

УДК 621.396.96

В.Д. Карлов¹, В.Л. Мисайлов¹, Н.Н. Петрушенко²¹Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба²В/ч А0800, Одесса

СВОЙСТВА МОРСКОГО ТРОПОСФЕРНОГО ВОЛНОВОДА КАК ЭЛЕМЕНТА РАДИОКАНАЛА

Рассмотрена упрощенная физическая модель распространения радиоволн в тропосферных радиоволноводах (ТВВ) над морской поверхностью, на основе которой ТВВ представлен как эквивалентный элемент радиоканала. Определены его полоса пропускания и время задержки сигнала в ТВВ. Приведены формулы для расчета расширения спектра сигнала, распространяющегося в тропосферном волноводе, нижней стенкой которого является взволнованная поверхность моря. Проведена оценка влияния сверхрефракционного распространения радиоволн на качество работы систем связи с узкополосными сигналами. Показана возможность возникновения высокого уровня помех в соседних каналах таких систем при работе в условиях наличия тропосферных волноводов над морем.

Ключевые слова: морской тропосферный волновод, радиоканал, полоса пропускания.

Введение

Постановка проблемы. Большинство работ, посвященных исследованию распространения радиоволн в тропосферных волноводах (ТВВ), направлено на определение амплитуды электромагнитного поля в заданной точке пространства [1 – 3]. Однако, как известно [4], на работу радиосредств существенное влияние оказывает не только амплитуда принятого сигнала, но и его форма, а также статистические характеристики.

Анализ последних исследований и публикаций. Имеющиеся к настоящему времени экспериментальные данные о статистических характеристиках сигналов, прошедших некоторое расстояние в тропосферном волноводе, получены лишь для ТВВ испарения [5 – 7]. Оценка потенциальных показателей качества обнаружения и измерения параметров радиосигналов не производилась.

Связь между параметрами ТВВ и характеристиками радиосигнала можно находить экспериментальным либо теоретическим путем. Проведение корректных экспериментов по измерению параметров сигналов, распространяющихся в тропосферном волноводе, является довольно сложной задачей. Поэтому теоретический расчет или математическое моделирование характеристик сигналов, прошедших определенный путь в ТВВ, представляется более привлекательным способом их определения. Для проведения подобных исследований обычно используют модель радиоканала (РК) [8], которая отражает процесс преобразования сигналов на пути от передатчика до устройства обработки. Уточняя свойства звеньев РК, теоретическим путем удастся оценивать показатели качества функционирования радиотехнических систем (РТС), выбирать их оптимальные параметры и определять направления совершенствования РТС.

Цель статьи. Рассмотрим морской тропосферный волновод как элемента радиоканала и определим некоторые его свойства.

Модель тропосферного волновода как элемента радиоканала

При формировании математических моделей РК обычно исходят из следующих достаточно общих предположений [8]:

1. Весь РК состоит из последовательности элементов канала (рис. 1). В первом приближении считается, что обратные связи между элементами РК отсутствуют.

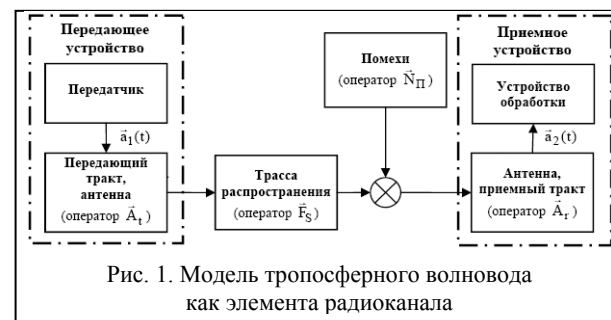


Рис. 1. Модель тропосферного волновода как элемента радиоканала

2. Для описания преобразующих свойств всего РК используется феноменологический принцип, в соответствии с которым каждый элемент РК является некоторым многополюсником с известной связью входа и выхода. Число входов и выходов многополюсника соответствует размерности входных и выходных векторных сигналов.

