

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 538.566

ВАРИАЦИИ ДАЛЬНОСТИ ТРОПОСФЕРНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ УК РАДИОВОЛН НАД МОРЕМ

А. Р. Глинер, С. Н. Кривоножкин, Б. М. Шевцов

В связи с развитием загоризонтной радиолокации, связи, дистанционного зондирования атмосферы большое практическое значение приобретает вопрос прогнозирования дальности тропосферного распространения УК радиоволн. Поэтому широко исследуются характеристики радиосигналов в зависимости от условий распространения на различных радиотрассах (см., например, [1-3]). Особый интерес представляют морские радиотрассы, на которых могут возникать условия волноводного распространения большой дальности. Однако до сих пор недостаточно данных о том, насколько и как варьируется дальность распространения радиоволн в тропосфере над морем в различных географических районах в зависимости от гидро- и метеоусловий. Отсутствие достаточной информации по данному вопросу связано с трудностями проведения морских измерений и организации постоянных наблюдений. Для таких наблюдений в качестве источников излучения могут быть использованы искусственные спутники Земли, сеть которых особенно расширилась в последнее время. Наиболее подходящими при этом оказываются непрерывно излучающие и работающие во всех районах земного шара спутники, например, метеорологических или навигационных систем. Однако для исследования эффектов рефракции и дифракции радиоволн в нижнем, приводном слое тропосферы и регистрации связанных с ними вариаций дальности распространения радиоволн наблюдения за спутниками приходится проводить при их малых углах места в условиях сильной неустойчивости радиосвязи, что создает немалые методические трудности. В настоящей работе рассматриваются методика измерений и результаты наблюдений тропосферных вариаций дальности распространения УК радиоволн над морем. Эксперименты выполнены в Северной части Индийского океана в мае и декабре с восходящими и заходящими спутниками системы NOAA.

Радиовосход и заход непрерывно излучающего спутника наступает в момент пересечения им границы радиотени, которая искривлена вследствие нормальной рефракции лучей в тропосфере. При частоте излучения спутника примерно 137,5 МГц ионосферные рефракционные эффекты существенно меньше тропосферных [4], и ими можно пренебречь. Угол рефракции лучей легко определяется с помощью модели диэлектрической проницаемости тропосферы [4]:

$$\varepsilon(r) = 1 + \nu(r), \quad r = R + h, \quad \nu(r) = \nu_0 \exp(-h/h_0),$$

где R — земной радиус, $\nu_0 \approx 5 \cdot 10^{-4}$, $h_0 \approx 8$ км. Величина рефракционной угломестной поправки $\delta\varphi$ при нулевом угле места спутника в рамках теории возмущений для лучевых уравнений метода геометрической оптики при условии $h_0 \ll H$, где H — высота орбиты спутника ($H \approx 850$ км), определяется выражением [4] $\delta\varphi \approx -\nu_0 \sqrt{\pi R / 8 h_0}$. Для указанных выше значений параметров $\delta\varphi \approx -0,88 \cdot 10^{-2}$. Координата спутника вдоль земной поверхности между точками пересечения им геометрического горизонта (прямая видимость) и радиогоризонта изменяется на величину $\delta x = -R \delta\varphi \approx 56$ км, что соответствует изменению времени на $\delta t = \delta x / V$, где V — скорость координаты спутника ($V \approx 6,5$ км/с), $\delta t \approx 8,6$ с. Расчет положения границы радиотени можно провести и введением эффективного радиуса Земли [5]. В области границы тени вид функции ослабления поля меняется в зависимости от условий распространения [5, 6], и расстояние до ее фиксированного уровня, по которому устанавливается радиосвязь, варьируется. Цель настоящей работы — исследование статистических характеристик этих вариаций.

Метеоспутники системы NOAA излучают непрерывно на частотах 137,5 и 137,62 МГц, вращаясь на почти круговых околополярных орбитах с высотой $H \approx 850$ км, периодом обращения около 100 минут и углом наклона плоскости орбиты к земной оси 9° . Точные орбитальные данные сообщаются по телетайпу наземными станциями.

