

УДК 621.396.6

В.М. ВЛАДИМИРОВ, В.В. МАРКОВ, В.Н. ШЕПОВ

ЩЕЛЕВАЯ ПОЛОСКОВАЯ АНТЕННА КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ СПИРАЛЬНЫМИ ЩЕЛЯМИ В ИЗЛУЧАТЕЛЕ

Предложен новый способ выполнения дополнительных щелей в излучателе щелевой полосковой антенны вытекающей волны с круговой поляризацией. Особенностью данного способа является то, что дополнительные щели в металле верхней стороны излучателя антенны выполняются в виде отрезков спиралей, расположенных между закрученными по спирали основными щелями излучателя. Электрическая длина дополнительных щелей выполняется меньше электрической длины основных щелей излучателя. Показано, что применение таких дополнительных щелей позволяет равномернее распределить линии СВЧ-тока вдоль основных щелей излучателя, что приводит к улучшению основных технических характеристик щелевых полосковых антенн вытекающей волны с круговой поляризацией. Антенна предназначена для высокоточного позиционирования по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем 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.

Введение

Щелевые полосковые антенны вытекающей волны находят широкое применение как в односистемных, так и в мультисистемных приемниках Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), включая ГЛОНАСС, GPS, GALILEO [1]. Несомненными достоинствами данных антенн являются: широкая диаграмма направленности (ДН), единый фазовый центр и широкополосность, позволяющая принимать навигационные сигналы в частотном диапазоне 1160–1615 МГц с помощью одного плоского излучателя. При этом данные антенны постоянно совершенствуются.

В работе [2] предложена щелевая полосковая антенна вытекающей волны с дополнительными щелями, настроенными на рабочий диапазон частот антенны. Дополнительные щели расположены по краю антенны и названы «фрактальными петлями». Благодаря более равномерному распределению дополнительных щелей по площади антенны в данном способе удалось повысить стабильность фазового центра, уменьшить коэффициент эллиптичности антенны и увеличить уровень подавления кросс-поляризации. Однако в такой антенне дополнительные щели, названные «фрактальными петлями», настроены только на один частотный диапазон $L1$. На другие частотные диапазоны ($L2$ и $L3$) настроены щели, которые располагаются во внутренней части излучателя антенны. Поэтому основные технические характеристики такой антенны, в частности коэффициент усиления, коэффициент эллиптичности, уровень подавления кросс-поляризации и стабильность фазовых центров в частотных диапазонах $L2$ и $L3$ в два раза хуже, чем в $L1$.

В работе [3] предложен новый способ улучшения технических характеристик щелевых полосковых антенн вытекающей волны с круговой поляризацией. Способ заключается в выполнении в металле верхней стороны излучателя антенн дополнительных щелей, электрическая длина которых выполняется меньше электрической длины основных щелей. Дополнительные щели выполняются определенным образом: либо в виде концентрических дуг вокруг геометрического центра излучателя антенны, либо в виде отрезков спиралей и располагаются между закрученными по спирали основными щелями излучателя. При этом все основные щели выполнены на единой (волновой или полуволновой) моде колебаний H -волны и настроены поочередно на частотные диапазоны $L1$ и $L2 + L3$. Показано, что применение таких дополнительных щелей позволяет уменьшить продольную составляющую высокочастотного магнитного поля. Благодаря этому, линии СВЧ-тока равномернее распределены вдоль основных щелей антенны. Поэтому улучшаются основные технические характеристики антенны, в частности уменьшается коэффициент эллиптичности, увеличивается уровень подавления кросс-поляризации и повышается стабильность локальных фазовых центров антенны, что позволяет повысить стойкость данных антенн к многолучевости.

Щелевая полосковая антенна вытекающей волны с круговой поляризацией, в которой дополнительные щели выполнены в виде концентрических дуг вокруг геометрического центра излучателя, рассмотрена нами в работах [3–5]. В настоящей работе исследуются основные технические характеристики щелевой полосковой антенны вытекающей волны, в которой дополнительные ще-

ли выполняются в виде отрезков спиралей, расположенных между закрученными по спирали основными щелями излучателя антенны.

