

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО АМПЛИТУДНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ РАДИОСИГНАЛА НА ПРИЗЕМНОЙ ТРАССЕ

Блинковский Н. К., Гулько В. Л., Мещеряков А. А.
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники
Россия, 634050, Томск, просп. Ленина, 40
e-mail: msch@rts.tusur.ru

Аннотация

Приводятся результаты экспериментальных исследований влияния дифференциального амплитудного ослабления ортогонально линейно поляризованных компонент сигналов на приземной трассе протяженностью 8 км на их поляризационные характеристики в точке приема.

Приводятся зависимости за исследуемый период измерений средних значений изменения уровня принимаемых ортогонально поляризованных сигналов и их разность фаз, а также рассчитанные значения угла ориентации эллипса поляризации и значения коэффициента эллиптичности в трехсантиметровом диапазоне волн.

Ключевые слова: деполяризация, угол наклона эллипса поляризации, коэффициент эллиптичности, электромагнитная волна, амплитуда сигнала, разность фаз

EXPERIMENTAL STUDIES OF DIFFERENTIAL AMPLITUDE ATTENUATION OF RADIO SIGNAL ON THE GROUND TRACK

Blinkovsky N. K., Gulko V. L., Mescheryakov A. A.
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics
Tomsk, Russia
e-mail: msch@rts.tusur.ru

Abstract

The results of experimental investigations of the influence of differential amplitude attenuation of orthogonally linearly polarized components of signals on the 8-km ground track on their polarization characteristics at the reception point are presented.

The dependences for the investigated measurement period of the average values of the level change of the received orthogonally polarized signals and their phase difference, as well as the calculated values of the

polarization ellipse orientation angle and the values of the ellipticity coefficient in the three-centimeter wavelength range are given.

Keywords: depolarization, polarization ellipse inclination angle, ellipticity coefficient, electromagnetic wave, signal amplitude, phase difference

Введение

В настоящее время сантиметровый диапазон волн используется не только в системах радиолокации и радионавигации, но и в системах связи, к которым относятся как наземные радиорелейные линии [1], так и системы космической связи [2,3]. На трассах распространения радиоволн в этом частотном диапазоне на искажения параметров радиосигналов оказывает существенное влияние атмосфера. Одной из характерных особенностей влияния атмосферы является зависимость энергетических параметров сигнала от количества и состояния гидрометеоров на трассе. Другими особенностями также являются наличие анизотропии в атмосферном канале связи и деполяризация сигнала, т.е. изменение таких поляризационных параметров как коэффициента эллиптичности r и угла наклона эллипса поляризации β [4]. Основными факторами, вызывающими искажение поляризационных параметров сигналов в точке приема, являются рефракционные явления и многолучевое распространение, рассеяние на гидрометеорах, находящихся в различных фазах, рассеяние на неоднородностях коэффициента преломления атмосферы [5].

Изменение поляризации в гидрометеорах вызывается неодинаковым ослаблением и различным фазовым сдвигом ортогонально поляризованных компонент сигнала, что приводит к изменению отношения амплитуд и фазовому сдвигу между ортогонально поляризованными составляющими разложения сигнала в заданном поляризационном базисе, т.е. к изменению модуля и аргумента фазора [4]. Количественно эти отличия определяются величинами дифференциального амплитудного ослабления $\Delta\alpha$ [дБ/км] и дифференциального фазового сдвига $\Delta\Phi$ [град/км], характеризующими различие в ослаблении и фазовом сдвиге на единицу длины трассы ортогонально поляризованных компонент сигнала в заданном поляризационном базисе [5].

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований влияния дифференциального амплитудного ослабления ортогонально линейно поляризованных компонент сигналов на их поляризационные характеристики в точке приема при

распространении на приземной трассе протяженностью 8 км в зимний период времени.

Методика проведения экспериментальных исследований

Методика проведения экспериментальных исследований заключалась в следующем.

