

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ И СИСТЕМЫ В ЦЕЛОМ ПРИ ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ

А.И. Рыбаков, аспирант Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, lexeus.r1@gmail.com.

УДК 621.396

Аннотация. В работе представлена методика расчета уровня напряженности на территории распространения трассы. Авторами были оценены уровень электромагнитных помех (ЭМП) от передатчика с антенной, имеющей заданные характеристики диаграммы направленности, на *n*'-скачковой радиотрассе производится не в одной точке, а на всей территории региона. Показаны результаты расчета с отображением графиками в двухмерной системе координат. Предложено решение задачи по расчету зон уверенного приема сигнала от КВ передатчика, работающего на различные типы антенн и определение «мертвых» зон, молчания на радиотрассе.

Ключевые слова: уровень напряженности; электромагнитные помехи (ЭМП); радиотрасса; радиосвязь; декаметровые волны; коротковолновый (КВ) диапазон; уровень сигнала; ионосфера; модель распространения.

MODELING THE MAIN CHARACTERISTICS AND PARAMETERS OF FUNCTIONAL UNITS AND THE SYSTEM AS A WHOLE WHEN CHOOSING THE OPTIMAL FREQUENCY COMMUNICATION CHANNELS

Aleksei Rybakov, postgraduate student St. Petersburg state University of telecommunications.

Annotation. The paper presents the method of calculating the level of tension in the area of distribution of the route. The authors assessed the level of electromagnetic interference (EMI) from a transmitter with an antenna having specified radiation pattern characteristics on the *n*'-hop radio path not at one point, but throughout the region. The results of the calculation are shown with graphs displayed in a two-dimensional coordinate system. A solution to the problem of calculating the zone of reliable reception of a signal from a HF transmitter operating on various types of antennas and the definition of «dead» zones, silence on a radio path has been proposed.

Keywords: level of intensity; electromagnetic interference (EMI); radio path, radio communication; decameter waves; short-wave (HF) range; signal level; ionosphere; propagation model.

При организации и обеспечении дальней КВ радиосвязи для удаленных корреспондентов определен интерес представляет решение задачи по расчету зон уверенного приема сигнала от КВ передатчика, работающего на различные типы антенн и определение «мертвых» зон, молчания на радиотрассе.

В настоящее время расчет линий КВ радиосвязи проводятся по методикам [1-4, 7], графоаналитическим методом (рис. 1) [1]. Имеются данные и о перспективных исследованиях с использованием современных ПЭВМ для автоматизации этих расчетов [7, 8], однако, результаты таких расчетов крайне недостаточно учитывают распространение радиоволн на радиотрассе и проблемы суперпозиции сигналов в точке приема.

Исходя из изложенного выше, целью исследований явилось совершенствование существующих методик расчета линий КВ радиосвязи направленных по пути автоматизации расчетов по определению уровня сигнала на территории построения радиотрассы от передатчика с известными энергетическими характеристиками и заданной передающей антенной, отображения уровня сигнала для каждого из скачков и их среднеквадратического значения, моделирования расчетов определения территориального распределения уровня

сигнала от КВ-передатчика средней мощности и направленной передающей антенной. Кроме того, представляет интерес расчет с учетом процессов многократного отражения радиоволн от ионосферы ($n>1$) и земной поверхности, расчет территориального расчета зон приема сигнала от передатчика на различные типы антенн, и получения данных о зонах, где работу радиолиний обнаружить невозможно.

Прохождение радиоволн через атмосферу сопровождается потерей части электромагнитной энергии волны при прохождении через слои атмосферы D и E . Это характерно для волн КВ-диапазона, проходящего отражение от слоя $F2$ и пересекающего нижележащие слои. Общий интегральный коэффициент поглощения $\alpha = e'G$ представляет собой сумму частных интегральных коэффициентов поглощения в слоях $D, E, F1$, через которые проходит волна, и в слое $F2$, от которого волна отражается. [1-3].

$fL \sim 1 \text{ МГц}$ – продольная составляющая гироманнитной частоты.

При проектируемом варианте трассы протяженностью свыше 1000 км закон секанса требует учета сферичности Земли и ионосферы, что осуществляется поправочным коэффициентом ks , произведение которого на называют исправленным секансом $sec(\varphi_i, j) \text{ испр} = ks \cdot sec(\varphi_i, j)$.

Положительная рефракция может произвести отражение волны внутри ионосферы, т.е. вернуть волну обратно на землю. С уменьшением диэлектрической проницаемости и ростом по закону преломления наблюдается отклонение луча в сторону земной поверхности. В результате рефракции угол падения достигнет в n -м слое значение $q_{n \gg 90^\circ}$ и наблюдается отражение волны на высоте h_{omp} .