Расчетные модели антенн

На рис. 1 показаны расчетные модели пассивной щелевой полосковой антенны вытекающей волны с правой круговой поляризацией без дополнительных щелей (а) и с дополнительными щелями, выполненными в виде отрезков спиралей, расположенных между закрученными по спирали основными щелями (б).

Излучатель антенны выполняется из диэлектрической подложки с двусторонней металлизацией (1). В металле верхней стороны диэлектрической подложки выполняются основные щели (2). Они выполняются в виде отрезков спиралей, начинающихся в центральной области антенны (3) и заканчивающихся на ее краю. Для приема СВЧ-сигнала с круговой поляризацией основные щели закручиваются по спирали вокруг геометрического центра антенны. Направление закрутки определяется требуемым типом круговой поляризации антенны. Верхняя сторона излучателей, показанных на рис. 1, разработана для антенн с правой круговой поляризацией.

Между основными щелями выполняются дополнительные щели (4). Они выполняются в виде отрезков спиралей. Электрическая длина самых длинных дополнительных щелей меньше электрической длины самых коротких основных щелей излучателя антенны. Поэтому дополнительные щели практически не влияют на согласование основных щелей с подводящей микрополосковой линией (МПЛ) в диапазоне рабочих частот антенны.

В металле нижней стороны излучателя антенны выполняется МПЛ (5), индуктивно связанная с основными щелями на верхней стороне излучателя. МПЛ выполняется в виде спирали, закрученной вокруг фазового центра антенны. Для лучшего согласования МПЛ с возбуждаемыми основными щелями волновое сопротивление МПЛ может отличаться от 50 Ом и согласовываться с 50-омным фидером с помощью трансформатора волнового сопротивления (6).

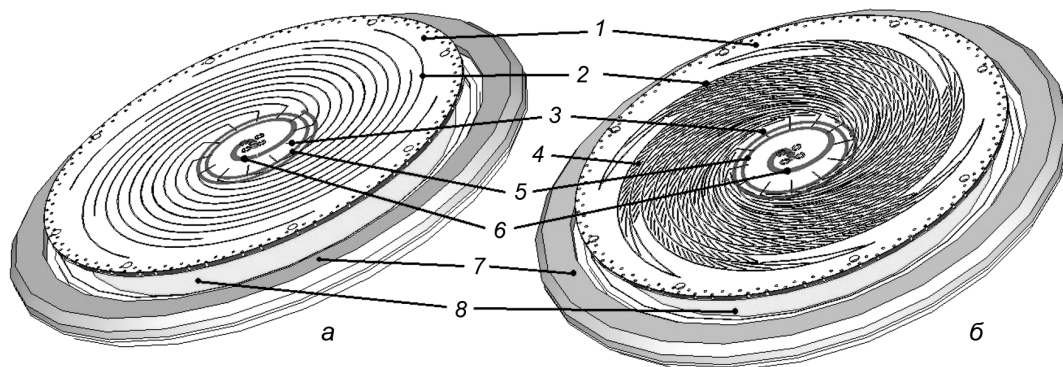


Рис. 1. Расчетные модели пассивной антенны без дополнительных щелей (а) и с дополнительными щелями, выполненными в виде отрезков спиралей, расположенных между основными щелями (б)

Для подавления заднего лепестка ДН и многолучевой интерференции в данной щелевой полосковой антенне вытекающей волны применяется простейший экран (7). Кроме того, для подавления многолучевости и излучения подводящей МПЛ между экраном и излучателем антенны применен поглотитель СВЧ-излучения (8).

Основные результаты и их обсуждение

На рис. 2 приведены рассчитанные ДН антенн в вертикальной плоскости, где ДН для антенны без дополнительных щелей показана на рис. 1, а, ДН для антенны с дополнительными щелями – на рис. 1, б. Расчет проведен на частоте 1575,4 МГц, в диапазоне азимутальных углов φ от 0 до 360°, где кривая 1 – правая, кривая 2 – левая круговая поляризация. Видно, что применение дополнительных щелей, выполненных в виде отрезков спиралей и расположенных между основными щелями излучателя, позволяет увеличить подавление левой круговой поляризации в диапазоне рабочих углов антенны ($\Theta = \pm 85^\circ$, где $\Theta = 0$ – зенит ДН антенны).

