

# Исследования точностных характеристик активных щелевых полосковых антенн высокоточного позиционирования по сигналам ГЛОНАСС/GPS с плоскими проводящими экранами

© Авторы, 2013

**В.М. Владимиров** – д.т.н., зав. Отделом радиотехники и электроники при Президиуме Красноярского научного центра СО РАН. E-mail: vlad@ksc.krasn.ru

**В.В. Марков** – к.ф.-м.н., науч. сотрудник Отдела радиотехники и электроники при Президиуме Красноярского научного центра СО РАН. E-mail: bob@iph.krasn.ru

**Ю.Л. Фатеев** – д.т.н., профессор кафедры «Радиотехника», Институт инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. E-mail: fateev-yury@mail.ru

**В.Н. Шелов** – к.ф.-м.н., ст. науч. сотрудник Отдела радиотехники и электроники при Президиуме Красноярского научного центра СО РАН. E-mail: shelopov@ksc.krasn.ru

Исследованы точностные характеристики активных щелевых полосковых антенн вытекающей волны с правой круговой поляризацией с диаметрами плоских проводящих экранов 175 мм и 80 мм. В первой антенне применен излучатель диаметром 145, во второй – 70 мм. Все антенны выполнялись на волновой моде колебаний Н-волны. Уменьшение диаметра излучателя достигалось применением диэлектрических подложек с повышенной диэлектрической проницаемостью. Показано, что при уменьшении диаметра активной антенны от 175 мм до 80 мм среднеквадратическое отклонение (СКО) ошибки позиционирования одной антенны относительно двух других в горизонтальной плоскости увеличилось с 2,1 до 3,9 мм, а в вертикальной с 1,7 до 3 мм. Антенны предназначены для высокоточного позиционирования по сигналам ГЛОНАСС/GPS в трех частотных диапазонах:  $L1/L2/L3$ .

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

Accuracy characteristics of the patch slot leaky-wave antennas with the right-hand circular polarization with the ground plane diameter of 175 mm and 80 mm have been studied. The first antenna has the radiator with the diameter of 145, while in the second antenna it is – 70 mm. Both antennas are performed in the H-wave mode. The radiator diameter is decreased by applying dielectric substances with increased dielectric permeability. It has been shown that, with the active antenna diameter decreasing from 175 mm to 80 mm, the root-mean-square deviation (RMSD) of the positioning error of an antenna relative to the others increases from 2,1 to 3,9 mm in the horizontal plane, and from 1,7 to 3 mm in the vertical plane. The antennas are designed for the high accuracy positioning using GLONASS/GPS signals in three frequency bands:  $L1/L2/L3$ .

**Keywords:** patch slot antenna, GLONASS/GPS antenna, circular polarization antenna, high accuracy positioning using GNSS signals.

## Введение

Уменьшение габаритных размеров активных антенн высокоточного позиционирования по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС/GPS необходимо при применении данных антенн в передвижных приемниках ГНСС. Одна из малогабаритных низкопрофильных антенн – щелевая полосковая антенна вытекающей волны [1, 2]. Несомненными достоинствами данной антенны являются широкосполосность, 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 кроссполяризации.

Для устранения этих недостатков в работе [3] предложен новый способ улучшения технических характери-

стик щелевых полосковых антенн вытекающей волны с круговой поляризацией. Особенностью способа является то, что он улучшает частотные [3], угловые [4] и фазовые [5] характеристики антенны во всех рабочих диапазонах частот, включая  $L1$ ,  $L2$  и  $L3$ . Способ заключается в выполнении в металле верхней стороны излучателя антенны дополнительных щелей, электрическая длина которых меньше электрической длины основных щелей. Дополнительные щели изготавливаются определенным образом: либо в виде концентрических дуг вокруг фазового центра антенны, либо в виде отрезков спиралей и располагаются между закрученными по спирали основными щелями излучателя антенны. При этом все основные щели выполняются на единой (волновой или полуволновой) моде колебаний Н-волны. Электрические длины основных щелей настраиваются поочередно на частотные диапазоны  $L1$  и  $L2 + L3$ . Благодаря данному способу становится возможной дальнейшая миниатюризация антенны с сохранением высоких технических характеристик во всех трех частотных диапазонах.

Цель работы – исследование точностных характеристик активных щелевых полосковых антенн вытекающей волны при их миниатюризации. Исследуются точностные характеристики активных антенн с диаметром плоского проводящего экрана 175 мм (А145) и 80 мм (А70). В первой антенне применен щелевой полосковый излучатель диаметром 145 мм, во второй – 70 мм. Все антенны выполнены на волновой моде колебаний Н-волны. Уменьшение диаметра излучателя достигалось применением диэлектрических подложек с повышенной диэлектрической проницаемостью. Активные антенны предназначены для высокоточного позиционирования по сигналам ГЛОНАСС/GPS.

#### Конструкции антенн и методика эксперимента

На рис. 1 представлены внешний вид активных трехдиапазонных антенн А145 мм (а) и А70 мм (б) и верхние стороны излучателей данных антенн (в) и (г) соответственно. Излучатель антенны А145 выполнен на подложке с диэлектрической проницаемостью 3,3, а излучатель А70 – с диэлектрической проницаемостью 10. Обе антенны предназначены для приема навигационных сигналов в частотных диапазонах L1, L2 и L3.