Для анализа особенностей распространения радиоволн можно перейти к слоисто-постоянной модели ионосферы (рис. 1) [1].

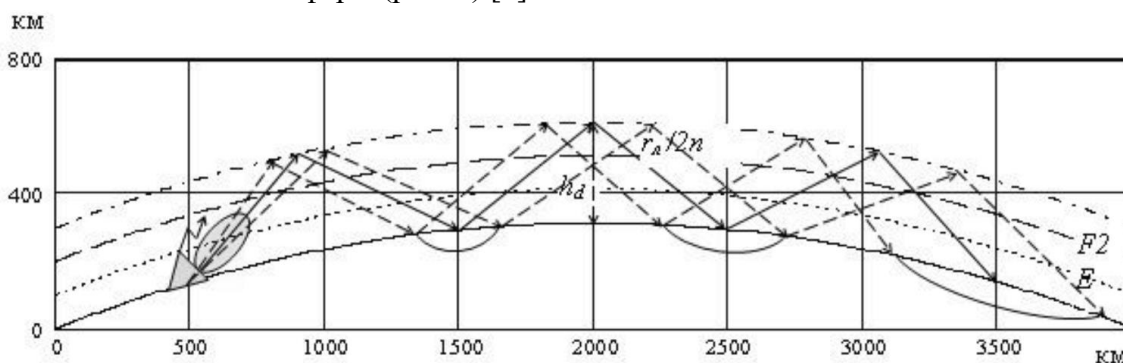


Рисунок 1

Предположим, что значение $\varepsilon=1, q_{n \gg 90^\circ}$ получим формулу для расчета угла падения на нижнюю границу ионосферы, при котором волна вновь направляется в сторону земной поверхности:

$$\sin \varphi = \sqrt{e_n} \quad , \quad (1)$$

где: φ – угол входа луча в ионосферу;

$e_{n(homp)}$ – относительная диэлектрическая проницаемость слоя, где произошло отражение.

Условие отражения (2) можно переписать следующим образом:

$$\sin \varphi = 1 - \sqrt{81 \frac{N_0 \left(\frac{\text{эл}}{\text{см}^3} \right)}{f^2 (\text{кГц})}} \quad (2)$$

В формуле (2) концентрация электронов N_e соответствует высоте отражения $h_{отр} = h_0 + z_{омп}$. Из условия отражения (2) следует, что волна с частотой испытывает отражение на высоте $h_{омп}$ в ионосфере.

$$f_{кГц} = \frac{9 \sqrt{N_e \left(\frac{\text{эл}}{\text{см}^3} \right)}}{\cos \varphi} \quad (3)$$

В случае нормального падения $\theta = 0$ отражение испытывает волна с частотой:

$$f_{кГц} = 9 \sqrt{N_e \left(\frac{\text{эл}}{\text{см}^3} \right)} = f_0 \quad (4)$$

При этом постоянная распространения $k = w \sqrt{\epsilon_a m_a} = 0$, поэтому распространение волны частотой $f = f_0$ невозможно, и происходит поворот траектории обратно на землю. С ростом частоты отражение происходит все выше вплоть до последней высоты, т.е. на высоту с максимальной концентрацией свободных зарядов. Наибольшая частота, при которой волна при нормальном падении еще отражается в ионосфере, называется критической.

$$f_{кр} = f_{0 \max} = 9 \sqrt{N_{э \max}} \text{ кГц} \quad (5)$$

На частотах $f > f_{кр}$ диэлектрическая проницаемость ионосферы величина положительная $\epsilon > 0$ и ионосфера радиопрозрачна. Критические частоты относятся к диапазону КВ [3 ÷ 30 МГц]. При известных средних значениях $N_{э \max}$ в дневное время $f_{кр} = 11 \div 13$ МГц, в ночное время $f_{кр} = 4 \div 6$ МГц; в средних широтах в дневное время $f_{кр} = 6 \div 8$ МГц, в ночное время $f_{кр} = 2,5 \div 4,5$ МГц.

Исключением являются районы Крайнего Севера в период полярного сияния, так как D -слой, ввиду своей высокой плотности, поглощает сигнал вместо того, чтобы отражать его. Плотность нейтральных, неионизированных частиц, которые составляют основную массу в этом регионе в 1000 раз больше в D -слое, чем в E , F -слоях.