На рис. 3 приведены рассчитанные значения коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) для антенны без дополнительных щелей (1), с дополнительными щелями (2) и измеренные значения КСВН для антенны с дополнительными щелями в излучателе (3).

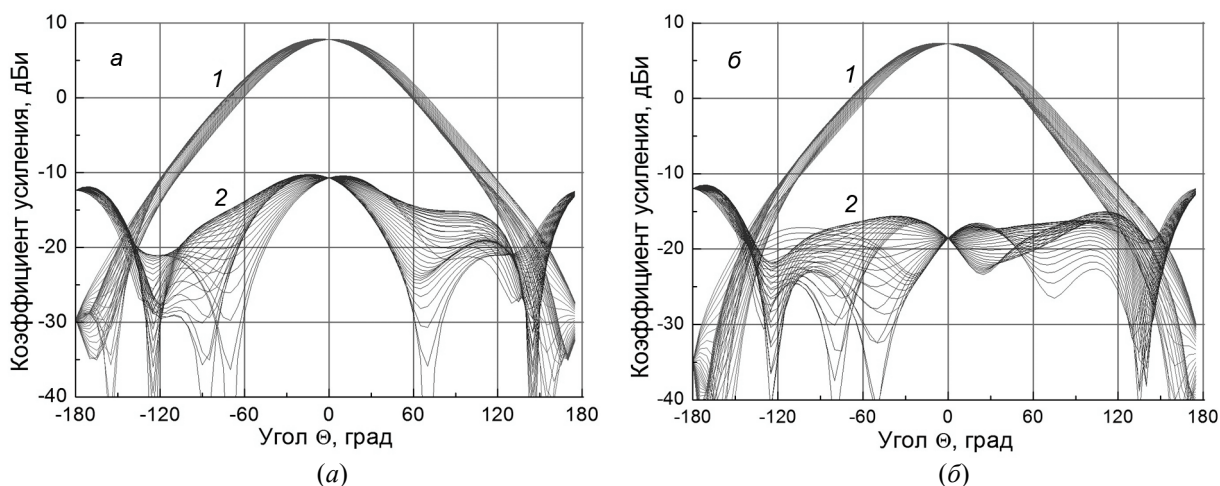


Рис. 2. Рассчитанные амплитудные ДН антенн в вертикальной плоскости на частоте 1575,4 МГц: антенна без дополнительных щелей (а) и антенна с дополнительными щелями, выполненными в виде отрезков спиралей и расположенными между основными щелями излучателя, (б)

Из рис. 3 видно, что создание в излучателе антенны дополнительных щелей с меньшей электрической длиной, чем электрическая длина основных щелей, практически не повлияло на согласование основных щелей излучателя антенны с МПЛ. Измеренные значения КСВН не превышают 1,5 в диапазоне частот 1190–1615 МГц.

На рис. 4 приведены рассчитанные частотные зависимости коэффициентов эллиптичности ($A.R.$) (а) и уровней подавления кросс-поляризации ($X-pol$) (б) в зените ДН антенны без дополнительных щелей (пустые кружки) и антенны с дополнительными щелями, выполненными в виде отрезков спиралей (точки).