Из передающего пункта передатчик из двух точек, разнесенных в горизонтальной плоскости на расстоянии d (называемом обычно базой), одновременно излучал ортогонально линейно поляризованные сигналы с вертикальной и горизонтальной поляризациями с равными амплитудами, начальными фазами и длинами волн λ .

В приемном пункте приемная антенна осуществляла прием ортогонально линейно поляризованных сигналов и после их линейного поляризационного разделения на горизонтальные $\vec{E}_x$ и вертикальные $\vec{E}_y$ компоненты сигналов, осуществлялось измерение амплитуд A_x и A_y сигналов и их разность фаз φ_{xy} . По измеренным значениям амплитуд сигналов и разности фаз определялся коэффициент эллиптичности r и угол наклона эллипса поляризации β суммарной (в векторном смысле) электромагнитной волны в точке приема по формулам [4]

$$r = \sqrt{\frac{A}{B}} \quad (1)$$

и

$$\beta = \frac{1}{2} \arctg \frac{2A_x A_y \cos \varphi_{xy}}{A_x^2 - A_y^2}, \quad (2)$$

где

$$A = A_x^2 \sin^2 \beta - A_x A_y \sin 2\beta \cos \varphi_{xy} + A_y^2 \cos^2 \beta, \quad (3)$$

$$B = A_x^2 \cos^2 \beta + A_x A_y \sin 2\beta \cos \varphi_{xy} + A_y^2 \sin^2 \beta. \quad (4)$$

Если среда распространения будет поляризационно изотропна, т.е. дифференциальное амплитудное ослабление в среде распространения $\Delta\alpha = 0$ [дБ/км] и дифференциальный фазовый сдвиг $\Delta\Phi = 0$ [град/км], то подставляя в (1–4) $A_x = A_y$ и $\varphi_{xy} = 0$ получим:

$$\beta = 45^\circ \text{ и } r = 0. \quad (5)$$

Из (5) следует, что на направлении, совпадающем с перпендикуляром к базе d , суммарная электромагнитная волна в точке приема будет линейно поляризована с углом ориентации плоскости поляризации 45° .

Если среда распространения не вносит дифференциальный фазовый сдвиг (т.е. $\Delta\Phi = 0$) в ортогонально линейно поляризованные сигналы, распространяющиеся на приземной трассе, а дифференциальное амплитудное ослабление не равно нулю ($\Delta\alpha \neq 0$), тогда, подставляя $\varphi_{xy} = 0^\circ$ в (1–4), когда $A_x \neq A_y$, видим, что суммарная электромагнитная волна будет всегда линейно поляризована, т.е. $r=0$, а угол ориентации плоскости поляризации β будет изменяться.

Если, например, $A_x = 0,5A_y$, то угол ориентации плоскости поляризации суммарной электромагнитной волны β будет составлять величину $67,5^\circ$.

Результаты экспериментальных исследований

Экспериментальная оценка дифференциального амплитудного ослабления ортогонально линейно поляризованных компонент импульсных сигналов проводилась на частоте 9,3 ГГц при их распространении на открытой приземной трассе протяженностью 8 км в зимний период времени.

В состав экспериментальной установки входили передающее и приемное устройства, расположенные на концах трассы распространения радиоволн.

Передающее устройство имело две рупорные антенны, одновременно излучающие ортогонально линейно поляризованные сигналы с вертикальной и горизонтальной поляризациями с равными амплитудами, длинами волн и известными начальными фазами из двух точек, пространственно разнесенных в горизонтальной плоскости на расстояние d . Расстояние d составляло 0,4 метра. Прием радиосигнала, прошедшего трассу распространения, осуществлялся на зеркальную параболическую антенну. Антенна представляла собой параболическое зеркало диаметром 1 м с шириной диаграммы направленности по уровню половинной мощности 2° , коэффициентом усиления 38 дБ. Чувствительность приемника составляла минус 120 дБ/Вт.

С выхода приемной антенны сигналы после линейного поляризационного разделителя поступали на двухканальное приемное устройство, обеспечивающее регистрацию и запись квадратурных составляющих в файлы данных.

