

О ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ВЫСОТЕ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ

И. Г. Кудинцева, А. П. Николаенко

При регистрации вертикальной электрической составляющей низкочастотных радиоволн применяются антенны с емкостной нагрузкой. Такие антенны представляют собой проводящие датчики поля, образованные телами правильной формы (шар, диск, цилиндр), приподнятыми над земной поверхностью [1-3]. Очевидно, что для несущей конструкции антенны, выполненной из изолятора с относительной диэлектрической проницаемостью, равной единице, потенциал датчика поля будет равен невозмущенному значению. В то же время влияние проводимости несущей конструкции должно изменить действующую высоту антенны по сравнению с геометрической.

Целью настоящей работы является учет этого влияния и получение формул, описывающих действующую высоту антенны с сосредоточенной емкостью, расположенной на металлической несущей конструкции.

Зададимся следующей моделью. Мачта представляет собой половину идеально проводящего эллипсоида с малыми полуосями $b=c$ и большой полуосью a , установленную перпендикулярно плоской идеально проводящей поверхности Земли, потенциал которой равен нулю. Датчик поля расположен в точке A на продолжении большой оси эллипсоида: $\rho_A^2 = z^2 + y^2 = 0$; $x_A = a + h$. Для простоты будем предполагать, что оттяжки антенны отсутствуют, а форма проводника, создающего собственную емкость датчика поля C_0 , совпадает с эквипотенциальной поверхностью, проходящей через точку A .

Поскольку в НЧ диапазоне характерные размеры антенны значительно меньше длины волны, для описания приема распространяющихся электромагнитных волн можно использовать решение задачи электростатики. Таким образом, нам необходимо учесть пространственные изменения распределения потенциала однородного электростатического поля, связанные с наличием проводящей эллипсоидальной мачты.

Необходимо отметить, что в последнее время появился ряд работ, в которых решаются задачи, близкие к поставленной нами и связанные с влиянием на уровень регистрируемого поля естественного рельефа местности в окрестности точки приема [4, 5]. С этой точки зрения антенную мачту можно рассматривать как некоторый искусственно созданный элемент рельефа.

Используя симметрию задачи, сведем ее к расчету возмущения однополюсного электростатического поля в свободном пространстве, создаваемого металлическим эллипсоидом вращения, большая ось которого параллельна полю. Тогда вертикальная электрическая антенна измеряет разность потенциалов точек $A(a+h; 0; 0)$ и $A'(-a-h; 0; 0)$, равную [6, 7]

$$U = 2E_A \left\{ 1 - \left[\frac{1}{2} \ln \frac{r_A + x_\Phi}{x_A - x_\Phi} - \frac{x_\Phi}{x_A} \right] \left[\frac{1}{2} \ln \frac{1 + \epsilon}{1 - \epsilon} - \epsilon \right] \right\}, \quad (1)$$

где $x_A = a + h$ — высота датчика поля над землей, $x_\Phi = \sqrt{a^2 - b^2}$ — координаты фокуса эллипсоида вращения; E — напряженность однородного внешнего поля, ориентированного вдоль направления оси x ; $\epsilon = x_\Phi/a < 1$ — параметр, описывающий степень вытянутости эллипсоида.

Перейдя к действующей высоте $H_d = U/E$, после несложных преобразований получим следующее соотношение:

$$H_d = 2(a+h) \left[1 - \left(\frac{1}{2} \ln \frac{2a+h}{h} - \frac{a}{a+h} \right) \left(\ln \frac{2a}{b} - 1 \right)^{-1} \right]. \quad (2)$$

Здесь предполагалось, что эллипсоид вращения, описывающий мачту, сильно вытянут, а малые члены порядка b^2/a^2 по сравнению с единицей были отброшены.

Для практических расчетов, когда $h/a \ll 1$, формулу (2) можно упростить:

$$H_d = 2a \left[1 - (\ln \sqrt{2a/h} - 1) (\ln(2a/b) - 1)^{-1} \right]. \quad (3)$$

При сопоставлении результатов расчетов с данными эксперимента может оказаться удобным использовать коэффициент удлинения антенны:

$$K = \frac{H_d}{a+h} = 2 \left[1 - \left(\frac{1}{2} \ln \frac{2a+h}{h} - \frac{a}{a+h} \right) \left(\ln \frac{2a}{b} - 1 \right)^{-1} \right]. \quad (4)$$

Из формул (1)–(4) видно, что влияние мачты приводит к уменьшению действующей высоты антенны по сравнению с высотой подъема датчика поля. В табл. 1 приведены результаты расчетов действующих высот и коэффициентов удлинения как функций высоты мачты a для различных высот подвеса датчика поля h , $b=2.5$ см.

