины базы интерферометра, а погрешность относительных координат АМ415 – только от характеристик антенн. Накопление данных проводилось на интервале ≈ 7 часов. Данные измерений обрабатывались в трех режимах: по ГЛОНАСС, по GPS и по совмещенному созвездию ГЛОНАСС/GPS.

На рис. 2 приведены рассчитанные значения коэффициента усиления антенны в диапазоне азимутальных углов φ от 0° до 360° на несущей частоте GPS 1575,4 МГц (а) и ГЛОНАСС 1602 МГц (б) частотного диапазона L_1 , где 1 – правая, 2 – левая круговая поляризация. Видно, что антенна слабонаправленная. Коэффициент усиления антенны в зените равен 3 дБ. Падение коэффициента усиления от зенита к горизонту составляет около 13 дБ. Подавление кроссполяризации в зените составляет свыше 30 дБ на частоте 1575,4 МГц и свыше 25 дБ на частоте 1602 МГц. Активная антенна осуществляет бесперебойный прием навигационных сигналов ГЛОНАСС/GPS в частотных диапазонах L_1 и L_2 в диапазоне рабочих углов антенны $\Theta = \pm 85^\circ$, где $\Theta = 0$ – зенит ДН антенны.

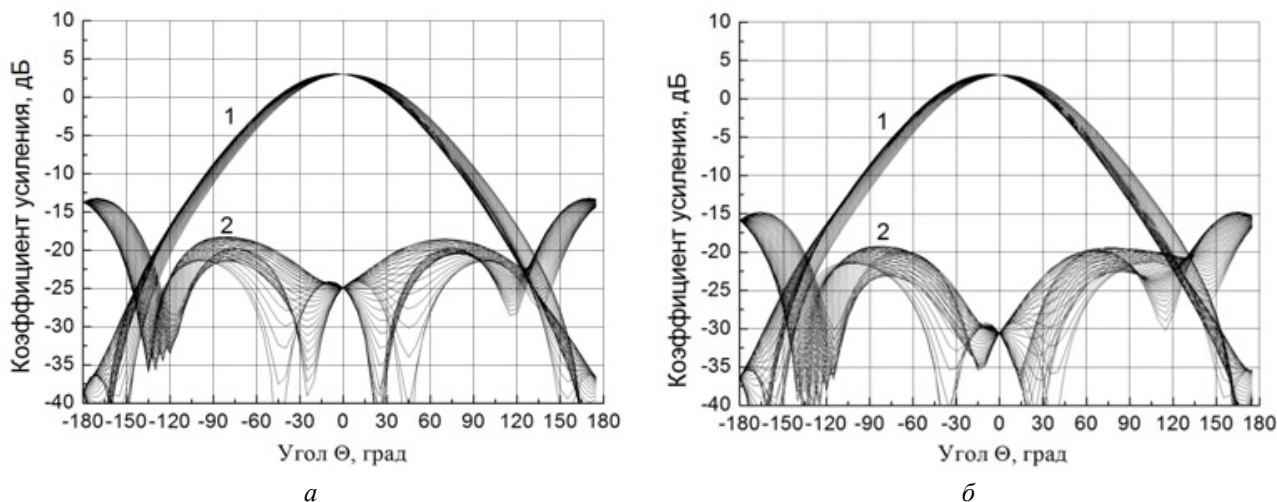


Рис. 2. Коэффициент усиления антенны

На рис. 3, а, б приведено сравнение нормированных амплитудных ДН антенны в вертикальной плоскости в верхней полусфере на частотах 1575,4 МГц (а) и 1602 МГц (б), где пустые кружки – расчет, заполненные – эксперимент. Видно неплохое совпадение рассчитанных и измеренных ДН в диапазоне рабочих углов возвышения.

На рис. 4 приведены результаты измерений точности позиционирования одного антенного модуля АМ415 относительно двух других в горизонтальной (а) и вертикальной (б) плоскостях, и соответствующие им распределения ошибки позиционирования (в) и (г). СКО ошибки позиционирования в горизонтальной плоскости составило менее 2,2 мм, в вертикальной – менее 1,7 мм. Видно, что распределения ошибок позиционирования – нормальные.

