

УДК 621.396.6

В.М. ВЛАДИМИРОВ, В.В. МАРКОВ*, Ю.Л. ФАТЕЕВ**, В.Н. ШЕПОВ**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕЛЕВЫХ ПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН ВЫСОКОТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПО СИГНАЛАМ ГЛОНАСС/GPS

Разработаны активные щелевые полосковые антенны вытекающей волны с правой круговой поляризацией, имеющие плоский проводящий экран. Исследованы их точностные характеристики. Определено, что средне-квадратическое отклонение (СКО) ошибки позиционирования одной антенны относительно двух других в горизонтальной плоскости составило 2,1 мм, а в вертикальной 1,7 мм. СКО точности позиционирования по углам азимута, крена и тангажа при расстоянии между центрами трех антенн 2 м составило 2,02; 3,22 и 2,84 (угловых минут) соответственно. Антенны предназначены для применения в активной антенной решетке высокоточного позиционирования по сигналам ГЛОНАСС/GPS в трех частотных диапазонах: $L1/L2/L3$.

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

Введение

Для передвижных многодиапазонных мультисистемных приемников высокоточного позиционирования по сигналам Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), ГЛОНАСС/GPS широкое распространение получили щелевые полосковые антенны вытекающей волны [1, 2]. Несомненными достоинствами данных антенн являются широкополосность, широкая диаграмма направленности (ДН) с высоким усилением сигнала на малых углах возвышения и единый стабильный фазовый центр, совпадающий с геометрическим центром антенны. Однако при всех неоспоримых преимуществах данные антенны обладают некоторыми недостатками, а именно: сравнительно высоким коэффициентом эллиптичности и низким уровнем подавления кросс-поляризации.

В работе [3] предложен новый способ улучшения технических характеристик трехдиапазонных ($L1/L2/L3$) щелевых полосковых антенн вытекающей волны с правой круговой поляризацией. Особенностью способа является то, что он позволяет улучшить основные технические характеристики антенн во всех трех рабочих диапазонах частот: $L1$, $L2$ и $L3$. Способ заключается в выполнении в металле верхней стороны щелевого полоскового излучателя антенны дополнительных щелей с меньшей электрической длиной, чем электрическая длина основных щелей излучателя. Дополнительные щели выполняются либо в виде концентрических дуг, либо в виде отрезков спиралей и располагаются вокруг фазового центра антенны. Рассчитаны частотные [3], угловые [4] и фазовые [5] характеристики антенн.

В настоящей работе проводятся экспериментальные исследования точностных характеристик активных щелевых полосковых антенн вытекающей волны, в которых дополнительные щели выполнены в виде концентрических дуг вокруг геометрического центра излучателя. Активные антенны предназначены для высокоточного позиционирования по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS в частотных диапазонах $L1$, $L2$ и $L3$.

Методика эксперимента

На рис. 1 показана конструкция активной антенны (а) и фотография активной щелевой полосковой антенны вытекающей волны со снятой крышкой (б). Излучатель антенны 1 выполнен на подложке с диэлектрической проницаемостью 3,3. Диаметр излучателя равен 145 мм. Для подавления заднего лепестка ДН и многолучевой интерференции в данной антенне применен простейший экран 2. Диаметр экрана и расстояние от экрана до излучателя рассчитаны для уверенного приема навигационных сигналов в требуемых рабочих диапазонах частот в верхней полусфере с углов возвышения 5° и составили 175 и 12,8 мм соответственно. Кроме того, для подавления многолучевости и излучения микрополосковой линии между экраном и излучателем антенны установлен поглотитель СВЧ-излучения 3. Для брызгозащитности антенны применена уплотняющая прокладка 4. В антенне может быть установлен разъем N-типа или TNC 5.

