УДК 512

ЧАСТОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПОЛНЕНИЯ МЕТЕОРНОГО КАНАЛА СВЯЗИ

А. А. Гайдаев, М. С. Гусейнов
Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала

Механизм наклонного метеорного распространения радиоволн не зависит от состояния ионосферы. Поэтому для метеорной радиосвязи может быть выбрана частота исходя из эффективности работы канала связи. Эффективность работы канала связи, определяемая коэффициентом заполнения, непосредственно зависит от численности метеорных радиоотражений в единицу времени. Коэффициент заполнения представляет отношение полезного времени работы канала ко всему времени работы. Такое положение вытекает из прерывистого характера работы канала связи.

В данной работе рассматривается частотная зависимость численности метеорных радиоотражений и коэффициента заполнения метеорного канала связи.

Число зарегистрированных метеорных следов, как и число следов отдельного радианта, электронная плотность которых превышает q_0, пропорционально $q_0^{-(s-1)}$

$$N \sim q_0^{-(s-1)} \qquad (1)$$

где s - параметр распределения численности метеорных тел по массам, N - часовое число метеорных радиоотражений. Число зарегистрированных (обнаруженных) метеорных следов зависит от средней толщины метеорного слоя *J,* которая имеет хотя и слабую зависимость от частоты [1]. Этой более слабой зависимостью, по сравнению с зависимостью от других величин будем пренебрегать.

Коэффициент заполнения η равен $N \cdot \overline{T}$, причем

$$\overline{T} \sim \frac{\lambda^2 \overline{\sec^2\varphi}}{16\pi^2 D_0 (s-1)}, \qquad (2)$$

где D_0 - коэффициент диффузии на характеристической высоте, $\overline{\sec^2\varphi}$ - средняя величина для всей наблюдаемой области (она практически соответствует наиболее активной области метеорной зоны). Здесь λ - длина волны, φ - половина угла между падающим и отраженным лучом, $\overline{T}$ - средняя длительность существования метеорного следа.

Зависимость N и η от частоты на одной и той же метеорной радиотрассе и при идентичных диаграммах антенных систем определяется изменением q_0 и D_0 с изменением характеристической высоты и зависимостью $\overline{T}$ от длины волны λ. Зависимость q_0 от длины волны λ, в свою очередь, определяется способом выбора порога u^* на разных частотах. Рассмотрим два основных варианта: 1) $u^* = \text{const}$, 2) $u^* \sim \lambda^{3/2}$.

1. Уровень порога одинаков на всех частотах: $u^* = \text{const}$.

Введем индекс i для обозначения величин, относящихся к радиолиниям на двух частотах f_1 и f_2 (например, f_i, где $i = 1,2$).

$$u_i^* \sim \lambda_i^{3/2} \exp\left\{-0{,}88(k_i r_{0i}\cos\varphi)^{1,8}\right\} \cdot q_{0i} \qquad (3)$$

Здесь r_{0i} - начальный радиус на характеристической высоте, т.е. на высоте где обнаруживается минимальная электронная плотность. Связь между минимальной электронной плотностью q_{0i} и характеристической высотой h_{0i} определяется формулой

$$\frac{1}{3}\ell n \frac{q_{01}}{q_{02}} = \frac{h_2}{H} - \frac{h_1}{H} = \frac{\Delta h}{H}. \qquad (1)$$

Здесь H - приведенная высота однородной атмосферы.

Начальный радиус r_{0i} связан с коэффициентом диффузии и с высотой h_i формулой

$$r_{0i} = 0{,}67 \cdot D_{0i}^{0,35} = const \cdot \exp\left(0{,}35\frac{h_i}{H}\right). \qquad (4)$$

Обозначим $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = y$, $\frac{N_1}{N_2} = z$, $\gamma = \frac{1}{s-1}$. Причем $y > 1$, $z > 1$.

Поскольку по условию $u^*_1 = u^*_2$, то из выражения (2) получается:

$$1 = y^{3/2}\frac{q_{o1}}{q_{o2}}\exp\left\{0{,}88 \cdot (k_1 r_{01}\cos\varphi)^{1,8} \cdot \left[y^{1,8}\left(\frac{r_{02}}{r_{01}}\right)^{1,8} - 1\right]\right\}.$$

Отношение для начальных радиусов получаем из (4) $\frac{r_{02}}{r_{01}} = \left(\frac{q_{o1}}{q_{o2}}\right)^{0,12}$ и отношение для минимальных регистрируемых электронных плотностей из (1): $\frac{q_{o1}}{q_{o2}} = z^{\gamma}$. Тогда предыдущее равенство примет вид $1 = y^{3/2} z^{-\gamma}\exp\left\{c\left(y^{1,8} z^{-0,21\gamma} - 1\right)\right\}$, (5)

где $c = 0{,}88 \cdot (k_1 r_{01}\cos\varphi)^{1,8}$.