На рис. 5 приведены сравнения измеренных временных зависимостей точности позиционирования по углам курса (а) и крена (б) разработанных антенных модулей АМ415 (темные точки) и типичных микрополосковых антенн на двухмодовых излучателях (светлые точки) при расстоянии между центрами трех антенн 2 м. Видно, что точность позиционирования антенных модулей АМ415 по углам курса и крена выше точности позиционирования типичных микрополосковых антенн на двухмодовых излучателях приблизительно в 2 раза.

В табл. 1 приведены СКО ошибки позиционирования антенных модулей АМ415 при измерениях углов курса, тангажа и крена при расстояниях между центрами антенн 2 м, 1 м и 0,7 м. Видно, что при измерении по со-

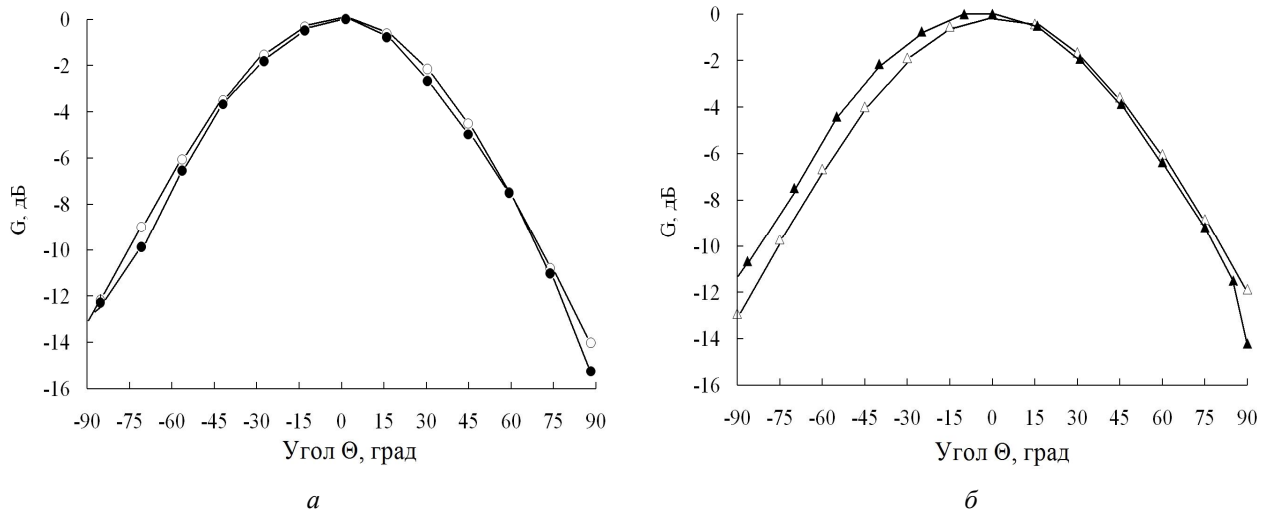


Рис. 3. Сравнение нормированных амплитудных ДН антенны на частоте 1575,4 МГц (а) и 1602 МГц (б): пустые значки – расчет, заполненные – эксперимент