Измерения проводились сеансами длительностью 300 сек с периодом выборки принимаемых сигналов 10 мс. Развязка двух поляризационно разнесенных каналов приема составляла величину 15–

17 дБ. С целью уменьшения влияния подстилающей поверхности на точность измерения поляризационных параметров радиоволн передающие и приемные антенны располагались над земной поверхностью на высотах 20 м и 30 м соответственно. При этом уровень сигналов по боковым лепесткам, принимаемых с направлений от подстилающей поверхности и окружающих предметов, был на 40 дБ меньше уровня полезного сигнала.

Экспериментальные измерения проводились ежедневно в дневное время суток, соответствующие 12 часам местного времени в период со 2 по 28 января 2023 г.

По записанным квадратурным составляющим ортогонально линейно поляризованных сигналов рассчитывались амплитуды сигналов с вертикальной и горизонтальной поляризациями и разность фаз между ними.

Пример изменения амплитуды сигналов с вертикальной и горизонтальной поляризациями в течение одного из сеансов измерения приведен на рис. 1.

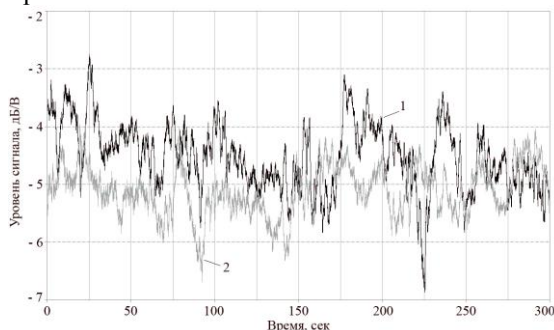


Рис. 1. Изменение амплитуды сигнала 1 – вертикальной, 2 – горизонтальной поляризации за сеанс измерения

На рис. 2 показано изменение разности фаз между ортогональными составляющими принятого сигнала этого же сеанса измерений.

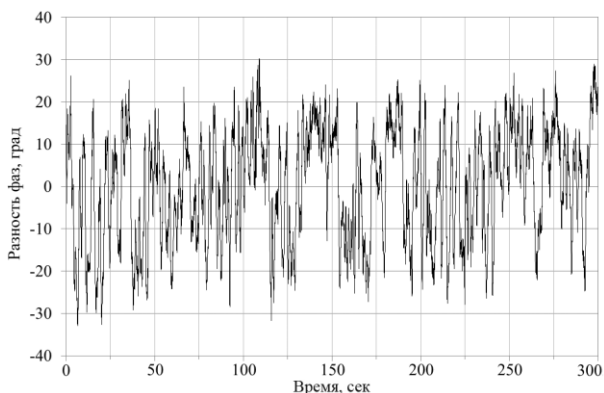


Рис. 2. Изменение разности фаз между ортогональными составляющими принятого сигнала за сеанс измерения

По сеансам измерения рассчитывались средние значения амплитуд и разности фаз принимаемых сигналов.

На рис. 3 приведен средний уровень ортогонально линейно поляризованных сигналов за весь период измерений.

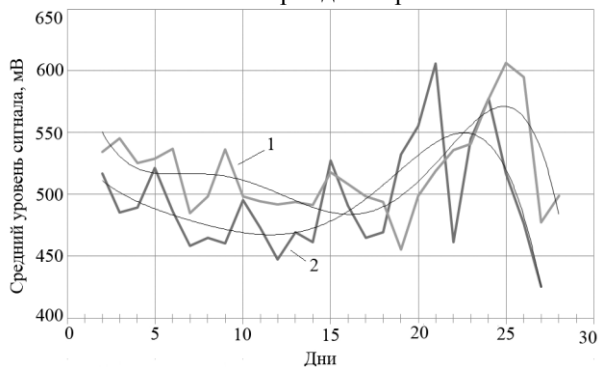


Рис.3. Средний уровень ортогонально линейно поляризованных сигналов за весь период измерений: 1 – амплитуда вертикально поляризованной составляющей сигнала, 2 – амплитуда горизонтально поляризованной составляющей сигнала

Средние значения разности фаз за весь период измерения приведены на рис. 4.