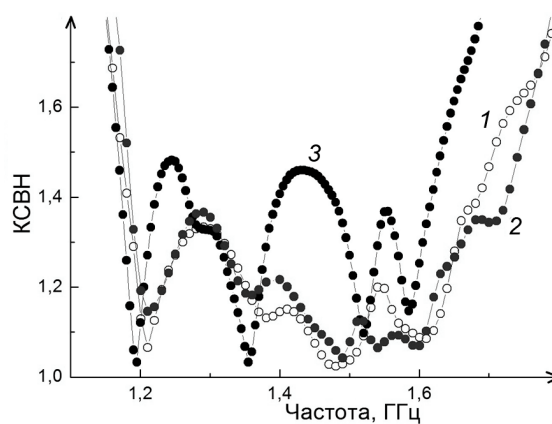


Рис. 3. Рассчитанные и измеренный КСВН антенн

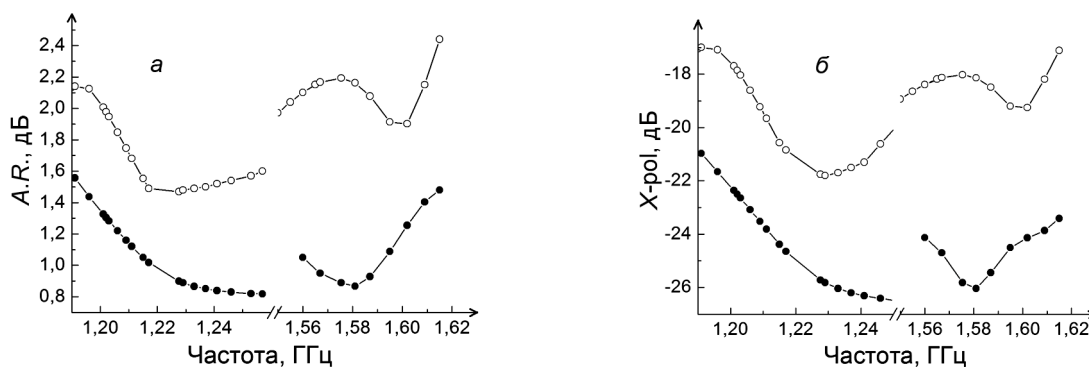


Рис. 4. Частотные зависимости коэффициентов эллиптичности (а) и уровней кросс-поляризации (б) в зените ДН антенны без дополнительных щелей (пустые кружки) и антенны с дополнительными щелями, выполненными в виде отрезков спиралей (точки)

Из рис. 4 видно, что применение дополнительных щелей в излучателе антенны, выполненных в виде отрезков спиралей и расположенных между основными щелями излучателя, позволяет уменьшить коэффициент эллиптичности и увеличить подавление кросс-поляризации во всех рабочих диапазонах частот антенны ($L1$, $L2$ и $L3$).

На рис. 5 приведены рассчитанные зависимости коэффициентов эллиптичности (а) и уровней кросс-поляризации (б) от угла Θ на частоте 1602 МГц для антенны без дополнительных щелей (пустые кружки) и антенны с дополнительными щелями, выполненными в виде отрезков спиралей (точки). Видно, что применение дополнительных щелей в излучателе антенны, выполненных в

виде отрезков спиралей и расположенных между основными щелями излучателя, позволяет уменьшить коэффициент эллиптичности и увеличить подавление кроссполяризации во всех рабочих диапазонах углов антенны ($\Theta = \pm 85^\circ$, где $\Theta = 0$ – зенит ДН антенны).