3. Каждому из элементов РК в виде многополюсника сопоставляется некоторый оператор (стохастический или детерминированный), конкретный вид которого определяется на основании физических особенностей данного элемента.

Взаимодействие различных элементов РК может быть описано с помощью ряда операторов и векторов, соответствующих различным блокам на рис. 1.

Пусть \bar{A}_t – оператор передающего тракта РТС, описывающий преобразование сгенерированного сигнала $\bar{a}_1(t)$ в излучаемую электромагнитную волну с заданной пространственно-временной и поляризационной структурой; \bar{A}_r – оператор, характеризующий свойства приемного тракта; \bar{F}_S – оператор преобразования сигналов на трассе распространения; \bar{N}_Π – вектор помех. Тогда сигнал $\bar{a}_2(t)$ на выходе приемного тракта РЛС может быть найден из выражения

$$\bar{a}_2(t) = \bar{A}_r [\bar{F}_S \bar{A}_t \bar{a}_1(t) + \bar{N}_\Pi]. \quad (1)$$

Для определения характеристик тропосферного волновода как элемента радиоканала введем следующие допущения:

1. Излучаемый сигнал полностью известен.
2. Передача и прием ведутся на идентичные антенны, тогда $\bar{A}_t = \bar{A}_r$.
3. Длительность сигнала и дальность действия РТС таковы, что за время распространения сигнала параметры среды не успевают существенно измениться.
4. Активных и пассивных помех нет, в канале присутствует только белый шум, следовательно, $\bar{N}_\Pi = 0$.

С учетом сделанных допущений схема РК упрощается, а выражение (1) примет вид

$$\bar{a}_2(t) = \bar{A}_t \bar{F}_S \bar{A}_t \bar{a}_1(t) + n(t), \quad (2)$$

где $n(t)$ – аддитивный шум на входе приемника.

Перед определением вида каждого из операторов, входящих в выражение (2), рассмотрим физическую модель распространения радиоволн в тропосферном волноводе.

Упрощенная физическая модель распространения радиоволн в тропосферном волноводе

Если радиоволна излучается под углом Θ , меньшим некоторого критического угла $\Theta_{кр}$ (рис. 2), то при распространении в волноводе ее траектория искривляется настолько, что волна направляется вниз, и происходит как бы отражение от "стенки" ТВВ [3, 9, 10]. Далее слово "стенка" будем записывать без кавычек. Верхняя стенка ТВВ образуется за счет резкого уменьшения коэффициента преломления с высотой.

У нижней стенки происходит такой же процесс, и траектория радиоволны изгибается вверх. Если же нижняя стенка волновода образована подстилающей поверхностью, то происходит не рефракция, а отражение радиоволны. Подобная картина происходит в тропосферных, ионосферных и гидроакустических каналах связи [12, 13]. Если море

взволновано, то радиоволна, падающая на морскую поверхность под углом $\Theta_{пад} \leq \Theta_{кр}$, может отражаться под углом $\Theta_{отр} > \Theta_{кр}$ и выходить из ТВВ. Это приводит к увеличению погонного затухания радиоволн в тропосферном волноводе и ухудшению энергетических характеристик ТВВ как элемента РК. Вследствие такого механизма высвечивания электромагнитной энергии волновод испарения характеризуется сравнительно большим коэффициентом ослабления [11]. В общем случае значение $\Theta_{кр}$ зависит вида вертикального $n(h)$ -профиля, описывающего зависимость значения коэффициента преломления воздуха n от высоты над поверхностью земли h , а также от положения излучателя в ТВВ и не превышает $0,5^\circ$ [9, 10].