Спутники передают информационные сигналы примерно с секундным интервалом. Выделяя первый или последний сигнал в сеансе радиосвязи с помощью порогового устройства в приемнике, можно определить момент t прохождения спутником радио-

горизонта с точностью 1–2 с. Реализация усредненного с постоянной времени 1 с уровня радиосигнала спутника в области полутени представлена на рис. 1. Уровень радиосигнала, при котором вышеописанным методом фиксировался момент t прохождения спутником радиогоризонта, составлял, примерно, 2 мкВ. По орбитальным данным из геометрических соображений можно рассчитать моменты пересечения спутником границы прямой видимости t_0 . Таким образом в эксперименте определялись вариации дальности радиосвязи $\delta x = V(t_0 - t)$.

Распределение числа измерений вариаций дальности радиосвязи, наблюдававшихся в мае, представлено на рис. 2, а в декабре — на рис. 3. Средние значения этих распределений хорошо согласуются с выполненными выше расчетами положения границы радиотени. Среднеквадратические отклонения для этих распределений соответственно равны 77,7 км и 75,4 км. Распределения заметно асимметричны, кроме того в них обнаруживается структура, возможно, связанная с осцилляциями функции ослабления поля. Отметим, что в целях проверки методики проводились измерения вариаций дальности радиосвязи отдельно при восходах и заходах спутников, а также в направлениях на юг и на север.

Существенных различий в распределениях числа измерений замечено не было. Результаты измерений показывают, что аномально большие отклонения дальности распространения радиоволн, которые, возможно, связаны с появлением волноводных структур, возникают для этих широт довольно редко и не превышают нескольких процентов от общего числа измерений. Небольшие отклонения дальности радиосвязи от ее среднего значения, составляющие основную часть наблюдений, можно объяснить суб- и суперрефракционными колебаниями в тропосфере. Коэффициент корреляции между измерениями при восходах и заходах спутников в мае составил 0,1, а в декабре 0,4. Коэффициент корреляции вариаций дальности радиосвязи с изменениями градиента влажности в атмосферном слое высотой до 20 м не превышал величины 0,1.

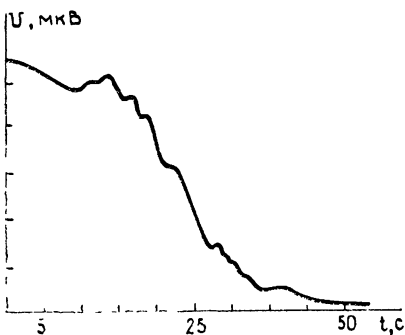


Рис. 1.

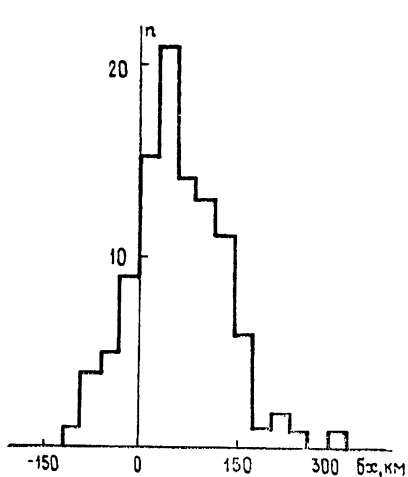


Рис. 2.

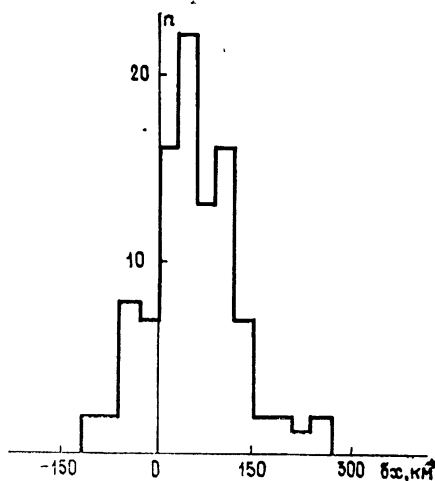


Рис. 3.

Авторы выражают глубокую благодарность А. С. Гурвичу и В. И. Кляцкину за полезные обсуждения результатов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калинин А. И., Троицкий В. Н., Шур А. А. В кн.: Распространение радиоволн / Под ред. М. А. Колосова. — М.: Наука, 1975, с. 127.
2. Влахова Р. Т., Грозданов В. А., Калинин А. И. и др. — Электросвязь, 1985, № 6, с. 35.
3. Тургенев И. С., Кивва Ф. В. В кн.: 12-я Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. — М.: Наука, 1978, ч. 2, с. 5.
4. Кравцов Ю. А., Фейзулин З. И., Виноградов А. Г. Прохождение радиоволн через атмосферу Земли. — М.: Радио и связь, 1983, с. 90.