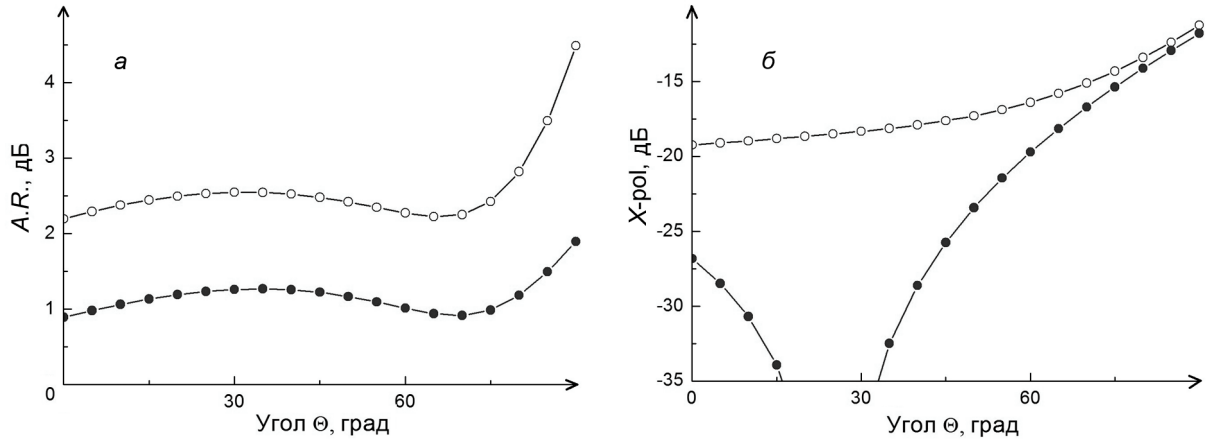


Рис. 5. Угловые зависимости коэффициентов эллиптичности (а) и уровней кросс-поляризации (б) антенны без дополнительных щелей (пустые кружки) и антенн с дополнительными щелями, выполненными в виде отрезков спиралей (точки) на частоте 1602 МГц

На рис. 6 приведены рассчитанные изменения локальных фазовых центров (PCV) антенны без дополнительных щелей (а, б, в) и антенны с дополнительными щелями (г, д, е) для случая, когда фазовые центры определены отдельно для каждого частотного диапазона: $L1$, $L2$ и $L3$.

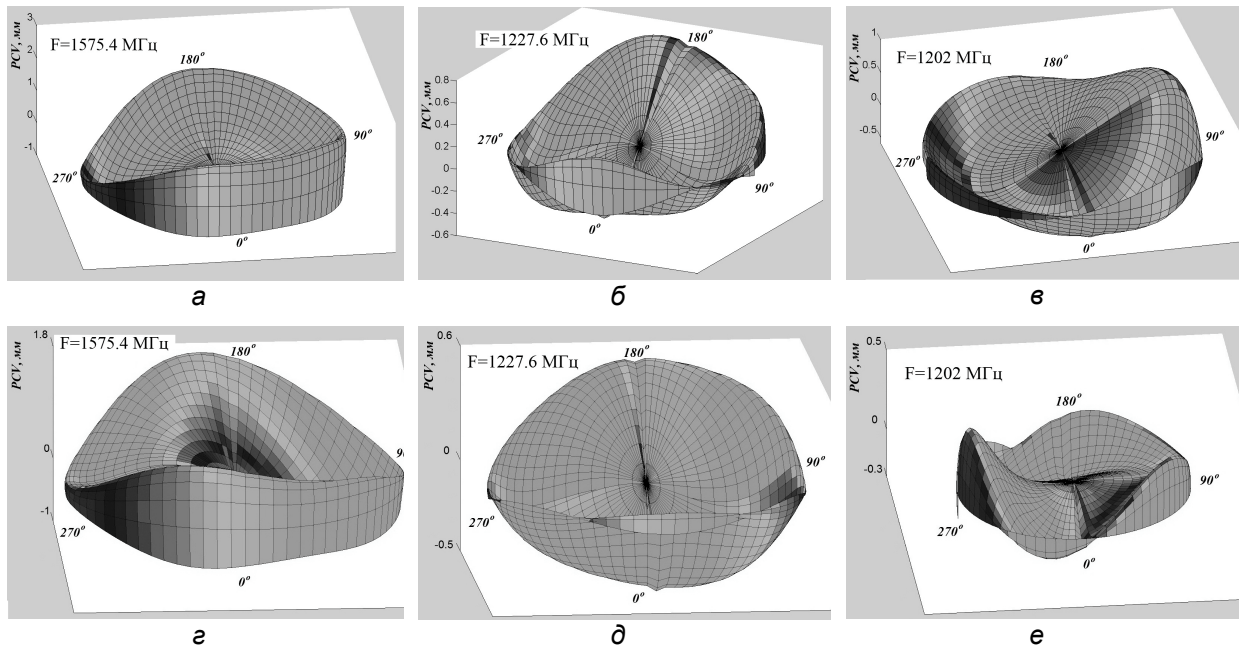


Рис. 6. Графическое представление изменения локальных фазовых центров (PCV) антенны без дополнительных щелей (а, б, в) и антенны с дополнительными щелями (г, д, е)

Из рис. 6 видно, что применение дополнительных щелей позволяет уменьшить изменения локальных фазовых центров антенны в диапазоне рабочих углов ($\Theta = \pm 85^\circ$ и $\phi = \pm 180^\circ$). Так, на частоте 1575,4 МГц PCV уменьшилось с 4 до 2,8 мм, на частоте 1227,6 МГц с 1,4 до 1,1 мм, на частоте 1202 МГц с 1,5 до 0,8 мм. Полученные данные коррелируют с данными работы [5], в которой показано повышение стабильности локальных фазовых центров в щелевых полосковых антеннах вытекающей волны с круговой поляризацией, в которых дополнительные щели выполнены в виде концентрических дуг вокруг геометрического центра антенны.