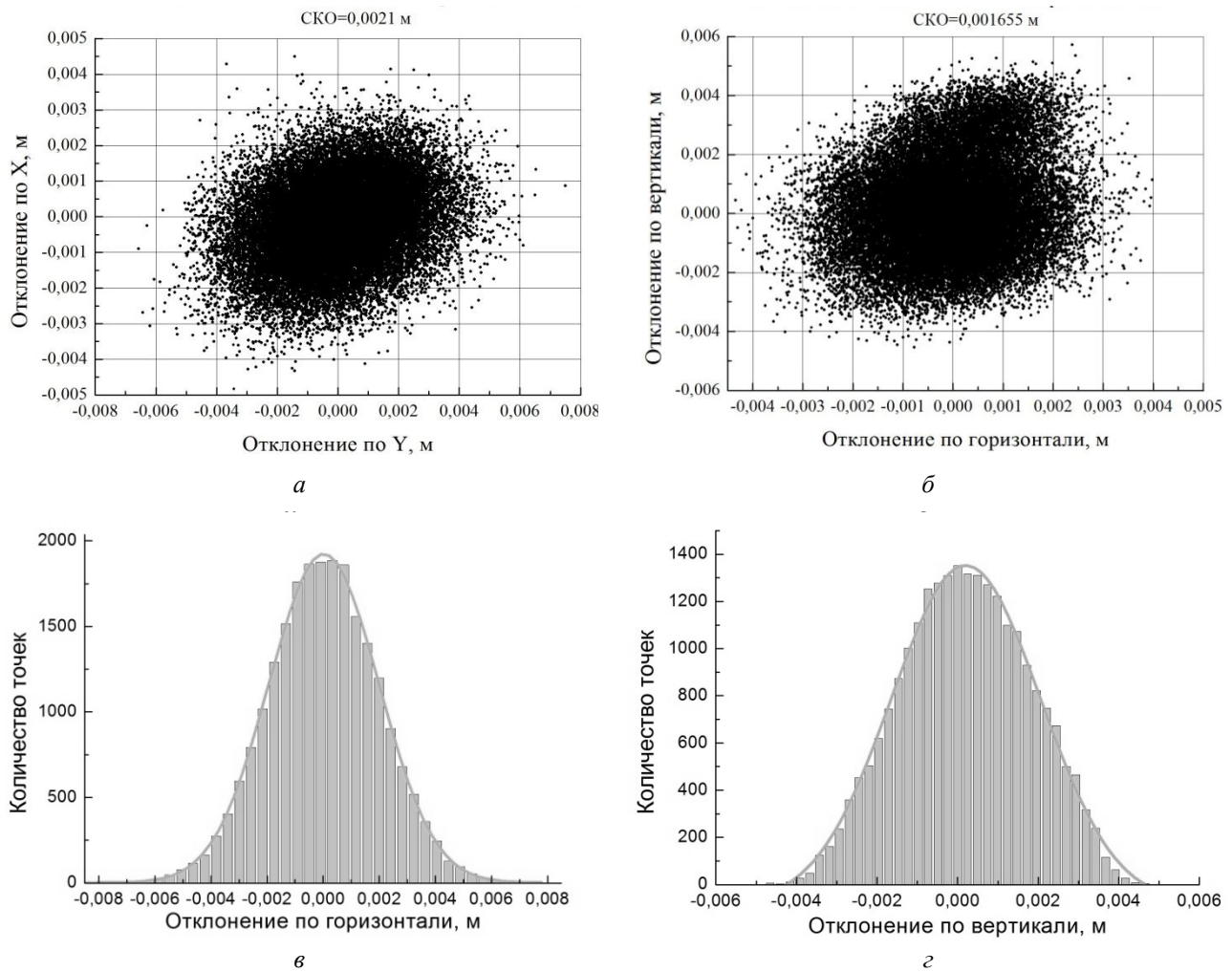


Рис. 4. Точность позиционирования одного антенного модуля АМ415 относительно двух других в горизонтальной (а) и вертикальной (б) плоскостях и соответствующие распределения ошибки позиционирования (в) и (г)