УДК 538.566

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО НАГРЕВА ИОНОСФЕРЫ НА ПОЛЕ СДВ СИГНАЛА

О. В. Соловьев

Большое развитие в последнее время получили эксперименты по активному воздействию на ионосферу мощным КВ радиоизлучением и связанные с ними исследования возникающих при этом ионосферных неоднородностей [1-4], в том числе и в плане их влияния на распространение радиоволн.

В настоящей заметке выполнен расчет влияния таких искусственных неоднородностей на распространение СДВ в приземном волноводном канале.

Первоначальная экспериментальная оценка эффекта воздействия на ионосферу мощным КВ радиоизлучением, с точки зрения амплитуды и фазы СДВ сигнала, была выполнена в [5]. Более подробные и точные результаты содержатся в [6], где приведены кривые зависимости возмущения амплитуды и фазы сигнала РНС «Омега» ($f = 12,1$ кГц) от угла наклона диаграммы направленности нагревного стенда, располагавшегося в окрестности трассы распространения сигнала. Предложенная в [7] теоретическая интерпретация результатов [6] и расчет, проведенный на основе модели, в которой неоднородность учитывалась введением некоторой модифицированной постоянной распространения, на наш взгляд, могут быть улучшены.

Проведем расчет согласно методике, подробно описанной в [8], где в рамках модели плоского импедансного волновода наличие возмущенной области учитывается введением $\delta_n(r, \varphi)$ — неоднородного по площади импеданса ионосферы, зависящего от продольных координат r, φ

$$\delta_n(r, \varphi) = \begin{cases} \delta_0, & \text{если } (r, \varphi) \in S_0 \\ \delta_v, & \text{если } (r, \varphi) \in S_v \end{cases},$$

где S_0 — область, соответствующая локальной неоднородности на верхней стенке волновода

Таким образом, верхняя ионосферная стенка волновода характеризуется следующими параметрами: δ_0 — импеданс регулярной части волновода, h — высота регулярного волновода, δ_v — импеданс возмущенной области, (x, y) — координаты центра возмущенной области в декартовой системе координат с началом в источнике и осью x , совмещенной с линией источник — приемник, r_0 — радиус возмущенной области

При выборе параметров теоретической модели предполагалось 1) дневные условия распространения, 2) источник и приемник расположены на Земле, 3) частота сигнала $f = 12,1$ кГц, 4) длина трассы 443 км, 5) мощность возмущающего излучения $W_0 = 200$ МВт на частоте $F = 2,759$ МГц, 6) диаметр засвеченной области — 20 км на высоте 80 км над Землей

Согласно методике [8] расчет начинается с определения δ_0 и h по заданным высотным профилям электронной концентрации и частоты соударений для спокойной ионосферы. По аналогичным профилям для ионосферы, находящейся под воздействием КВ радиоизлучения, определяется δ . В работе использовались профили, опубликованные в [9], причем возмущенные соответствовали воздействию с $F = 2,8$ МГц, $W_0 = 100$ и 300 МВт. В результате было получено $\delta_0 = 0,4964 + 0,2216i$, $h = 59,8$ км, $\delta_v = 0,2364 + 0,2698i$ для $W_0 = 100$ МВт и $\delta_v = 0,1792 + 0,2787i$ для $W_0 = 300$ МВт. Радиус возмущенной области был принят равным $r_0 = 7,5$ км на уровне h . Уширение засвеченного на ионосфере пятна при смещении диаграммы направленности от вертикали не учитывалось.

Используя представленную в [6] схему эксперимента (рис 1), были пересчитаны координаты центра возмущенной области:

$$\begin{aligned} x &= 366 + 0,718 \cdot (88,8 - 59,8 \operatorname{tg} \alpha), \\ y &= 0,71 \cdot (66,3 - 59,3 \operatorname{tg} \alpha), \end{aligned} \quad (1)$$

где α — угол между вертикалью и направлением максимума излучаемой энергии возмущающей антенны

Поскольку результаты [6] приводятся для компоненты H электромагнитного поля, а в работе [8] определяется вертикальная составляющая P_z вектора Герца, было учтено, что $H_\varphi = i\omega\epsilon_0\partial\Pi_z/\partial r$, где $\omega = 2\pi f$, ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума

К сожалению, в тексте [6] и [7] с достаточной ясностью не сказано, какие конкретно величины понимаются под словами «Amplitude anomaly», «Phase anomaly».