Для данной активной антенны разработан малощумящий усилитель (МШУ) со следующими характеристиками: коэффициент усиления (30 ± 1) дБ, коэффициент стоячей волны по напряже-

нию (КСВН) менее 1,5, коэффициент шума менее 1,8 дБ, неравномерность группового времени запаздывания (Δ ГВЗ) менее 4 нс. Ток потребления МШУ не более 50 мА [6].

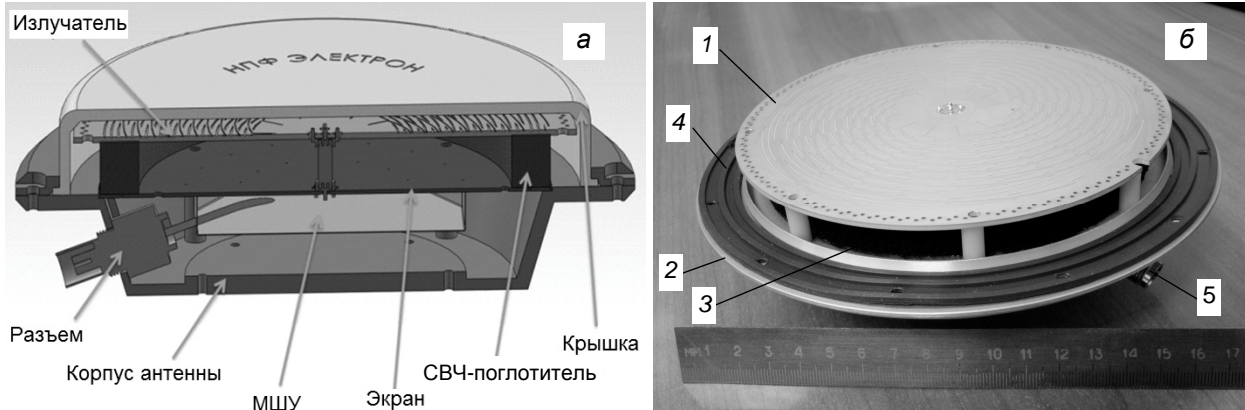


Рис. 1. Конструкция антенны (а) и фотография активной щелевой полосковой антенны вытекающей волны со снятой крышкой (б)

Для испытания активных антенн использовалась угломерная навигационная аппаратура МРК-32. Три антенны подключались к фазовому модулятору МРК-32. Измерения точности позиционирования одной активной антенны относительно двух других в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также углов азимута, крена и тангажа выполнялись в частотном диапазоне $L1$ в статическом режиме по созвездию ГЛОНАСС/GPS при расстояниях между центрами трех активных антенн 0,7 и 2 м. Накопление данных проводилось на интервале ≈ 10 ч.

Результаты и их обсуждение

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 $L1$, где кривая 1 – правая, кривая 2 – левая круговая поляризация.