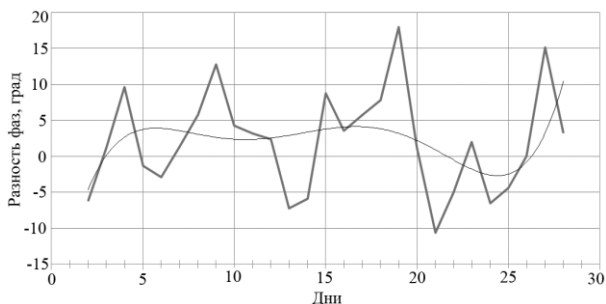


Рис.4. Средние значения разности фаз φ_{xy} ортогонально линейно поляризованных сигналов за весь период измерений

По измеренным значениям амплитуд и разности фаз в соответствии с (1) и (2) рассчитывались поляризационные параметры (угол ориентации эллипса поляризации β и коэффициент эллиптичности r) результирующей волны в точке приема.

Результаты расчета приведены на рис. 5 и рис.6.

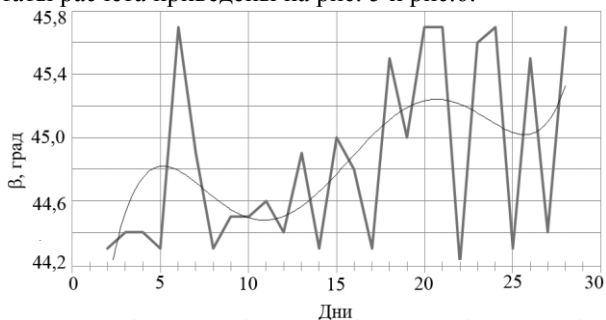


Рис.5. Средние значения угла ориентации эллипса поляризации β за весь период измерений

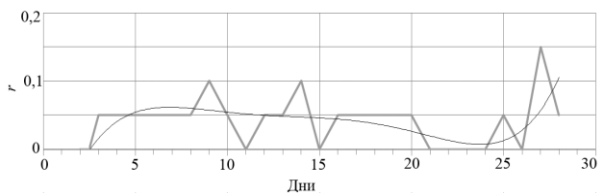


Рис.6. Средние значения коэффициента эллиптичности r за весь период измерений

На всех представленных рисунках плавной линией показана тенденция изменения параметров за весь период измерений.

Работа выполнена в рамках проекта по государственному заданию Минобрнауки РФ (№ FEWM–2023–0014).

Выводы

По результатам теоретических и экспериментальных исследований установлено, что в случае, когда дифференциальный фазовый сдвиг на трассе распространения близок к нулю, при изменении амплитуд ортогонально линейно поляризованных сигналов в точке приема изменяется в малых пределах коэффициент эллиптичности (т.е. вид поляризации результирующей электромагнитной волны остается линейно поляризованной), а в большей степени изменяется ее угол ориентации плоскости поляризации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Видель А.А., Ветюганов А.И. Цифровые радиорелейные линии связи // Зарубежная радиоэлектроника. 1977. № 11. С. 82–89.
2. Сомов А. М. Спутниковые системы связи: учебное пособие для вузов / Под ред. А. М. Сомова. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2012. – 244 с.
3. Бахтин А.А., Омельянчук Е.В., Семенова А.Ю. Анализ современных возможностей организации сверхвысокоскоростных спутниковых радиолиний // Труды МАИ. 2017. Вып. № 96.
4. Богородский В.В., Канарейкин Д.Б., Козлов А.И. Поляризация рассеянного и собственного радиоизлучения земных покровов. Л. Гидрометеиздат. 1981. 279 с.
5. Родимов А.П., Поповский В.В., Дмитриев В.И. Особенности использования поляризационных параметров электромагнитных волн в линиях связи миллиметрового диапазона // Зарубежная радиоэлектроника. 1980. №7. С. 25–37.