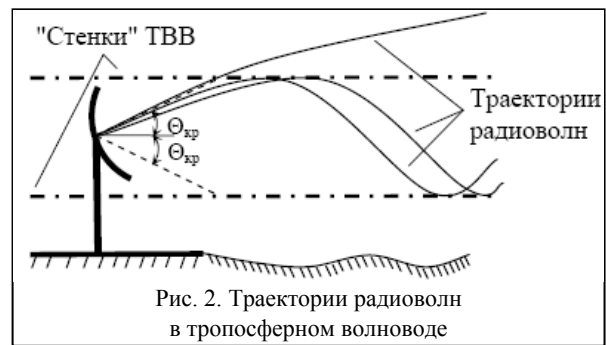


Рис. 2. Траектории радиоволн в тропосферном волноводе

Как видно из рис. 2, радиоволны, излученные под разными углами, распространяются по различным траекториям и приходят в одну точку, пройдя в общем случае неодинаковое расстояние. Этот эффект называется многолучевостью или лучевой (межмодовой) дисперсией. Дисперсионные свойства тропосферного волновода рассмотрены в [14], где показано незначительное влияние пространственной дисперсии на точность измерения параметров радиосигналов.

Вследствие разностей хода лучей, приходящих от передатчика к приемнику, сигнал в приемной антенне представляет сумму отдельных колебаний с различными фазами и амплитудами. Интерференция этих колебаний в условиях, когда разности хода лучей не остаются постоянными, и является основной причиной флуктуаций, как амплитуд, так и фаз составляющих сигнала. Канал, в котором амплитуды составляющих сигнала, приходящего к приемнику, подвержены флуктуациям, называется каналом с замираниями [12]. Кроме замираний сигнала происходит искажение его формы, а также, при распространении радиоволн над морской поверхностью, из-за влияния соленых паров воды возможно появление частотной дисперсии.

Время запаздывания сигнала в тропосферном волноводе. Найдем максимальное и минимальное значение времени запаздывания радиосигнала в тропосферном волноводе. Схема трассы распространения радиоволн в ТВВ над поверхностью моря, пред-

ставлена на рис. 3. Здесь же показан пример кусочно-ломаной аппроксимации $m(h)$ -профиля, характерного для приподнятых волноводов [9, 15]. Использование модифицированного коэффициента преломления $m(h)$ вместо коэффициента преломления $n(h)$ позволяет перейти к распространению радиоволн не над сферической, а над "плоской" поверхностью Земли [9, 10, 16]:

$$m(h) = n(h) + \frac{h}{a_{зем}}, \quad (3)$$

где $a_{зем}$ – радиус Земли.

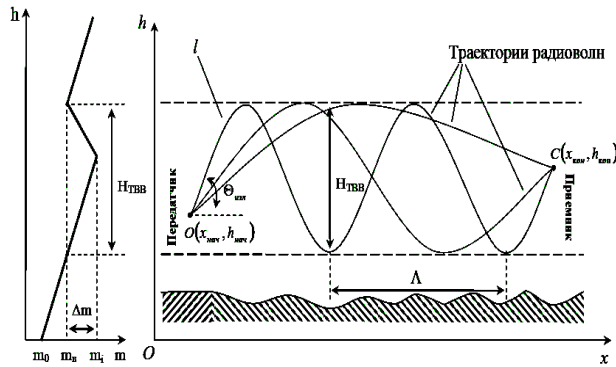


Рис. 3. Расчет задержки сигнала в тропосферном волноводе

Величину запаздывания сигнала при распространении его по криволинейной траектории можно найти из геометрических расчетов (рис. 3).

Пусть зависимость модифицированного коэффициента преломления от горизонтальной координаты x и высоты h задана функцией $m(x, h)$. Тогда оптическая длина L_{OC} траектории l будет равна

$$L_{OC} = \int_l m(x, h) dl. \quad (4)$$

При условии отсутствия горизонтальных градиентов модифицированного коэффициента преломления это выражение можно записать как

$$L_{OC} = \int_l m(h) dl. \quad (5)$$

Зависимость коэффициента преломления воздуха n от высоты h обычно задают в виде [16]

$$n(h) = n_0 + Gr_n^{норм} h + \delta Gr_n(h), \quad (6)$$

где n_0 – значение коэффициента преломления воздуха у поверхности Земли; $Gr_n^{норм}$ – значение вертикального градиента коэффициента преломления воздуха при нормальной рефракции; $\delta Gr_n(h)$ – отклонение вертикального градиента коэффициента преломления воздуха от $Gr_n^{норм}$.