Конструкция излучателя щелевой полосковой антенны вытекающей волны с правой круговой поляризацией описана в работах [3-5]. В обеих активных антеннах применялся один и тот же малошумящий усилитель (МШУ) со следующими характеристиками: КСВН – менее 1,5, коэффициент шума – 1,8 дБ,  $\Delta$ ГВЗ – менее 4 нс. Коэффициент усиления МШУ в активной антенне А145 равен  $30 \pm 1$  дБ. В МШУ активной антенны А70 коэффициент усиления увеличен до  $33 \pm 1$  дБ для компенсации уменьшения коэффициента усиления миниатюризированной антенны. Ток потребления МШУ не более 50 мА.

Для испытания активных антенн использовалась угломерная навигационная аппаратура производства ФГУП «НПП «Радиосвязь» МРК-32. По три антенны каждого типа поочередно подключались к фазовому модулятору МРК-32. Расстояние между центрами трех активных антенн составляло 0,7 м. Измерения точности позиционирования одной активной антенны относительно двух других в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а так же углов азимута, крена и тангажа выполнялись в частотном диапазоне L1 в статическом режиме по совмещенному созвездию ГЛОНАСС/GPS.

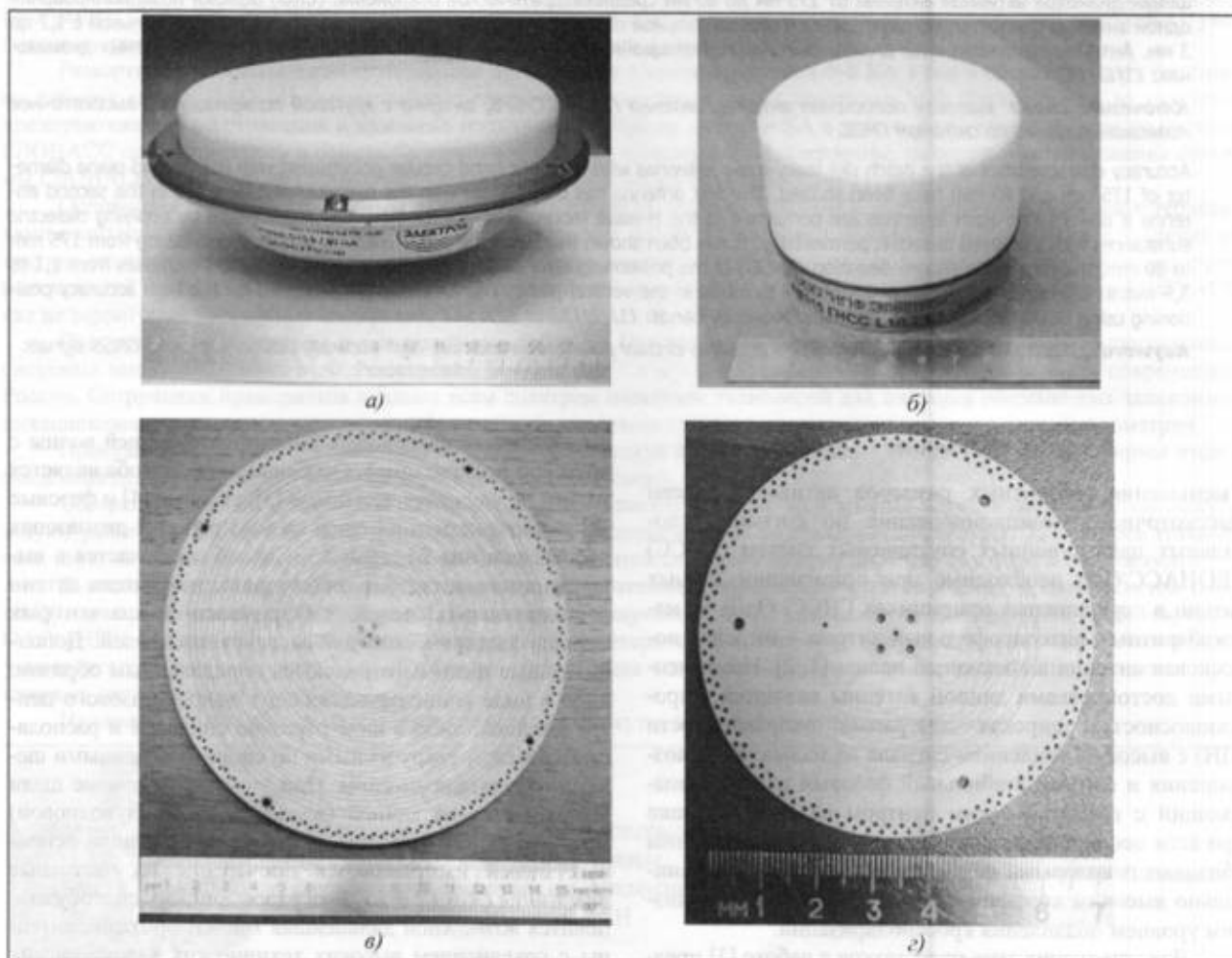


Рис. 1

Накопление данных проводилось на интервале  $\approx 10$  ч. В процессе измерений активные антенны A145 и A70 осуществляли бесперебойный прием навигационных сигналов ГЛОНАСС и GPS в верхней полусфере с углов возвышения над горизонтом свыше  $4,8^\circ$ .