Объяснение эффекта полного преломления. При прохождении волны в земной поверхности находящиеся в ней заряды колеблются в направлении вектора волны E , становясь, по сути, дипольными излучателями. При $\theta = \theta_0$ ориентация таких диполей совпадает с направлением отражения падающей волны. Но диполи не излучают вдоль своей оси, следовательно, не будет и отраженной волны.

Расчет напряженности электромагнитного поля E_c ионосферной волны на линии КВ радиосвязи производится с использованием автоматизированной методики проведения расчета уровней ЭМП на территории региона для коротковолновых линий радиосвязи для средних широт, с использованием типовых данных радиопрогнозов и характеристик подстилающей поверхности, при заданных энергетических характеристиках передатчика и характеристиках диаграмм направленности антенн. [1, 6]:

$$E_c = \frac{\sqrt{30 * 0,25 * P_a * G_i}}{r} * |R|^{n-1} * e^{-\Gamma} * D_w(\theta) * D_g(\alpha). \quad (6)$$

Формула (6) представляет собой произведение поля свободного пространства, создаваемого передатчиком мощностью P_a и антенной с коэффициентом усиления G_i , с дальностью распространения, равной длине луча ионосферной волны гл n -скачковой радиотрассы, на множители ослабления, определяемые через полный коэффициент поглощения Γ , коэффициент отражения радиоволн от поверхности земли с заданными

параметрами $|R|$ и с учетом характеристик направленности используемых антенн в вертикальной и горизонтальной плоскости $Dw(\theta)$ и $Dg(\alpha)$. Учет потерь на магнитоионное расщепление волн и поляризационное рассогласование осуществляется снижением мощности, подводимой к антенне Pa , в четыре раза.

Общий интегральный коэффициент поглощения $\alpha = e^{-\Gamma}$ представляет сумму частных интегральных коэффициентов поглощения в слоях D, E, F_1 , через которые проходит волна, и в слое F_2 , от которого волна отражается. Расчет полного коэффициента поглощения Γ произведен по методу Казанцева. При отражении от слоя F_2 полный коэффициент поглощения Γ на частоте излучения передатчика f определяется по критическим частотам слоя f_0E выражением (7) [1]:

$$\Gamma = \frac{3 \cdot (f_0E)^2}{(f+f_L)^2 \cdot \cos(\varphi_D)} + \frac{2,5 \cdot (f_0E)^2}{(f+f_L)^2 \cdot \cos(\varphi_E)} + \frac{0,4 \cdot (f_0E)^2}{(f+f_L)^2 \cdot \cos(\varphi_{F_1})} + 0,02 \cdot f^2 \cdot \cos^3(\varphi_{F_2}) \quad (7)$$

где: $\varphi_D, \varphi_E, \varphi_{F_1}, \varphi_{F_2}$ – углы наклонного падения волны на границу слоев D, E, F_1, F_2 , известные по результатам расчета.

Расчеты и измерения показывают, что условия отражения в ионосфере регулярно выполняются для КВ диапазонов на высотах ниже максимума ионизации. Длинные волны испытывают отражение в слое D , который ночью исчезает. Наиболее благоприятным для дальней связи за счет отражения в ионосфере в слое F является КВ диапазон. За счет многократных отражений в ионосфере и последующих отражений от земной поверхности дальняя связь может составлять тысячи (десяtkи тысяч) км при сравнительно небольших мощностях передатчика. Измерения производятся с помощью специальных станций высотного зондирования. По результатам измерений составляются и рассылаются на места графики суточного изменения максимально применимых частот (МПЧ). Оптимальная частота выбирается равной $f = 0,85$ МПЧ.