Если фазовый центр антенны передатчика находится в точке $O(x_{нач}, h_{нач})$, а приемник в точке $C(x_{кон}, h_{кон})$, и траектория радиоволны описывается некоторой функцией

$$h = h_{нач} + \psi(x), \quad (7)$$

то выражение (7) можно записать как

$$L_{OC} = \int_{x_{нач}}^{x_{кон}} m(h_{нач} + \psi(x)) dx. \quad (8)$$

С учетом соотношений (5) и (8) получаем

$$L_{OC} = \int_{x_{нач}}^{x_{кон}} \left[n_0 + \left(Gr_n^{норм} + \frac{1}{a_{зем}} \right) (h_{нач} + \psi(x)) + \delta Gr_n(h_{нач} + \psi(x)) \right] dx \quad (9)$$

или

$$L_{OC} = \left[n_0 + \left(Gr_n^{норм} + \frac{1}{a_{зем}} \right) h_{нач} \right] (x_{кон} - x_{нач}) + \left(Gr_n^{норм} + \frac{1}{a_{зем}} \right) \int_{x_{нач}}^{x_{кон}} \psi(x) dx + \int_{x_{нач}}^{x_{кон}} \delta Gr_n(h_{нач} + \psi(x)) dx. \quad (10)$$

В выражении (10) первое слагаемое определяет оптическую длину пути в однородной атмосфере. Оно не зависит от траектории распространения радиоволны, поэтому обозначим его как L_0 . Второе слагаемое дает поправку по дальности для нормальной тропосферы с учетом траектории распространения радиоволн. Обозначим его как L_1 . Третье слагаемое показывает увеличение пути за счет отклонения рефракции от нормальной. Обозначим его как L_2 . Значение L_2 также зависит от траектории распространения радиоволны, однако, сама траектория определяется видом функции δGr_n .

Исходя из вышеизложенного, время прохождения сигнала по траектории l можно найти как

$$\tau_1 = \frac{L_{OC}}{c} = \tau_0 + \delta\tau \quad (11)$$

где c – скорость света в вакууме; $\tau_0 = L_0 / c$; $\delta\tau = (L_1 + L_2) / c$.

Если $\psi(x)$ – периодическая функция, то $\delta\tau$ можно представить в виде

$$\delta\tau = \frac{1}{c} \frac{x_{кон} - x_{нач}}{\Lambda} \left[\left(Gr_n^{норм} + \frac{1}{a_{зем}} \right) \int_0^\Lambda \psi(x) dx + \int_0^\Lambda \delta Gr_n(h_{нач} + \psi(x)) dx \right], \quad (12)$$

где Λ – пространственный период траектории.

В общем случае Λ зависит от угла выхода радиоволны из антенны $\alpha_{изл}$ (рис.3). Величина $|\delta\tau|$ будет максимальной при $\Theta_{изл}$, равному корню уравнения

$$\frac{d(\delta\tau)}{d\Theta_{изл}} = 0. \quad (13)$$

Таблица 1

Основные характеристики систем связи стандарта TETRA

Диапазон частот f_0 , МГц	300 – 1000	
Шаг разделения каналов Δf_k , кГц	25	
Максимальная мощность передатчика базовой станции, Вт	25	
Вид модуляции	р4 DQPSK	
Поляризация	линейная	
Максимально допустимое значение мощности сигнала $P_{\text{помех}}$ при расстройке Δf относительно частоты несущей, дБн	± 25 кГц	-60
	± 50 кГц	-70
	± 75 кГц	-70