### Результаты и их обсуждение

На рис. 2 приведены рассчитанные амплитудные ДН антенн в вертикальной плоскости в диапазоне азимутальных углов  $\varphi$  от 0 до  $360^\circ$  на несущей частоте GPS

1575,4 МГц (а, б) и ГЛОНАСС 1602 МГц (в, г) частотного диапазона L1, где 1 – правая, 2 – левая круговые поляризации. Из рисунка видно, что обе антенны слабонаправленные. Падение коэффициента усиления от зенита к горизонту в антенне A145 составило около 12 дБ, в антенне A70 – около 8 дБ. При этом в эксперименте обе антенны осуществляли бесперебойный прием навигационных сигналов ГЛОНАСС/GPS в частотных диапазонах L1 и L2 в диапазоне рабочих углов антенны  $\Theta = \pm 85^\circ$  ( $\Theta = 0$  – зенит ДН антенны). Подавление же

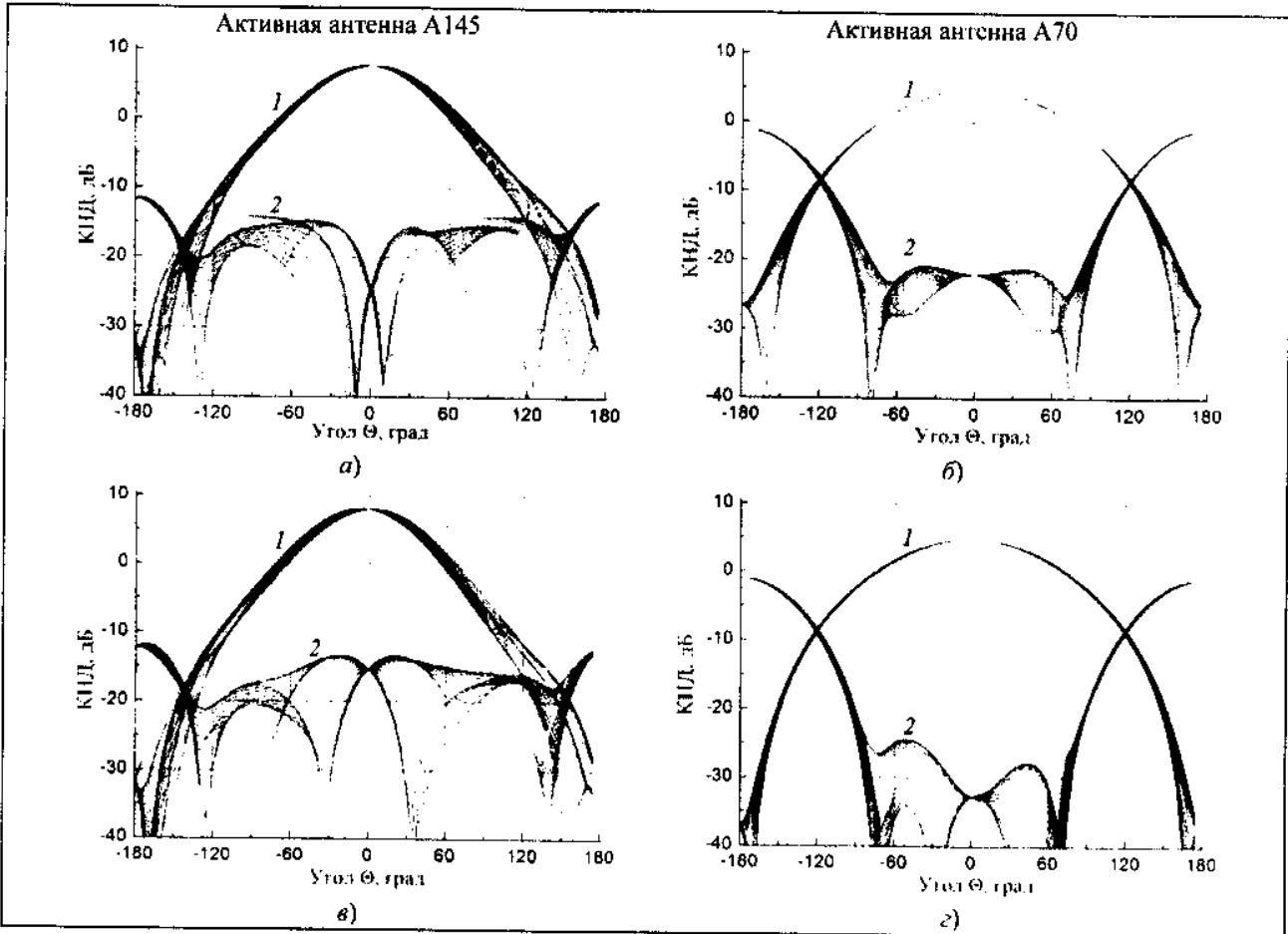


Рис. 2

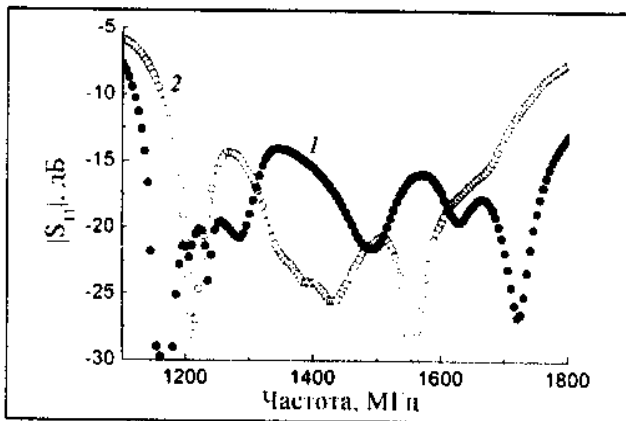


Рис. 3

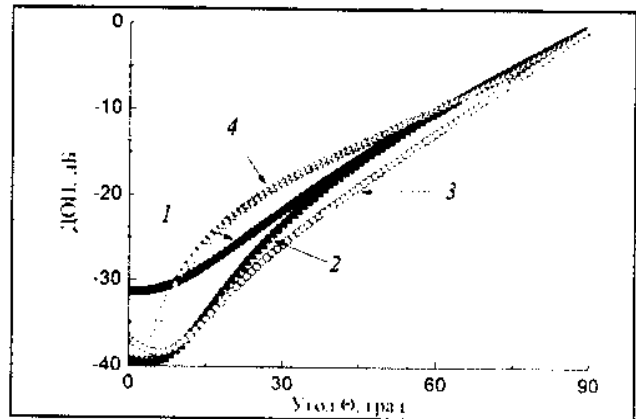


Рис. 4

кроссполаризации в нижней полусфере в миниатюризированной антенне ухудшилось более чем на 10 дБ.

На рис. 3 приведены измеренные значения коэффициента стоячей волны по напряжению для антенн А145 – (1) и А70 – (2). Видно, что рабочий диапазон частот миниатюризированной антенны несколько сузился. Тем не менее во всех рабочих диапазонах частот ( $L_1$ ,  $L_2$  и  $L_3$ ) КСВН антенн А145 и А70 не хуже 1,5 ( $S_{11} \leq -14$  дБ).

На рис. 4 представлены диаграммы обратного излучения (ДОИ) для антенн А145 – (1, 2) и А70 – (3, 4) на частоте 1575,4 МГц (1, 3) и 1602 МГц (2, 4), где  $\Theta = 0$  – зенит ДН антенны. Видно, что отличия в ДОИ незначительны.

На рис. 5 даны рассчитанные зависимости изменения локальных фазовых центров (РСЦ) антенн А145 и А70 от угла возвышения  $\Theta$  и азимутального угла  $\varphi$  на частоте 1575,4 МГц (а, б) и 1602 МГц (в, г). Из рисун-