Наблюдаемое улучшение технических характеристик щелевой полосковой антенны вытекающей волны с дополнительными щелями в излучателе, выполненными в виде отрезков спиралей, связано, предположительно, как и в антеннах, в которых дополнительные щели выполнены в

виде концентрических дуг вокруг геометрического центра излучателя [3–5], с уменьшением эллиптичности сверхвысокочастотного магнитного поля H -волны, распространяющейся в щелевых полосковых излучателях. В отсутствие дополнительных щелей высокочастотное магнитное поле в основных щелях эллиптически поляризовано. Это приводит к отклонению силовых линий СВЧ-тока от направления щели. Применение же дополнительных щелей, расположенных между закрученными по спирали основными щелями излучателя и выполненными либо в виде концентрических дуг вокруг геометрического центра излучателя, либо в виде отрезков спиралей, позволяет уменьшить продольную составляющую высокочастотного магнитного поля H -волны. Благодаря этому линии СВЧ-тока равномернее распределены вдоль основных щелей антенны, что и приводит к улучшению основных технических характеристик антенны. Следует отметить, что при выполнении дополнительных щелей в другом виде данный эффект отсутствует.

Заключение

Таким образом, в настоящей работе рассмотрен новый способ выполнения дополнительных щелей в излучателе щелевой полосковой антенны вытекающей волны с круговой поляризацией. Особенностью данного способа является то, что дополнительные щели в металле верхней стороны излучателя антенны выполняются в виде отрезков спиралей, расположенных между закрученными по спирали основными щелями излучателя. Показано, что применение таких дополнительных щелей позволяет улучшить основные технические характеристики антенны, в частности уменьшить коэффициент эллиптичности, увеличить уровень подавления кросс-поляризации и повысить стабильность локальных фазовых центров антенны, что позволяет повысить стойкость данных антенн к многолучевости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kunysz W. Aperture coupled slot array antenna // Patent 0067315A1 U.S. Appl. №:09/375319; Filed: 16 Aug. 1999; Pub. Date: 6 Jun. 2002.
2. Kunysz W., Badger E., and Plamondon D. Leaky wave antenna with radiating structure including fractal loops // Patent WO 2007/009216 A1 25 Jan. 2007.
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. 86–91.
5. Владимиров В.М., Кондратьев А.С., Крылов Ю.В. и др. // Изв. вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 9/2. – С. 45–48.

Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия
E-mail: shepov@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 15.07.13.

Владимиров Валерий Михайлович, д.т.н., зав. отделом;
Марков Владимир Витальевич, к.ф.-м.н., науч. сотр.;
Шепов Владимир Николаевич, к.ф.-м.н., ст. науч. сотр.

V.M. VLADIMIROV, V.V. MARKOV, V.N. SHEPOV

PATCH SLOT CIRCULAR POLARIZATION ANTENNA WITH ADDITIONAL SPIRAL SLOTS IN THE RADIATOR

A new approach to perform additional slots in the radiator of a patch slot leaky wave circular polarized antenna is suggested. The peculiarity of the present approach consists in additional slots in the front side metal of the antenna radiator being implemented in the form of spiral patches located between the main spiral slots of the radiator. The electrical length of the additional slots is shorter than the electrical length of the main slots of the radiator. It is shown that the application of such additional slots allows microwave current lines to be more uniformly distributed along the main slots of the radiator, improving technical characteristics of the patch slot leaky-wave antennas with circular polarization. The antenna is designed for the high accuracy positioning using the signals of the global navigation satellite systems GLONASS/GPS in three frequency bands: $L1$, $L2$, $L3$.

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