Результаты расчетов представлены графически на рис. 1а, б. По горизонтальной оси обоих графиков в логарифмическом масштабе отложена высота мачты a в мет-

рах. На рис. 1а по оси ординат в логарифмическом масштабе отложена действующая высота антенны H_d в метрах, там же показана линейная зависимость $H_d = a$ (штрихпунктирная кривая). На рис. 1б по вертикальной оси отложены удлинения антенны K в линейном масштабе.

Таблица 1

Влияние высоты мачты на характеристики вертикальной электрической НЧ антенны

$a, \text{ м}$	$h = 15 \text{ см}$		$h = 25 \text{ см}$		$h = 50 \text{ см}$		$h = 1,0 \text{ м}$	
	K	$H_d, \text{ м}$	K	$H_d, \text{ м}$	K	$H_d, \text{ м}$	K	$H_d, \text{ м}$
0,5	1,82	1,18	1,90	1,42	1,96	1,96	1,96	2,98
1,0	1,72	1,98	1,82	2,28	1,72	2,88	1,97	3,94
2,0	1,64	3,52	1,74	2,93	1,86	4,64	1,93	5,80
4,0	1,56	6,50	1,66	7,06	1,78	8,00	1,88	9,38
5,0	1,54	7,96	1,64	8,60	1,76	9,66	1,86	11,1
10,0	1,48	15,06	1,58	16,1	1,68	17,7	1,78	19,6
20,0	1,44	28,9	1,52	30,6	1,62	33,1	1,72	36,0

Результаты расчетов позволяют сделать вывод о том, что при прочих равных условиях удлинение несущей мачты антенны все же приводит к росту действующей высоты. Физически этот результат можно объяснить следующим образом.

По мере удлинения большой полуоси эллипсоида a линии малых потенциалов поднимаются над землей вместе с антенной. Однако в зазор стандартной ширины h между датчиком поля и концом мачты при этом укладывается возрастающее количество эквипотенциальных линий. Таким образом, в действие включаются два конкурирующих механизма: подъем малых эквипотенциалей и увеличение их плотности (напряженности поля) вблизи конца мачты. В результате действующая высота антенны возрастает с увеличением высоты подъема датчика поля, но этот рост происходит медленнее, чем линейный.

Авторы надеются, что приведенные формулы и зависимости окажутся полезными при интерпретации результатов измерений НЧ полей и проектировании приемных антенн.

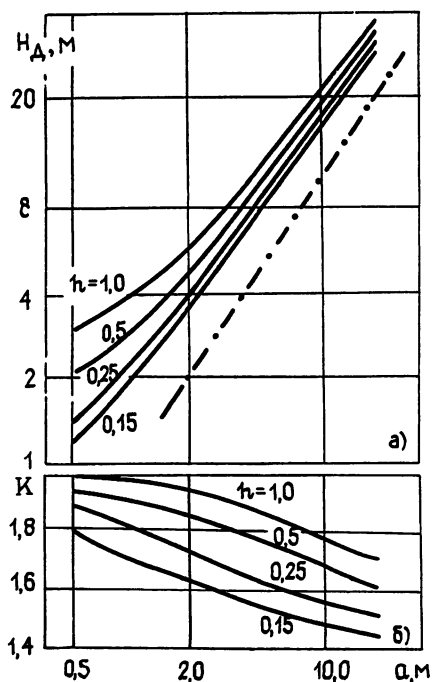


Рис. 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ogawa T., Tanaka Y., Miura T. et al // J. Geomagn. Geoelectr. 1966. V. 18. № 4. P. 443.
2. Блюх П. В., Николаенко А. П., Филиппов Ю. Ф. Глобальные электромагнитные резонансы в полости Земля — ионосфера. Киев: Наукова думка, 1977. — 199 с.
3. Кунин В. Н., Залазаев П. М., Конопасов Н. Г., Терещенков В. П. // Сб. Радиопомехи КНЧ диапазона и их природа. — Рязань, 1976. С. 8.
4. Козина О. Г. // Тезисы докладов XIII межведомственного семинара по распространению километровых и более длинных волн. — Харьков, 1987.
5. Корчагин Ю. А. Препринт Ин-та физики СО АН СССР № 385 Ф, Новосибирск, 1986.