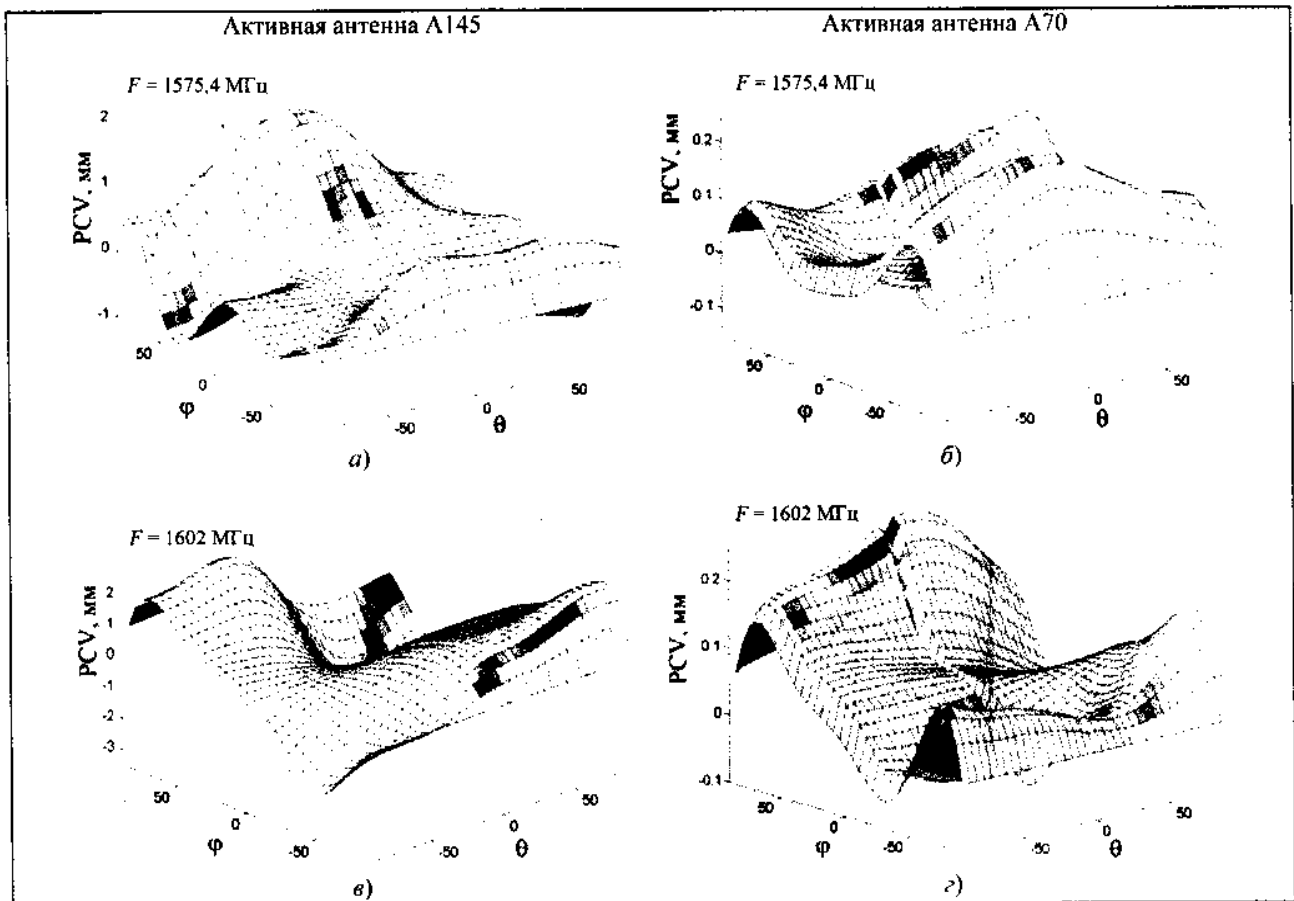


Рис. 5

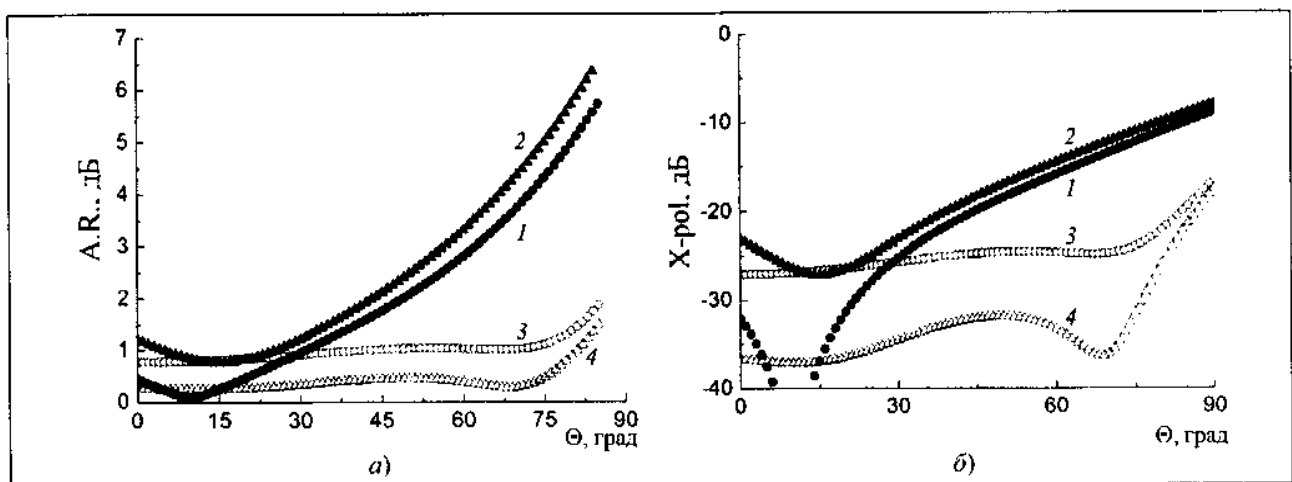


Рис. 6

ков видно, что на обеих частотах антенна А70 обладает более стабильным фазовым центром. Так, на частоте 1575,4 МГц РСУ в миниатюризированной антенне А70 в сравнение с антенной А145 улучшилось с 3 до 0,4 мм, а на частоте 1602 МГц – с 5 до 0,3 мм.

На рис. 6 показаны зависимости коэффициента эллиптичности антенны (A.R.) (а) и уровня кроссполяризации (X-pol) (б) от угла возвышения  $\Theta$  для антенн А145 (1, 2) и А70 (3, 4). Расчеты выполнены на частоте 1575,4 МГц (1, 3) и 1602 МГц (2, 4). Из рисунка видно, что на обеих частотах антенна А70 обладает сравнимыми с антенной А145 коэффициентом эллиптичности и уровнем кроссполяризации в зените ДН антенны и лучшими вблизи горизонта.

На рис. 7 представлены результаты измерений точности позиционирования одной активной антенны относительно двух других в горизонтальной и вертикальной плоскостях по сигналам ГЛОНАСС/GPS.