Рассчитаем $|\delta\tau|$ при условии, что траектория радиоволны в тропосферном волноводе описывается синусоидой:

$$\psi(x) = \frac{H_{\text{TBB}}}{2} \sin\left(\frac{2\pi x}{\Lambda}\right), \quad (14)$$

где H_{TBB} – вертикальные размеры волновода (рис. 3);

$\Lambda = \frac{2H_{\text{TBB}}}{\text{tg}\Theta_{\text{изл}}}$ – пространственный период траектории;

$\Theta_{\text{изл}} \in [-\Theta_{\text{кр}}, \Theta_{\text{кр}}]$ – угол выхода радиоволны из антенны относительно горизонта; $\Theta_{\text{кр}}$ – критический угол захвата радиоволн в тропосферный волновод.

При линейно-ломаной аппроксимации $m(h)$ -профилей, наиболее часто встречающихся над акваторией Черного моря [17] при горизонтальной дальности $x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}} = 300$ км максимальное отклонение времени запаздывания сигнала $|\delta\tau|$ от среднего значения составляет порядка 0.25 мкс, а полоса пропускания тропосферного волновода составляет:

$$\Delta f_{\text{TBB}} = 1/(\delta\tau) = 4 \text{ МГц}. \quad (15)$$

Расширение спектра сигнала в приводном ТВВ

Если нижней стенкой ТВВ выступает взволнованная поверхность моря, то при однократном отражении от подстилающей поверхности происходит расширение спектра сигнала [18]:

$$\Delta f_{\text{TBB}} = \frac{14,5f_0u_0}{c}, \quad (16)$$

где f_0 – несущая частота сигнала; u_0 – средняя скорость ветра на высоте 10 м над морской поверхностью; c – скорость света.

Формула (16) справедлива до частоты менее 10 ГГц и от поляризации радиоволны практически не зависит [18].

Найдем относительное расширение $\alpha_{\Delta f}^{\text{ТВВ}}$ спектра передаваемого сигнала Δf_c при распространении его в приводном тропосферном волноводе:

$$\alpha_{\Delta f}^{\text{ТВВ}} = \frac{\Delta f_{\text{TBB}} N_{\text{отр}}}{\Delta f_c} = \frac{14,5f_0u_0 N_{\text{отр}}}{c\Delta f_c}, \quad (17)$$

где $N_{\text{отр}}$ – число скачков радиоволны (отражений от поверхности моря).

Из анализа выражения (17) следует, что для РТС, использующих узкополосные сигналы на высоких несущих частотах возможно значительное расширение спектра сигнала при распространении его в тропосферном волноводе.

Оценим возможное влияние задержки и расширения спектра радиосигнала в приводном тропосферном волноводе на качество функционирования РТС. В качестве примера возьмем стандарт связи TETRA [19]. Его характеристики приведены в табл. 1.

Как видно из сравнения расчетной полосы пропускания ТВВ с полосой частот, отводимых под канал передачи в стандарте TETRA, многолучевое распространение радиоволн в тропосферном волноводе не будет оказывать заметного влияния на качество работы РТС. В качестве исходных данных примем, что расстояние между приемными пунктами равно $x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}} = 50$ км [20], угол захвата $\Theta_{\text{кр}} = 0,5^\circ$, скорость ветра $u_0 = 5$ м/с, $H_{\text{TBB}} = 5$ м [17], нормированная мощность в основном канале $P_{\text{осн кан}}^{\text{норм}} = 1$, ширина спектра сигнала равна шагу разделения каналов $\Delta f_c = \Delta f_k$. Тогда мощность помех в соседнем канале будет

$$\Delta P_{\text{помех}} = \log\left(P_{\text{осн кан}}^{\text{норм}} \alpha_{\Delta f}^{\text{ТВВ}}\right) - P_{\text{помех}} \frac{\Delta f}{\Delta f_k}, \quad (18)$$