Полученная основная формула (5) связывает искомую частотную функцию «z» с отношением частот «y». Введем обозначение W для отношения коэффициентов заполнения η, который будет представлять некоторую искомую функцию от частоты:

$$W = \frac{\eta_1}{\eta_2}.$$

Из выражения (2) с учетом (4) и (1) получим $\frac{\overline{T}_1}{\overline{T}_2} = y^2 z^{-\gamma/3}$. (6)

Отсюда $$W(y) = y^2 z^{1-\gamma/3}. \qquad (7)$$

Функция W(y) выражена через z(y). Однако при вычислениях следует фиксировать λ_1 (или f_1), поскольку константа «с» в (5) зависит именно от λ_1.

Для частоты f_1 = 40 МГц (λ = 7,5 м, k = 0,84 м$^{-1}$) значения константы с для различных трасс и радиолокационной станции (Р/Л) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения константы с для различных трасс и радиолокационной станции.

Длина трассы	700	1200	1600	Р/Л
h_1 (км)	93	97	100	100
r_{01} (км)	1,07	1,30	1,57	1,57
cosφ	0,391	0,288	0,245	1,00
c	0,134	0,109	0,115	1,45
m	1,78	1,73	1,74	3,56

Для нахождения частотной зависимости z(y) положим $0{,}21 \cdot \gamma \approx \frac{\gamma}{5}$ и обозначим

$$y^{1,8} z^{-\gamma/5} = t. \qquad (8)$$

Уравнение (5), связывающее t и y, принимает вид $1 = t^5 y^{-\frac{15}{2}} e^{c(t-1)}$ и легко разрешается относительно y: $y = t^{\frac{2}{3}} e^{\frac{2}{15}c(t-1)}$.

Последнее выражение представляет собой трансцендентное уравнение. Для установления обратной зависимости t(y) было проведено решение этого уравнения численными методами. Используя выражение (8), зависимость z(y) хорошо аппроксимируется степенной функцией: $z(y) = y^{m(s-1)}$ (9)

Здесь показатель степени m определяется через c (т.е. посредством параметров трассы). Ее значения для разных трасс приведены в таблице 1. Из таблицы видно, что для достаточно длинных трасс показатель степени можно считать постоянной величиной.

$$m = \text{const} = 1{,}7 \div 1{,}8$$

Таким образом, отношение численности метеорных радиоотражений на двух частотах на длинных метеорных радиотрассах определяется выражением

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^{1{,}75(s-1)} \qquad (10)$$

Зависимость коэффициента заполнения (7) теперь примет вид $W(y) = y^{2-1/3+m(s-1)}$

или
$$W = \frac{\eta_1}{\eta_2} = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^{2-1/3+m(s-1)}. \qquad (11)$$

Следует подчеркнуть, что для выражения (5) аппроксимация степенной функцией проведено для значений y в пределах $1 \le y \le 2$. Поэтому вся построенная теория справедлива при соблюдении этого условия. Так при $y > 2$, т.е. $f > 80$ МГц исходные физические предположения теряют силу.

Рассмотрим второй вариант.

2. Уровень порога зависит от длины волны: $u^* \sim \lambda^{3/2}$.

Воспользуемся результатами первого варианта, ибо переход от него к данному случаю упрощает математические выкладки. Будем считать, что относительно первого случая u^*_1, N_1 и η_1 не изменились, а u^*_2 приобрел множитель $\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^{2/3}$. Тогда N_2 следует заменить на выражение $N_2\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^{\frac{2}{3}k_1}$, а η_2 - на $\eta_2\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^{\frac{2}{3}k_1}$. Для второго варианта вместо z и W вводя новые обозначения $\tilde{Z}$ и $\tilde{W}$, получаем
$$\begin{cases} \tilde{Z} = z(y)\cdot y^{-\frac{3}{2}k_1} = y^{m(s-1)-1{,}5k_1}, \\ \tilde{W} = W(y)\cdot y^{-\frac{3}{2}k_1} = y^{2-\frac{1}{3}m+m(s-1)-1{,}5k_1}. \end{cases}$$

В первоначальных обозначениях имеет вид

$$\begin{cases} \dfrac{N_1}{N_2} = \left(\dfrac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^{m(s-1)-1{,}5k_1}, \\ \dfrac{\eta_1}{\eta_1} = \left(\dfrac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^{2-\frac{1}{3}m+m(s-1)-1{,}5k_1}. \end{cases} \qquad (12)$$

Для длинных радиотрасс формулы (10) и (11) для первого варианта и (12) для второго варианта позволяют установить зависимость численности метеорных радиоотражений и коэффициента заполнения от частоты. Экспериментальная проверка полностью подтвердила правильность полученных зависимостей в предположении, что параметр в законе распределения масс s имеет значение 2,6.

Библиографический список:

1. Белькович О. И. Статистическая теория радиолокации метеоров. - Казань: КГУ. - 1971. - 104 с.