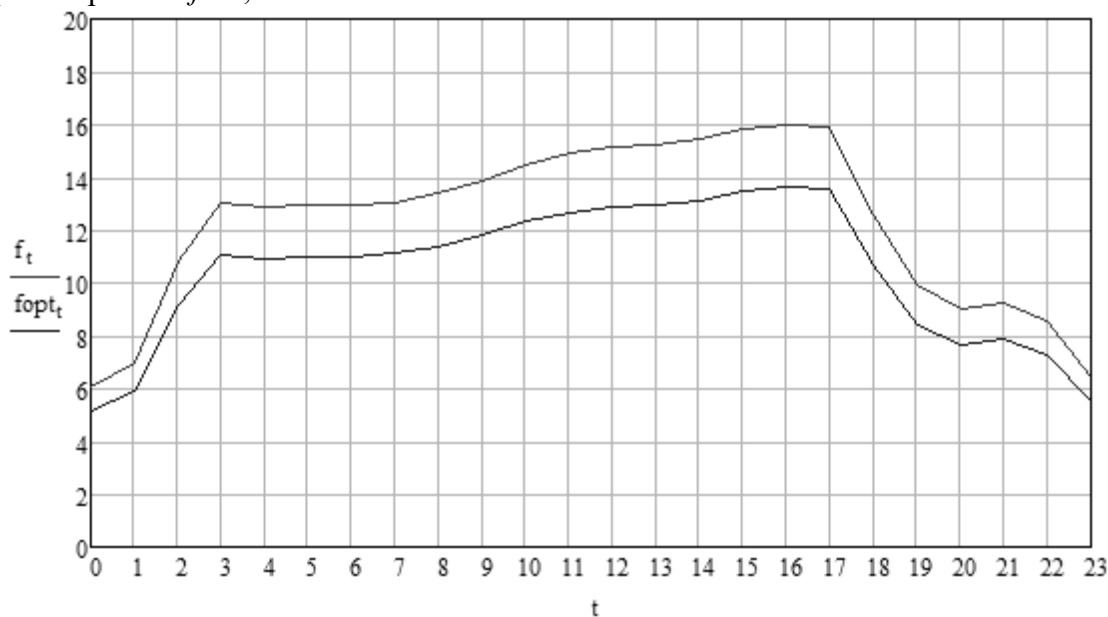


Рисунок 2

На рис. 2 показан график изменения МПЧ, в зависимости от времени суток. Верхней линией показаны значения МПЧ, взятые из модели *IRI*. Нижней линией показаны оптимальные значения МПЧ (0,85 от исходных значений).

Расчет напряженности электромагнитного поля E_s ионосферной волны на линии КВ радиосвязи производится с использованием автоматизированной методики расчета уровней ЭМП на территории региона для линий радиосвязи декаметрового диапазона, для средних

широт, с использованием данных типовых радиопрогнозов и характеристик подстилающей поверхности.

Имеются данные и о перспективных исследованиях с использованием современных ПЭВМ для автоматизации этих расчетов [7, 8], однако, трудоемкость расчетов данной методики достаточная. Помимо этого, результаты таких расчетов крайне недостаточно учитывают распространение радиоволн на радиотрассе и проблемы суперпозиции сигналов в точках приема, не учитывают характеристики диаграмм направленности антенн. Исходя из изложенного выше, целью исследований явилось совершенствование существующих методик расчета линий КВ радиосвязи направленных по пути автоматизации расчетов по определению уровня сигнала на территории построения радиотрассы от передатчика с известными энергетическими характеристиками и заданной передающей антенной, отображения уровня сигнала для каждого из скачков и их среднеквадратического значения.

Литература

1. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн: монография / Ф.Б. Черный. – М., Сов. Радио, 1972. – 464 с.
2. Грудинская Г.П. Распространение радиоволн: монография / Г.П. Грудинская. – М., Высшая школа, 1975, – 280 с.
3. Попов Н.А. Расчет территориального распределения уровней сигнала на многоскачковых радиотрассах от КВ передатчика средней мощности с антенной «Ромб» / Попов Н.А., Пятаков А.И. Автоматизация процессов управления, 2009. – № 1 (15).
4. Воробьев О.В. Вариант реализации двунаправленной связи в смс (системе метеорной связи). Описание программно-аппаратного комплекса смс / Воробьев О.В., Рыбаков А.И. Сборник: материалы VII Международную научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфокоммуникаций в науке и образовании», 2017. – С. 128.
5. Нарышкин Е.М. Волновая служба и антенные устройства. Ч. 1. Теория электромагнитного поля и распространение радиоволн: монография / Нарышкин Е.М., В.П. Серков В.П. – М., Воениздат, 1982. – С. 3.
6. Серков В.П. Расчет коротковолновых радиолиний / Серков В.П., Слюсарев П.В. – Л.: ВАС, 1977. – С. 4.
7. Воробьев О.В. Разработка мобильной системы информационного обеспечения с использованием каналов метеорной связи / Воробьев О.В., Рыбаков А.И. Сборник: материалы VI Международную научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфокоммуникаций в науке и образовании». 2016. – 177 с.
8. Айзенберг Г.З. Коротковолновые антенны [под.ред. Г.З. Айзенберга]: монография / Айзенберг Г.З., Белоусов С.П., Журбенко Э.М., Клигер Г.А., Кукрашов А.Г. - М.: Радио и связь, 1985. – С. 7.