Видно увеличение СКО ошибки позиционирования при миниатюризации антенны. В горизонтальной плоскости СКО возросло с 2,1 до 3,9 мм, а в вертикальной с 1,7 до 3 мм.

На рис. 8 приведены результаты угломерных измерений по сигналам ГЛОНАСС/GPS.

Из рисунка видно, что в миниатюризированной антенне СКО ошибки позиционирования антенны по углам азимута, крена и тангажа также возросло. При этом, как уже было отмечено выше, миниатюризированная антенна А70 обладает более стабильным фазовым центром, чем антенна А145, сравнимым с антенной А145 КСВН в рабочих диапазонах частот, сравнимыми коэффициентом эллиптичности и уровнем подавления кроссполяризации в зените и более лучшими их значениями при приближении к горизонту. Следовательно, собственные характеристики антенн А145 и А70 в верхней полусфере довольно высокие и уже не влияют на результирующую ошибку позиционирования. В нижней же полусфере с уменьшением размера экрана в активной антенне А70 возрастает уровень кроссполяризации. Поэтому отраженные сигналы, меняющие при отражении поляризацию, вносят определяющий вклад в ошибку позиционирования в рассмотренных антеннах. В связи с этим для дальнейшего повышения точности позиционирования необходимо применять специальные экраны антенн.

