

УДК 621.373.3

В.Н. Абарыков, А.С. Батороев

**ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ
ДИФРАКЦИОННОГО ПОЛЯ УКВ НА ГОРНЫХ
РАДИОТРАССАХ**

Известно, что величина дифракционного поля на закрытых трассах зависит от ряда факторов [1–3], куда входят форма вершины экранирующих препятствий и импедансные свойства их поверхности. Существующие модели расчета, основанные на строгих решениях задач дифракции, позволяют с удовлетворительной точностью прогнозировать величину и устойчивость дифракционного поля на большинстве реальных закрытых радиотрасс. Однако, на практике из-за сложности и неоднородности рельефа вершин естественных препятствий и их покрова общепринятые аппроксимирующие модели препятствий [1] в ряде случаев не могут объяснить экспериментальные значения и поляризационные зависимости дифракционного поля. В качестве таких примеров был рассмотрен ряд гористых радиотрасс с разными характеристиками экранирующих вершин, на которых наблюдались расхождения прогнозируемых и измеренных значений дифракционного ослабления. В таблице приведены основные характеристики некоторых радиотрасс. Трассы 1, 2 и 3 отличались сплошным лесным покровом на всем протяжении экранирующего горного хребта. Вершина хребта на трассе 1 была сильно изрезана в направлении трассы естественными неровностями и относилась к типу толстых предельно неровных тел. На трассах 2 и 3 вершины были гладкими, ровными и неплохо аппроксимировались цилиндрической поверхностью. Трассы 4, 5

и 6 не имели лесного покрова на препятствиях. Горы на этих трассах были покрыты невысокой травой, а почва была сухой, песчано-каменистой. Экранирующие вершины на трассах 4 и 5 относились к типу изрезанных, причем препятствие на трассе 4 представляло собой цепь горных хребтов и отличалось сильной изрезанностью и протяженностью вдоль трассы. Гребень горы на трассе 5 состоял из крупных каменистых неровностей и неглубоких оврагов, которые создавали не очень сильную изрезанность вершины. Трасса 6 характеризовалась гладкой выпуклой вершиной, которая удовлетворительно аппроксимировалась цилиндрической поверхностью. Профили трасс 1 и 5 приведены на рис. 1. Препятствия на трассах 7, 8 и 9 состояли из ряда горных хребтов, покрытых лесными массивами и относились к типу многовершинных, предельно неровных. Кроме того, трассы 8 и 9 отличались большой протяженностью.

Ожидаемое ослабление поля относительно свободного пространства для указанных трасс было рассчитано по трем моделям экранирующих препятствий: при дифракции на остром клиновидном препятствии [1]; при дифракции на гладкой сфере [1]; при дифракции на препятствии поглощающего типа [2]. Результаты расчета показали, что наибольшее расхождение в значениях функции ослабления, рассчитанных по различным моделям экранирующих

Таблица 1

Номер трассы	r_1 , км	r_2 , км	ψ_1 , мР	ψ_2 , мР	θ , мР	a , км	Примечание
1	6,2	3,0	75	132	207	9,5	Вершины препятствий покрыты сплошным сосновым лесом с высотой деревьев 10-20 м
2	4,7	4,1	70	151	155	2,6	
3	1,7	1,0	140	210	134	2,0	
4	5,5	2,5	62	95	140	25,0	На вершинах препятствий травяной покров высотой 0,2-0,5 м
5	5,5	3,8	85	90	95	0,7	
6	0,7	0,8	230	60	268	1,6	
7	5,3	5,1	25	76	120	65,0	Препятствия лесистые, состоят из цепи протяженных горных хребтов
8	27,6	45,8	61,7	47	98,7	419,0	
9	13,8	49,8	130	29	159	255,0	
10	19	18	-	-	38	-	Трассы исследованы другими авторами [3]
11	2,3	12,5	-	-	162	-	
12	7,2	12,5	-	-	61	-	

Примечание: $r_{1,2}$ – расстояние от препятствия до передатчика, приемника; $\psi_{1,2}$ – углы скольжения луча, направленного с вершины препятствия на передатчик, приемник; θ – угол дифракции, a – радиус кривизны сферы, аппроксимирующей вершину препятствия