откуда после несложных преобразований получаем

$$\Delta P_{\text{помех}} = \log\left(\frac{14,5f_0u_0}{c\Delta f_k} \frac{\text{tg}\Theta_{\text{изл}}(x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}})}{2H_{\text{TBB}}}\right) - P_{\text{помех}} \frac{\Delta f}{\Delta f_k}. \quad (19)$$

Проводя вычисления по формуле (19) получаем, что уровень помех в соседнем канале будет

$$\Delta P_{\text{помех}} = \log\left(\frac{14,5 \cdot 10^6 \cdot 5}{3 \cdot 10^8 \cdot 25 \cdot 10^3} \frac{8,7 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 10^3}{2 \cdot 5}\right) - (-60) \frac{25 \cdot 10^3}{25 \cdot 10^3} \approx 26 \text{ дБ}, \quad (19)$$

что делает нормальную работу РТС практически невозможной.

Выводы

Из вышеизложенного материала следует:

- тропосферные волноводы обладают широкой полосой пропускания и свёрхрефракционное распространение радиоволн не сказывается на форме сигнала;
- расширение спектра сигнала в ТВВ приводит к высокому уровню помех в соседних каналах систем связи, использующих узкополосные сигналы на высоких несущих частотах.

Изложенные материалы могут быть использованы при построении систем радиосвязи и оценки электромагнитной совместимости РЭС в приморских районах. В дальнейших публикациях будет рассмотрена модулирующая функция тропосферного волновода, а также статистические характеристики сигналов, прошедших через ТВВ.

Список литературы

1. Пакет программ для оценки условий распространения радиоволн УКВ диапазона в пограничном слое атмосферы над морем / М.В. Белоброва, А.В. Кукушкин, М.Б. Левин, Я.А. Фастовский. – Препр. // АН УССР, РИ, № 37 – X, 1989. – 42 с.
2. Применение методов геометрической оптики для расчета поля при наличии приводных или приподнятых волноводов и при большой высоте одного из корреспондирующих пунктов / Н.Н. Комаров, И.Е. Островский, Б.Д. Замараев, А.Д. Розенберг // Изв. вузов. Радиофизика. – 1960. – Т. 03, № 1. – С. 39-42.
3. Фок В.А. Проблемы дифракции и распространения электромагнитных волн. – М.: Сов. радио, 1970. – 520 с.
4. Теоретические основы радиолокации / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Сов. радио, 1970. – 560 с.
5. Морская радиолокация / Под ред. В.И. Винокурова. – Л.: Судостроение, 1986. – 256 с.
6. Зуйков В.А., Педенко Ю.А., Разказовский В.Б. Характеристики распространения радиоволн СВЧ диапазона в приводном слое // Распространение радиоволн миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов: сб. науч. тр. – X.: ИРЭ АН УССР. – 1989. – С. 76-82.
7. Степанов В.А., Марухленко С.И., Бутаков М.Д. Статистические характеристики радиосигналов, распространяющихся в тропосферном волноводном канале над морской поверхностью // Тезисы докладов XVI Всесоюз. конф. по распространению радиоволн. – Часть 2. – X.: ХПИ. – 1990. – С. 82.
8. Радиолокационные характеристики летательных аппаратов / М.Е. Варганов, Ю.С. Зиновьев, Л.Ю. Астанин и др.; Под ред. Л.Т. Тучкова. – М.: Радио и связь, 1985. – 236 с., ил.
9. Распространение ультракоротких радиоволн: Пер. с англ. / Под ред. Б.А. Шиллерова. – М.: Сов. радио, 1954. – 564 с.
10. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн. – М.: Сов. радио, 1972. – 463 с.
11. Красюк Н.П., Коблов В.Л., Красюк В.Н. Влияние тропосферы и подстилающей поверхности на работу РЛС. – М.: Радио и связь, 1988. – 216 с.
12. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений: Изд. 2-е, переработанное, дополненное. – М.: Советское радио, 1970. – 728 с.
13. Поляков П.Ф. Прием сигналов в многолучевых каналах. – М.: Радио и связь, 1986. – 248 с.
14. Полярус А.В., Мисайлов В.Л. Методика оценки устойчивости траекторий радиоволн в морском тропосферном волноводе // Системи обробки інформації. – X.: ХУ ПС. – 2005. – Вип. 4 (44). – С. 139-147.
15. Распространение радиоволн в тропосфере: Обзор / Г.В. Хитни, Ю.Х. Рихтер, Р.А. Панперт, К.Д. Андерсон, Дж.Б. Баумгартнер // ТИИЭР. – 1985. – Т. 73, № 2. – С. 106-128.
16. Бин Б.Р., Даттон Е.Дж. Радиометеорология: Пер. с англ. / Под ред. А.А. Семенова. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 368 с.
17. Михайлов Н.Ф., Рыжков А.В., Шукин Г.Г. Радиометеорологические исследования над морем. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 207 с.
18. Гутник В.Г., Кулемин Г.П., Шарпов Л.И. Особенности обратного рассеяния радиоволн сантиметрового и миллиметрового диапазонов морской поверхностью при малых углах скольжения // Успехи современной радиоэлектроники. – 2005. – № 1. – С. 3-19.
19. ETSI EN 300 392-2: "Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 2: Air Interface (AI)": [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://docbox.etsi.org/reference/en_30039202v030201p.pdf.
20. Гузь В.И., Липатов В.П. Создание и развитие интегрированных систем и способов наблюдения воздушного и надводного пространства азово-черноморского бассейна // Труды 2-го Международного радиоэлектронного форума "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития." МРФ-2005.; Т II. Международная конференция "Системы локации и навигации". – X.: АНПРЭ, ХНУРЭ. – 2005. – С. 13-15.