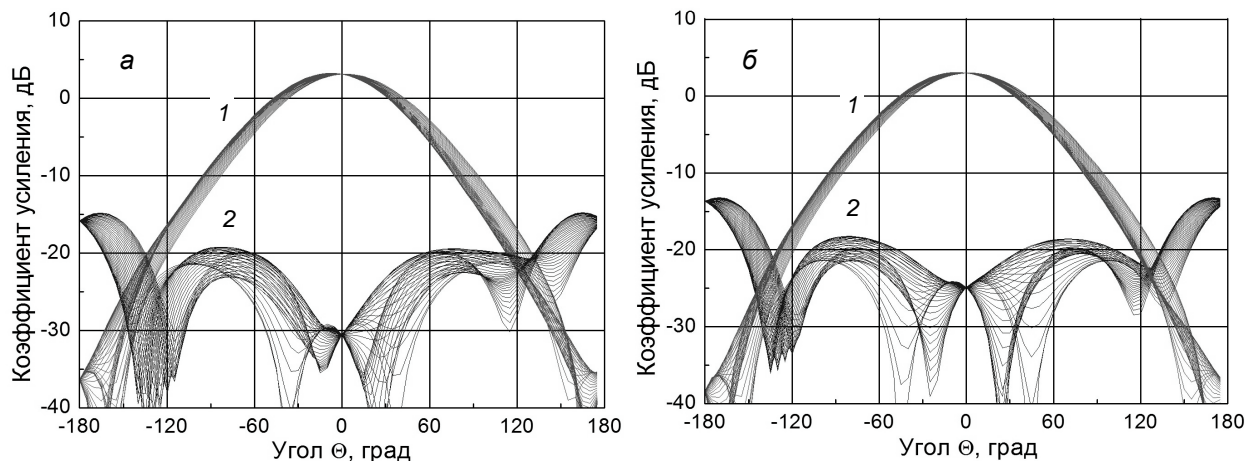


Рис. 2. Коэффициент усиления антенны

Из рис. 2 видно, что антенна слабонаправленная. Коэффициент усиления антенны в зените равен 3 дБ. Падение коэффициента усиления от зенита к горизонту составляет около 13 дБ. Подавление кросс-поляризации 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 $L1$ и $L2$ в диапазоне рабочих углов антенны $\Theta = \pm 85^\circ$, где $\Theta = 0$ – зенит ДН антенны.

На рис. 3 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.

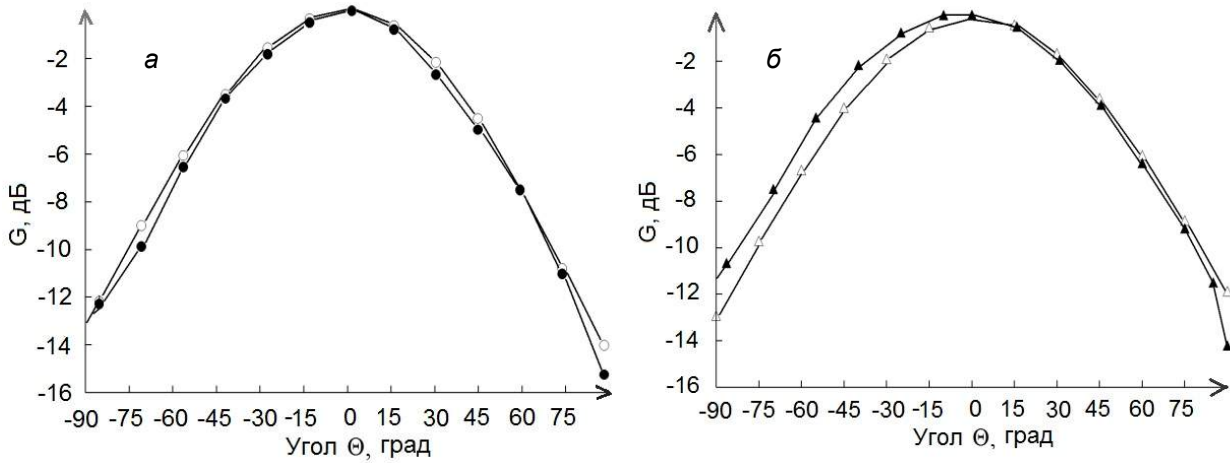


Рис. 3. Сравнение нормированных амплитудных ДН антенны на частоте 1575,4 МГц (а) и 1602 МГц (б): пустые значки – расчет, заполненные – эксперимент

На рис. 4 приведены рассчитанные (кривая 1) и измеренные (кривая 2) значения КСВН для данной антенны. Видно, что измеренные значения КСВН не превышают 1,5 в диапазоне частот 1190–1650 МГц.

На рис. 5 приведены результаты измерений точности позиционирования по сигналам ГЛОНАСС/GPS одной активной антенны относительно двух других в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Видно, что в разработанной активной антенне СКО ошибки позиционирования в горизонтальной плоскости составило 2,1 мм, а в вертикальной – 1,7 мм.