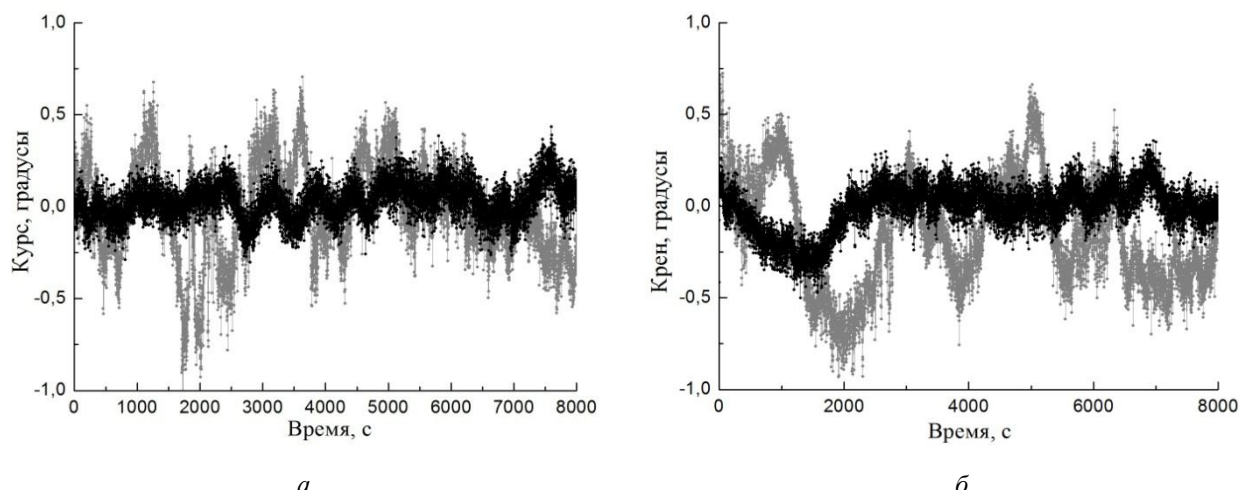


Рис. 5. Временные зависимости точности позиционирования по углам курса (а) и крена (б) с применением трех активных антенн, темные точки – антенные модули АМ415, светлые точки – типичные микрополосковые антенны на двухмодовых излучателях

вмещенному созвездию ГЛОНАСС/GPS СКО ошибки позиционирования по углам курса, крена и тангажа не хуже 9 угловых минут при расстояниях между центрами антенн 0,7 м и 4 угловых минут при расстоянии 2 м.

Таким образом, из результатов испытаний видно, что распределение вероятностей погрешности измерений относительных координат антенных модулей АМ415 близко к изотропному, при этом уровень переотраженных сигналов сравним с шумовой составляющей погрешности. При измерении же на микрополосковых антеннах на двухмодовых

излучателях в тех же условиях уровень переотраженных сигналов превышает шумовую составляющую в 2–3 раза. Соответственно увеличивается и результирующая погрешность измерений. Для уменьшения влияния отраженных сигналов в микрополосковых антеннах на двухмодовых излучателях применяются экраны, выполненные в виде металлических колец (Choke Ring) [5], что значительно увеличивает габаритные размеры и вес антенных модулей. Исследованные же в настоящей работе антенные модули АМ415 не имеют массивного экрана.

Таблица 1

Точность позиционирования антенных модулей АМ415 в угломерных измерениях

ГНСС	Угол	СКО на базе 2 м (угловые минуты)	СКО на базе 1 м (угловые минуты)	СКО на базе 0,7 м (угловые минуты)
Измерения по ГЛОНАСС	курс	4,164	8,1	12,378
	тангаж	4,638	10,002	24,323
	крен	5,394	10,806	26,646
Измерения по GPS	курс	2,718	6,307	7,848
	тангаж	3,282	8,868	9,048
	крен	3,726	9,732	10,218
Измерения по ГЛОНАСС/GPS	курс	2,154	4,32	6,852
	тангаж	3,114	7,266	7,746
	крен	3,812	7,854	8,374

Библиографические ссылки

1. Kunysz W. Aperture coupled slot array antenna: pat. 0067315A1 U.S. Appl. №:09/375319; Filed: 16 Aug. 1999; Pub. Date: 6 Jun. 2002.
2. Kunysz W., Badger E., Plamondon D. Leaky wave antenna with radiating structure including fractal loops.: pat. WO 2007/009216 A1 25 January 2007.
3. Владимиров В.М., Кондратьев А.С., Крылов Ю.В., Марков В.В., Федотов П.М., Шепов В.Н. // Антенны. 2012. № 11. С. 12–17.
4. Владимиров В.М., Кондратьев А.С., Крылов Ю.В., Марков В.В., Федотов П.М., Шепов В.Н. // Изв. вузов. Физика. 2012. № 8. С. 86–90.
5. Sciré–Scappuzzo F, Makarov S. N. IEEE transactions on antennas and propagation. 2009. V. 57. N. 1. P. 33–46.

Статья поступила в редакцию
29.05.2013 г.