Поступила в редколлегию 11.08.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.И. Зима, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ВЛАСТИВОСТІ МОРСЬКОГО ТРОПОСФЕРНОГО ХВИЛЕВОДУ ЯК ЕЛЕМЕНТУ РАДІОКАНАЛУ

В.Д. Карлов, В.Л. Мисайлов, М.М. Петрушенко

Розглянута спрощена фізична модель поширення радіохвиль в тропосферних радіохвильоводах (ТХВ) над морською поверхнею на основі якої ТВВ представлений як еквівалентний елемент радіоканалу. Визначені його смуга пропускання і час затримки сигналу в ТХВ. Приведені формули для розрахунку розширення спектру сигналу, що поширюється в тропосферному хвильоводі, нижньою стінкою якого є схвильована поверхня моря. Проведена оцінка впливу надрефракційного поширення радіохвиль на якість роботи систем зв'язку з вузькосмуговими сигналами. Показана можливість виникнення високого рівня перешкоди в сусідніх каналах таких систем при роботі в умовах наявності тропосферних хвильоводів над морем.

Ключові слова: морський тропосферний хвильовід, радіоканал, полоса пропускання.

TO PROPERTY OF MARINE TROPOSPHERE WAVEGUIDE AS ELEMENT OF RADIO CHANNEL

V.D. Karlov, V.L. Misaylov, N.N. Petrusenko

The simplified physical model of distribution of radio waves in troposphere radiowaveguides (TWG) above the marine surface is considered, on the basis of which the TWG is presented as an equivalent element of radio channel. His passband and time of signal delay is determined in TWG. Formulas are adduced for the expansion of signal spectrum calculation, which spreads in the troposphere waveguide the lower line of which is the agitated surface of sea. The estimation of influence of above-refraction distribution of radio waves is conducted according to the quality of work of communication networks with narrow-band signals. Possibility of origin of high level obstacles in the nearby ductings of such systems during the prosecution in the conditions of presence of troposphere waveguides of sea is rotined.

Keywords: marine troposphere waveguide, radio channel, passband.