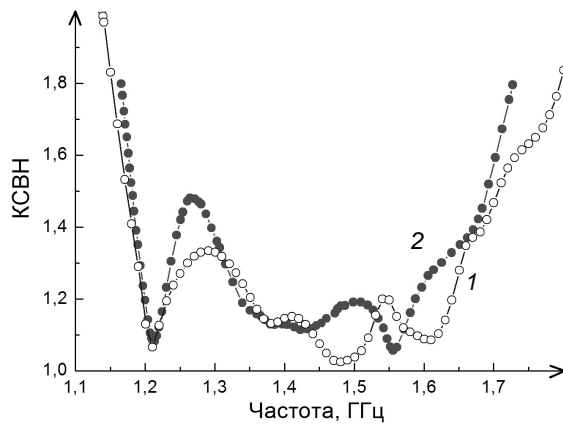


Рис. 4. КСВН антенны

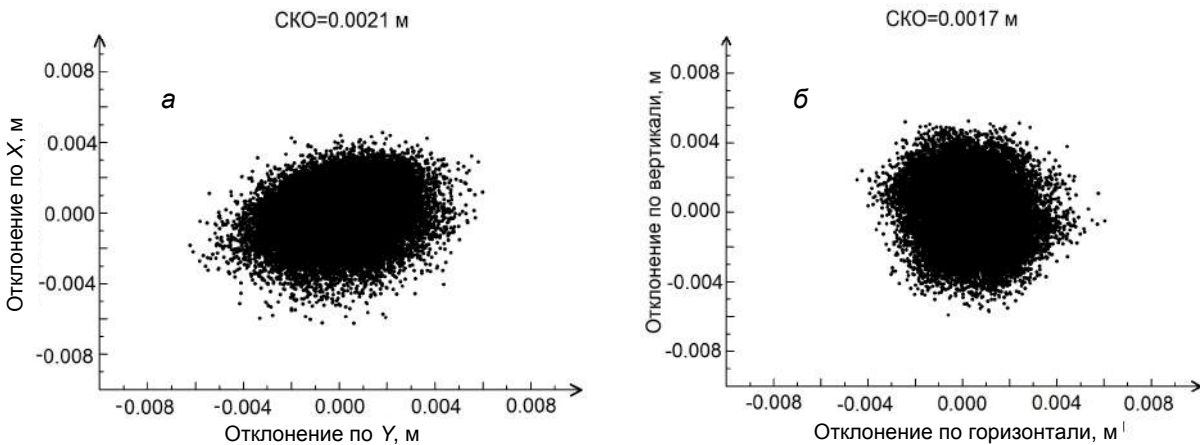


Рис. 5. Точность позиционирования одной антенны относительно двух других в горизонтальной (а) и вертикальной (б) плоскостях

На рис. 6 приведены результаты измерений точности позиционирования разработанных активных антенн по углам азимута, крена и тангажа. Измерения выполнены при расстояниях между центрами трех активных антенн 0,7 и 2 м.