препятствий, наблюдается в дециметровом и сантиметровом диапазонах УКВ, где форма вершины препятствия начинает играть существенную роль. Это расхождение может достигать нескольких десятков децибелл. Такие же результаты получаются и в метровом диапазоне для протяженных вдоль трассы препятствий. Наиболее близкое соответствие экспериментальным результатам показала модель выпуклого поглощающего тела, причем это соответствие наблюдалось для различных по типу препятствий: для сравнительно острых (трасса 5), для выпуклых с гладкой (трассы 2, 3, 6) и очень неровной вершиной (трассы 1, 4) и для предельно неровных, многовершинных (трассы 7, 8, 9).

Лесной покров на вершинах естественных препятствий оказывал заметное влияние на величину ослабления поля в зависимости от типа поляризации в метровом радиодиапазоне. При вертикальной поляризации поля значение ослабления для лесистых вершин, как правило, было большим, чем при горизонтальной, причем наблюдалась тенденция к увеличению этого различия с ростом частоты сигнала. Поэтому расчет ослабления на поглощающей модели для таких трасс не всегда давал удовлетворительное совпадение с экспериментом для обоих видов поляризации. Так, на трассе 2 для вертикальной поляризации лучшие результаты были получены при расчете ослабления на гладком выпуклом теле с диэлектрической поверхностью. Для горизонтальной поляризации на этой же трассе более близкие к экспериментальным значениям дал расчет по поглощающей модели. Для трасс, экранирующие вершины которых не имели лесного покрова большого различия в величине ослабления при разных поляризациях поля не отмечалось, хотя наблюдалась обратная тенденция по сравнению с ле-

системы трассами: значение ослабления поля при горизонтальной поляризации несколько превышало величину ослабления при вертикальной поляризации. В дециметровом и сантиметровом диапазоне явных поляризационных эффектов на исследованных трассах не отмечалось, что объясняется, по-видимому, диффузными свойствами поверхности экранирующих вершин. Указанные поляризационные эффекты не объяснялись теорией дифракции на выпуклых проводящих телах, что отмечалось также другими авторами [2].

В работах [2, 3] приводятся выражения для функции ослабления T , учитывающей влияние формы и кривизны поверхности вершины экранирующего препятствия, причем в [2] рассмотрена модель поглощающего типа без учета электродинамических характеристик экранов. Выражения для функции ослабления в этой модели получены в виде зависимостей от двух обобщенных параметров μ , ζ , аналогичных фоковским параметрам для гладкой сферы и характеризующих высоту, толщину экранирующего тела и глубину погружения в тень точки наблюдения:

$$T(\mu, \zeta) = 1 - 2\sqrt{\pi} \cdot \zeta \cdot G(\mu, \zeta) e^{-i\frac{\pi}{4}} \quad \text{при } 0 < \zeta < 2,5 \quad (1)$$

$$T(\mu, \zeta) = 2\sqrt{\pi} \cdot \zeta \cdot g(\mu, \zeta) e^{-i\frac{\pi}{4}} \quad \text{при } \zeta > 1,5$$

Выражения (1) после сшивания в переходной области представлены в графическом виде [2]. В работе [3] дается аналитическое выражение подобной функции T в теневой области, но с учетом электрических свойств поверхности аппроксимируемой вершины:

$$T_e = e^{i\varphi_0} \frac{V_0}{V_2} \times \left[1 + \frac{\rho \Phi}{1 + P_1} e^{i\frac{\pi}{3}} - \eta (1 - V_0^2 e^{-i\varphi_1}) Q \right] \quad (2)$$

В функции T_e (2) влияние электрических свойств вершины препятствия и типа поляризации падающего поля учитывается через параметры: Φ – коэффициент отражения, ρ – коэффициент расходимости и η – корректирующий коэффициент смыкания дифракционного и интерференционного поля в плоскости интегрирования [3].