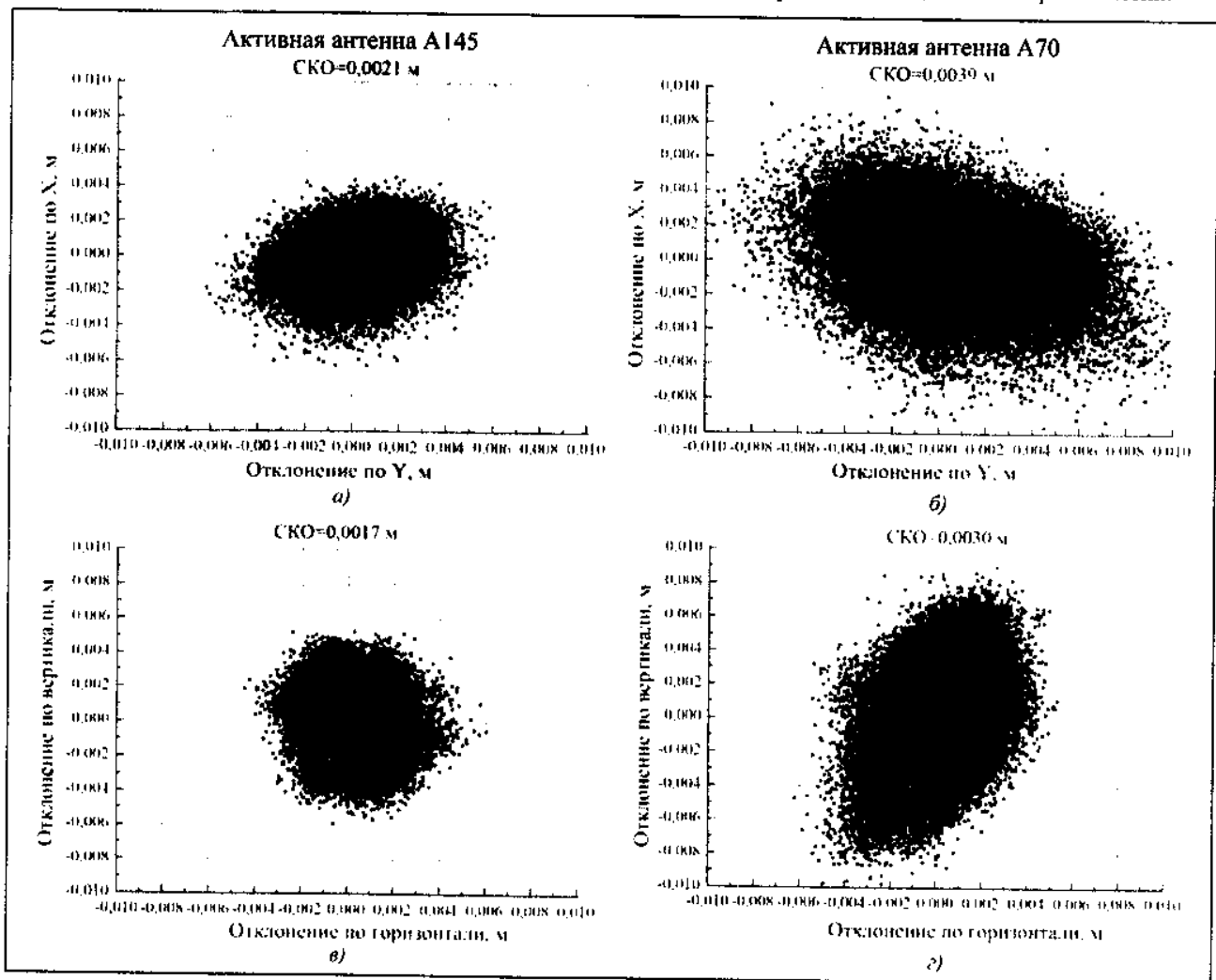


Рис. 7

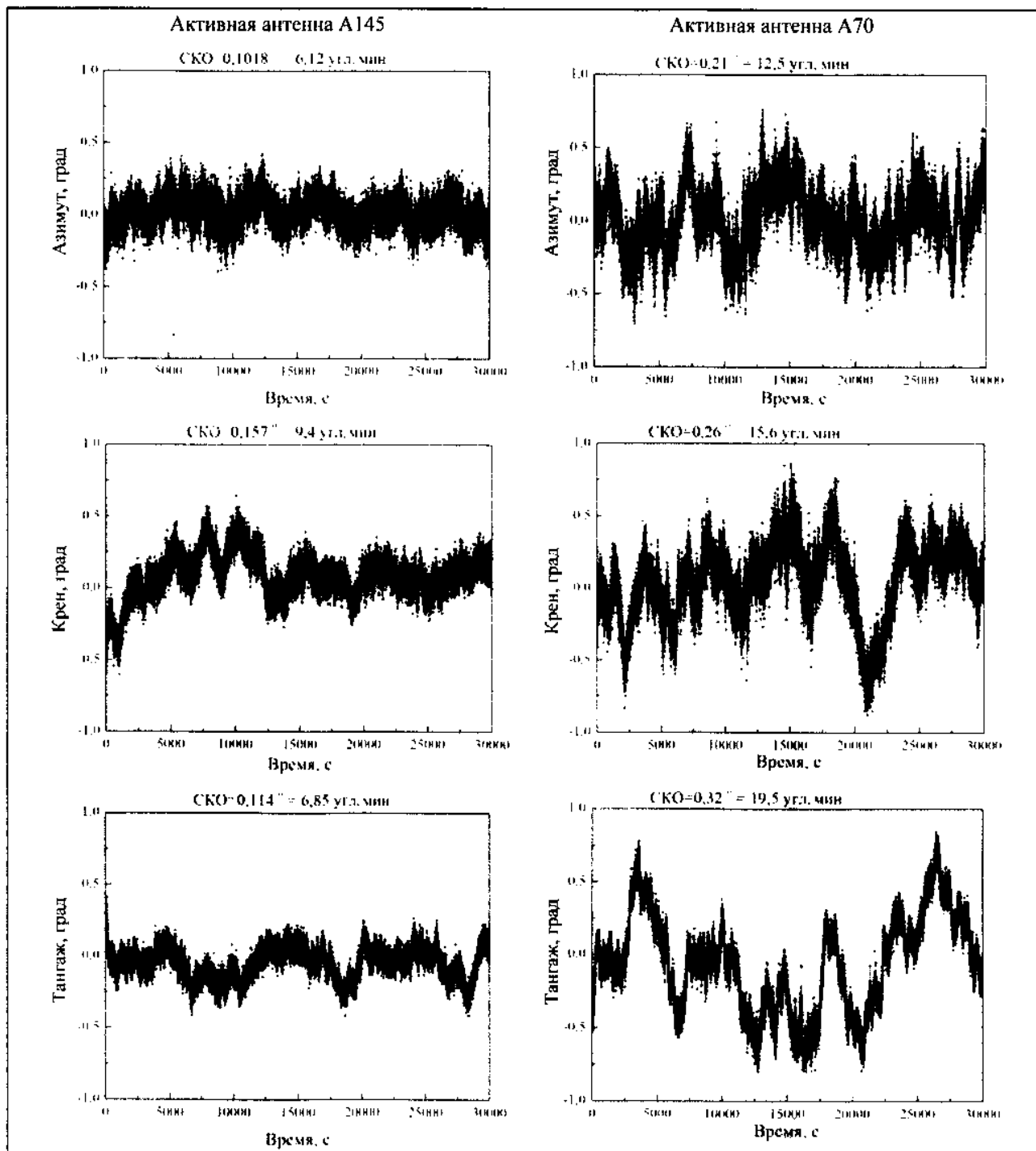


Рис. 8

- Таким образом, исследования точностных характеристик активных щелевых полосковых антенн вытекающей волны с правой круговой поляризацией с диаметрами плоских проводящих экранов 175 мм и 80 мм показали, что миниатюризированная антенна обладает более стабильным фазовым центром, лучшим коэффициентом эллиптичности и более высоким уровнем подавления кроссполаризации в верхней полусфере принимаемых навигационных

сигналов. Однако повышение уровня кроссполаризации в нижней полусфере при уменьшении диаметра экрана антенны делает миниатюризированную антенну менее защищенной от многолучевой интерференции, являющейся основным источником ошибок высокоточного позиционирования. Показано, что при уменьшении диаметра активной антенны от 175 мм до 80 мм SKO ошибки позиционирования одной антенны относительно двух

других в горизонтальной плоскости увеличилось с 2,1 до 3,9 мм, а в вертикальной с 1,7 до 3 мм; СКО точности позиционирования по углу азимута возросло с 6,12 до 12,5 угл. мин, по углу крена – с 9,4 до 15,6 угл. мин, по углу тангажа с 6,85 до 19,5 угл. мин при расстоянии между центрами трех антенн 0,7 м.