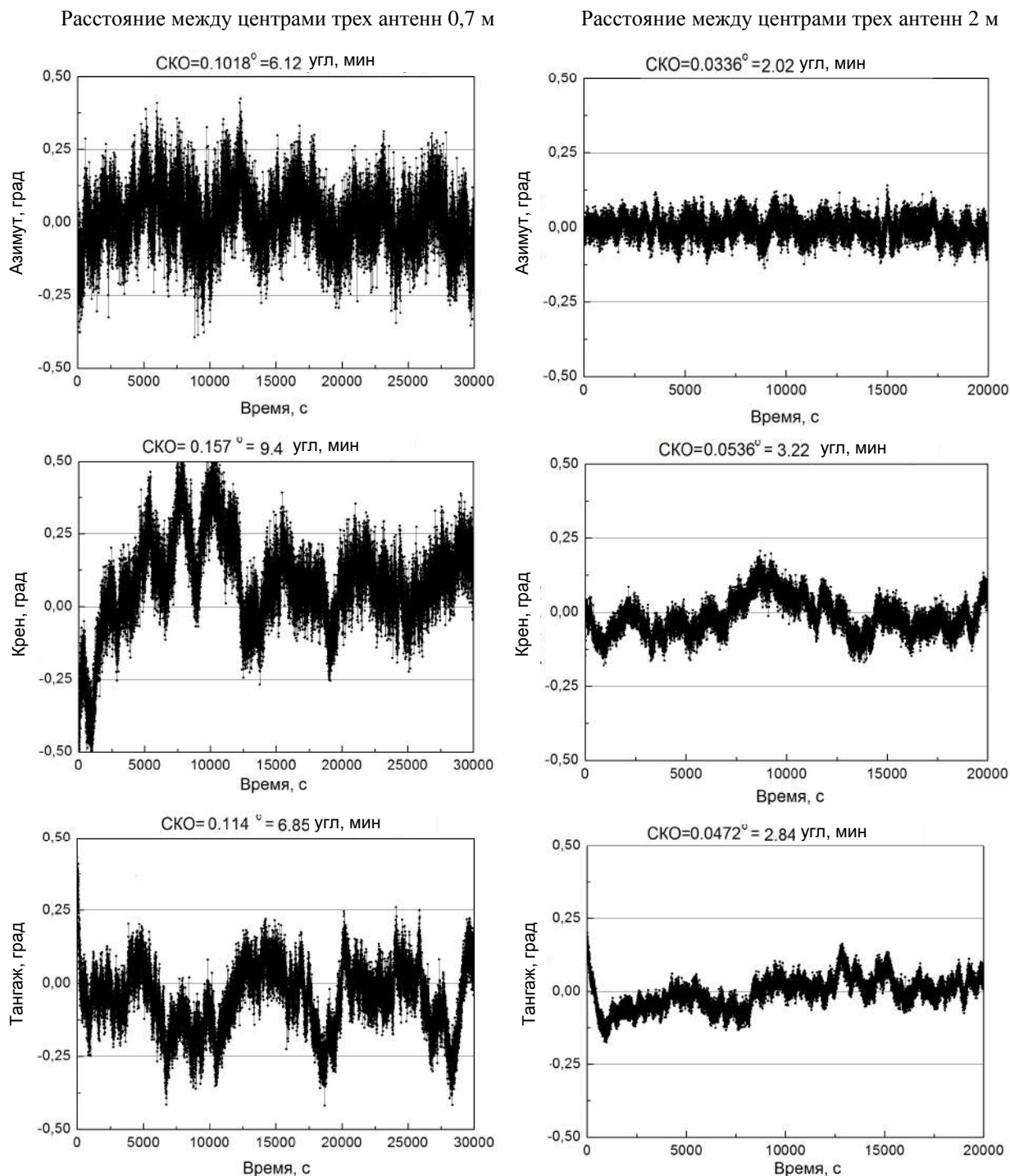


Рис. 6. Точность позиционирования одной антенны относительно двух других по углам азимута, крена и тангажа

Из рис. 6 видно, что при расстоянии между центрами трех антенн 2 м СКО ошибки позиционирования по углу азимута составило менее 2,1, по углу крена – менее 3,3, по углу тангажа – менее 2,9 угл. мин.

Заключение

Таким образом, исследования точностных характеристик разработанных активных щелевых полосковых антенн вытекающей волны с правой круговой поляризацией по сигналам ГНСС ГЛО-НАСС/GPS показали, что СКО ошибки позиционирования одной антенны относительно двух других в горизонтальной плоскости составило 2,1 мм, а в вертикальной – 1,7 мм. СКО точности позиционирования по углам азимута, крена и тангажа составило 6,12; 9,4 и 6,85 угл. мин соответствен-

но при расстоянии между центрами трех антенн 0,7 м и 2,02; 3,22 и 2,84 угл. мин соответственно при расстоянии между центрами трех антенн 2 м.