В данной работе путем сравнительного анализа выражений (1), (2) были определены значения связующего коэффициента k_c для различных величин Φ и ρ так, чтобы выполнялось соотношение (3) в пределах его применимости, при этом $1 \geq \Phi > 0$ соответствовало вертикальной поляризации, $-1 \leq \Phi < 0$ – горизонтальной, при $\Phi \rightarrow 0$ влияние выпуклой вершины описывается поглощающей моделью (1):

$$T_e \cong k_c \cdot T(\mu, \zeta),$$

$$k_c = 1 - \eta \cdot \Phi (1 - \rho), \quad \rho = (1 + \zeta)^{-\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

$$\eta = \left[1 + \rho \Phi + (\rho \Phi)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

На рис. 2 приведено семейство кривых (3) для разных значений Φ (пунктир), там же сплошной линией показана $T(\zeta)$, соответствующая поглощающей модели (1) при $\mu \geq 2$. На эти графики нанесены экспериментальные результаты, приведенные в табл. 2. Крестики соответствуют вертикальной поляризации поля, точки – горизонтальной. Как видно из рис. 2, предложенная модель выпуклого препятствия удовлетворительно объясняет величину и поляризационные эффекты дифракционного поля на лесистых горных трассах в метровом диапазоне. На трассах с безлесными вершинами, поверхность которых изрезана естественными неровностями, поляризационные эффекты практически не наблюдались из-за преобладания, по-видимому, диффузного рассеяния падающего поля и, соответственно, малых значений $\Phi \rightarrow 0$. Отметим, что данная модель позволит решать и задачи обратного характера: по измеренным величинам поляризации различия дифракционного поля определять эффективные коэффици-

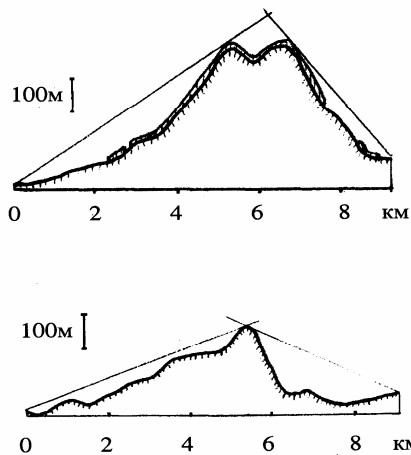


Рис. 1

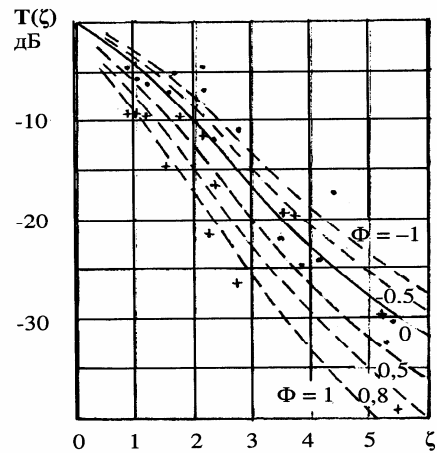


Рис. 2

енты отражения лесных покровов экранирующих вершин.

На основании изложенного можно сделать вывод, что в сложных случаях дифракционных трасс наиболее удовлетворительные результаты по прогнозу величины ослабления поля дает поглощающая модель вершины препятствия, но

при этом в метровом диапазоне радиоволн необходимо учитывать импедансные факторы среды через поправочные коэффициенты отражения, объясняющие поляризационную зависимость ослабления и его вариации при сезонных климатических изменениях свойств подстилающей поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин А.И., Черенкова Е.А. Распространение радиоволн и работа радиолиний. М. «Связь», 1971.
2. Хомяк Е.М. Абарыков В.Н. К расчету дифракционного ослабления УКВ от естествен-

ных препятствий. Труды БИЕН. Вып. 1, серия физическая, Улан-Удэ, 1968.

3. Цыдыпов Ч.Ц. Распространение ультракоротких радиоволн. Новосибирск, Наука (Сибирское отделение), 1977.

Коротко об авторах

Абарыков В.Н. – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
 Батороев А.С. – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией волновых процессов,
 Отдел физических проблем при Президенте БНЦ СО РАН, г. Улан-Удэ.