Следует подчеркнуть, что данные результаты получены для активных антенн с плоскими проводящими малогабаритными экранами. Такие антенны предназначены для использования на транспорте. Поэтому для борьбы с многолучевостью в рассмотренных антеннах основное внимание уделено характеристикам самих антенн: форме диаграммы направленности, коэффициенту эллиптичности, уровню кроссполяризации и стабильности фазового центра. Для применения же данных антенн в стационарных базовых станциях ГЛОНАСС/GPS возможно дальнейшее подавление многолучевой интерференции с помощью экранов специальной конструкции, например, классического choke ring экрана или низкопрофильного импедансного экрана с переменным профилем импеданса.

## Литература

1. Kunysz W. Antenna phase center effects and measurements in GNSS ranging applications // 14th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics & the American Electromagnetics Conference (ANTEM-AMEREM). 2010. 5–8 July, 2010. P. 1–4
2. Kunysz W., Badger E., Plamondon D. Leaky wave antenna with radiating structure including fractal loops // Patent WO 2007/009216 A1 25. January, 2007.
3. Владимиров В.М., Кондратьев А.С., Крылов Ю.В., Марков В.В., Федотов П.М., Шенов В.Н. Щелевая полосковая антенна вытекающей волны с дополнительными щелями с малой электрической длиной // Антенны. 2012. № 11. С. 12–17.
4. Владимиров В.М., Кондратьев А.С., Крылов Ю.В., Марков В.В., Федотов П.М., Шенов В.Н. Навигационные характеристики щелевой полосковой антенны вытекающей волны // Изв. вузов. Сер. Физика. 2012. № 8. С. 86–90.
5. Владимиров В.М., Кондратьев А.С., Крылов Ю.В., Марков В.В., Федотов П.М., Шенов В.Н. Исследования стабильности фазовых центров щелевой полосковой антенны вытекающей волны // Изв. вузов. Сер. Физика. 2012. № 9/2. С. 45–48.

Поступила 19 апреля 2013 г.

# The investigation of accuracy characteristics of the active ground plane patch slot antennas for the high accuracy positioning using GLONASS/GPS signals

© Authors, 2013

V.M. Vladimirov, V.V. Markov, Yu.L. Fateev, V.N. Shepov

Accuracy characteristics of active patch slot leaky wave antennas with the right-hand circular polarization with the ground plane diameter of 175 mm and 80 mm have been studied. It has been shown that miniaturized antenna has a more stable phase center, better ellipticity and higher level of the cross-polarization suppression in the upper hemisphere of the received navigation signals. However, with the antenna diameter decreasing, the increase of the cross-polarization level in the lower hemisphere results in the miniaturized antenna being less resistant to multipath interference which is the main source of the high-accuracy positioning errors. For example, with the active antenna diameter decreasing from 175 mm to 80 mm the root-mean-square deviation (RMSD) of the positioning error of an antenna relative to the others increases from 2,1 to 3,9 mm in the horizontal plane, and it increases from 1,7 to 3 mm in the vertical plane. RMSD of the positioning accuracy at the azimuth angle increases from 6,12 to 12,5 (angular minutes), at the roll angle from 9,4 to 15,6 (angular minutes), at the pitch angle from 6,85 to 19,5 (angular minutes), with the distance between the centers of the three antennas being 0,7 m.

It should be noted that these results have been obtained for the active antennas with the small-size ground planes. Such antennas are designed for being used in transport. Therefore, to resist the multipath interference in the considered antennas the main attention is paid to the characteristics of the antennas themselves. To apply the given antennas in stationary GLONASS/GPS base stations it is possible to further suppress multipath interference using ground screens of special design, for example, a conventional choke ring screen or a low-profile impedance screen with a varying impedance.

## REFERENCES

1. Kunysz W. Antenna phase center effects and measurements in GNSS ranging applications // 14th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics & the American Electromagnetics Conference (ANTEM-AMEREM). 2010. 5–8 July, 2010. P. 1–4
2. Kunysz W., Badger E., Plamondon D. Leaky wave antenna with radiating structure including fractal loops // Patent WO 2007/009216 A1 25. January, 2007.
3. Владимиров В.М., Кондратьев А.С., Крылов Ю.В., Марков В.В., Федотов П.М., Шенов В.Н. Щелевая полосковая антенна вытекающей волны с дополнительными щелями с малой электрической длиной // Антенны. 2012. № 11. С. 12–17.
4. Владимиров В.М., Кондратьев А.С., Крылов Ю.В., Марков В.В., Федотов П.М., Шенов В.Н. Навигационные характеристики щелевой полосковой антенны вытекающей волны // Изв. вузов. Сер. Физика. 2012. № 8. С. 86–90.
5. Владимиров В.М., Кондратьев А.С., Крылов Ю.В., Марков В.В., Федотов П.М., Шенов В.Н. Исследования стабильности фазовых центров щелевой полосковой антенны вытекающей волны // Изв. вузов. Сер. Физика. 2012. № 9/2. С. 45–48.