Следует подчеркнуть, что данные результаты получены для активной щелевой полосковой антенны вытекающей волны с плоским проводящим малогабаритным экраном. Данная антенна предназначена для применения в антенной решетке. Поэтому для борьбы с многолучевостью в рассмотренной антенне основное внимание уделено характеристикам самой антенны: форме диаграммы направленности, коэффициенту эллиптичности, уровню кросс-поляризации и стабильности фазового центра. Для применения же одной такой антенны в стационарных базовых станциях ГЛОНАСС/GPS возможно дальнейшее подавление многолучевой интерференции с помощью экрана специальной конструкции, например choke ring экрана [7, 8] или низкопрофильного импедансного экрана с переменным профилем импеданса [9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kunysz W., Badger E., and Plamondon D. Leaky wave antenna with radiating structure including fractal loops // Patent WO 2007/009216 A1 25 Jan. 2007.
2. Kunysz W. // Antenna Technology and Applied Electromagnetics & the American Electromagnetics Conference (ANTEM-AMEREM), 5–8 July 2010, 14th International Symposium. – 2010. – P. 1–4.
3. Владимиров В.М., Кондратьев А.С., Крылов Ю.В. и др. // Антенны. – 2012. – № 11. – С. 12–17.
4. Владимиров В.М., Кондратьев А.С., Крылов Ю.В. и др. // Изв. вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 8. – С. 86–90.
5. Владимиров В.М., Кондратьев А.С., Крылов Ю.В. и др. // Изв. вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – №9/2 – С. 45–48.
6. Владимиров В.М., Марков В.В., Петров Д.В., Шепов В.Н. // Радиотехника. – 2013 (в печати).
7. Tranquilla J.M., Cam J.P., and Al-Rizzo H.M. // IEEE Trans. Antennas Propag. – 1994. – V. 42. – No. 7. – P. 905–911.
8. Sciré-Scarpuzzo F. and Makarov S.N. // IEEE Trans. Antennas Propag. – 2009. – V. 57. – No. 1. – P. 33–46.
9. Westfall B.G. Antenna with R-card ground plane // Patent US 5694136. 2 Dec. 1997.

*Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия

Поступила в редакцию 15.07.13.

**Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

E-mail: shepov@ksc.krasn.ru

Владимиров Валерий Михайлович, д.т.н., зав. отделом;

Марков Владимир Витальевич, к.ф.-м.н., науч. сотр.;

Фатеев Юрий Леонидович, д.т.н., профессор;

Шепов Владимир Николаевич, к.ф.-м.н., ст. науч. сотр.

V.M. VLADIMIROV, V.V. MARKOV, Yu.L. FATEEV, V.N. SHEPOV

EXPERIMENTAL STUDY OF THE ACCURACY CHARACTERISTICS OF PATCH SLOT ANTENNAS FOR THE HIGH ACCURACY POSITIONING USING GLONASS/GPS SIGNALS

Ground plane patch slot leaky wave active antennas with the right-hand circular polarization and the radiator diameter of 145 mm have been developed. Their accuracy characteristics have been investigated. It has been found that the root-mean-square deviation (RMSD) of the positioning error of an antenna relative to the others is 2.1 mm in the horizontal plane and 1.7 mm in the vertical plane. RMSD of the positioning accuracy at the azimuth, roll and pitch angles is equal to 2.02, 3.22 and 2.84 (angular minutes), correspondingly, with the distance between the centers of three antennas being 2 m. The antennas are designed for the high accuracy positioning using GLONASS/GPS signals in three frequency bands: L1/L2/L3.

Keywords: patch slot antenna, active GLONASS / GPS antenna, antenna with circular polarization, high-precision positioning using GNSS signals, GLONASS / GPS measuring.