6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. — М.: Гос-техиздат, 1957.
7. Смайт В. Электростатика и электродинамика. — М.: ИЛ, 1954.

Радиоастрономический институт
АН УССР

Поступила в редакцию
20 января 1988 г.

УДК 537.876.23:551.510.02

ВЛИЯНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ПАРАМЕТРОВ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ЗАТУХАНИЕ ВОЛН В ТРОПОСФЕРНОМ ВОЛНОВОДЕ

В. К. Иванов, В. Н. Лановой, В. Д. Фрейлихер

Рассеяние на турбулентных пульсациях коэффициента преломления атмосферы вызывает дополнительное ослабление сигнала, распространяющегося в приповерхностном тропосферном волноводе. Для коротковолновой части сантиметрового диапазона радиоволн ($\lambda \sim 3$ см) соответствующий погонный декремент затухания Γ , как правило, существенно превышает декремент Γ_0 , связанный с «регулярным» (в отсутствие рассеяния) высвечиванием из волновода (см. табл. 1). Для теоретического объяснения измеренных дистанционных зависимостей функции ослабления $W(D)$ в условиях волноводного распространения над морем учет многократных рассеяний проводится в рамках уравнения переноса излучения, из решения которого следует [1]

$$W_1(D) \sim e^{-(\Gamma_0 + \Gamma_1)D}, \quad \Gamma_1 = \frac{0,64k^{8/9}c_2^2}{\alpha^{5/3}g^{5/9}} \equiv Ac_2^2. \quad (1)$$

Здесь D — дистанция, $k=2\pi/\lambda$, g — вертикальный градиент регулярной составляющей диэлектрической проницаемости, c_2 — структурная постоянная ее флуктуаций $\delta\epsilon$, α — параметр анизотропии $\delta\epsilon$. Формула (1) и входящие в нее величины c_2^2 , α , g получены путем усреднения по ансамблю реализаций случайной функции $\delta\epsilon$. При обработке экспериментальных данных эта процедура требует усреднения наблюдаемых величин за большие (строго говоря, за бесконечные) промежутки времени t , на практике, однако, мы всегда имеем дело с записями измеряемых величин, сделанными за ограниченный временной интервал. Средние за время t величины могут оказаться медленно зависящими от координат и времени [2]. В этом случае параметры, описывающие флуктуации, естественно считать случайными величинами [2, 4] и описывать их статистически, задавая, например, среднее значение $\langle c_2^2 \rangle$ и дисперсию флуктуаций $\sigma_{c_2^2}$. Дополнительное усреднение по этим флуктуациям приводит к выражению

$$W_2(D) \sim \exp\{-A\langle c_2^2 \rangle D + A^2\sigma_{c_2^2}^2 D^2/4\}, \quad (2)$$

отличающемуся от (1) и позволяющему удовлетворительно объяснить ряд измеренных дистанционных зависимостей.

Для проверки эффективности изложенного теоретического подхода были проведены натурные измерения дистанционной зависимости поля прямого сигнала, распространяющегося в пограничном слое атмосферы над морской поверхностью с одновременными измерениями пространственного распределения коэффициента преломления. Приемное и передающее устройства были установлены на двух судах, которые перед началом эксперимента находились на близком расстоянии (~ 100 м) и после совместной настройки всех измерительных трактов расходились противоположными курсами до расстояния 100—150 км, разворачивались и сходились встречными галсами. При движении судов одновременно с непрерывной регистрацией принимаемого сигнала определялось мгновенное значение расстояния между ними, что позволяло построить зависимость функции ослабления радиосигнала по интенсивности (W) от расстояния между корреспондирующими пунктами. Определение коэффициента преломления приводного слоя атмосферы производилось с помощью рефрактометров [4], основной измерительный элемент которых — объемный открытый резонатор с собственной частотой, являющейся известной функцией измеряемой величины (коэффициента преломления). Разработанный комплекс аппаратуры позволял проводить одновременные измерения либо в четырех фиксированных разнесенных по высоте пунктах, либо в двух, один из которых перемещался по вертикали. Для исключения влияния корпуса судна на репрезентативность показаний рефрактометрических датчиков они размещались на удалении 2—2,5 м от корпуса в его носовой части. Учет влияния качки корабля производился путем исключения в спектре флуктуаций показателя преломления узкополосных всплесков и провалов на энергонесущих частотах качки. Все это позволило обеспечить точность измерения абсолютного значения коэффициента пре-