

Том II, с. 368–371
УДК: 621.371.33

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ИОНОСФЕРЫ НА НАПРЯЖЕННОСТЬ ПОЛЯ КОРОТКИХ РАДИОВОЛН

Н. М. Жанг¹, Л. К. Туен²

¹ Технический университет имени Ле Куи Дона, Вьетнам, г. Ханой, ул. Хоанг Куок Вьет, 236
E-mail: nmgiang44@gmail.com

² Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, Лермонтова, 83
E-mail: lequangtuyen1402@gmail.com

Аннотация. В статье представлен метод моделирования напряженности поля мод распространения 1F2, 2F2 и 3F2 коротких радиоволн с учетом регулярных и случайных неоднородностей ионосферы. Приведены результаты моделирования частотной зависимости напряженности поля радиоволн различных мод. Показано, что рассеяние радиоволн в ионосфере приводит к возможности приема радиоволн на частотах, превышающих максимально применимые частоты.

Ключевые слова: КВ; распространение радиоволн; неоднородность ионосферы; напряженность поля; рассеяние радиоволн; ионосфера

MODELING OF INFLUENCE OF IONOSPHERE INHOMOGENEITIES ON FIELD STRENGTH OF SHORT RADIO WAVES

N. M. Giang, L. Q. Tuyen

Abstract. The article presents a method calculating field strength of propagation modes 1F2, 2F2 and 3F2 of short radio waves, taking into account regular and random inhomogeneities of the ionosphere. The results of modeling frequency dependence of radio field strength are given. Simulation results indicate that scattering of radio waves in the ionosphere leads to possibility of receiving radio waves at frequencies exceeding the maximum usable frequencies.

Keywords: HF; radio wave propagation; inhomogeneities of the the ionosphere ; field strength; scattering; the ionosphere

Введение

Радиотехнические системы коротковолнового (КВ) диапазона занимают устойчивые позиции в сфере радиосвязи. В гражданской авиации радиотехнические системы КВ диапазона используются для организации дальней и аварийной радиосвязи. Основным достоинством радиоволн КВ диапазона является способность распространяться на значительные расстояния при относительно небольшой мощности передающего устройства. К недостаткам КВ радиосвязи следует отнести зависимость качества связи от параметров ионосферы. Для повышения качества КВ связи необходимы прогнозирования основных характеристик распространения радиоволн как напряженность поля, максимальные применимые частоты, и углы излучения и прихода радиоволн. Среди этих характеристик - напряженность поля играет важную роль потому, что при прогнозировании напряженности поля в пункте приема позволяет выбрать оптимальные мощности радиопередатчиков и коэффициенты направленного действия приемно-передающих антенн. В настоящее время существует ряд работ, посвященных прогнозированию характеристик односкачковых трасс, например, работы [1, 2]. Однако вопрос прогнозирования напряженности электрического поля радиоволн, отражающихся два или три раза от ионосферы (моды 2F2 и 3F2) в условии горизонтально-неоднородной рассеивающей ионосферы еще мало изучен. Результаты эксперимента показаны, что в пункте приема КВ сигналов часто принимаются радиоволны

различных модов кроме радиоволн основного мода. Поэтому задача моделирования напряженности электрического поля различных модов распространения радиоволн с учетом неоднородности ионосферы стала актуальной.

Цель работы является моделирование влияния неоднородностей ионосферы на напряженность поля различных модов распространения радиоволн.

Метод расчета характеристик распространения КВ в горизонтально-неоднородной рассеивающей ионосфере

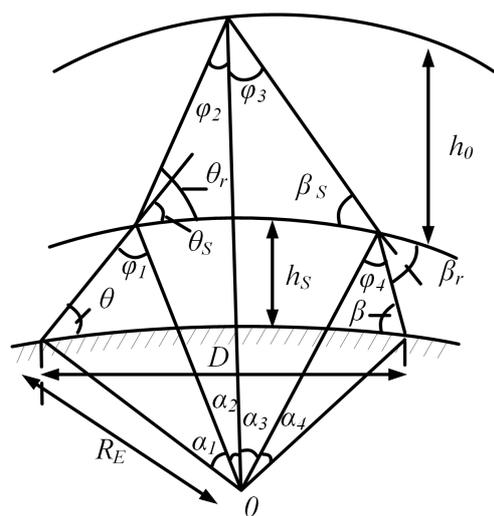


Рис. 1. Моделирование траектории КВ в горизонтально – неоднородной рассеивающей ионосфере.

по формулам:

$$h_0 = h_{01} + R_E \cdot (\alpha_1 + \alpha_2) \cdot \tan(\varepsilon), \quad (1)$$

$$\tan(\varepsilon) = \frac{(h_{02} - h_{01})}{D}$$

где D – расстояние между приемником и передатчиком; R_E – радиус Земли; h_{02} , h_{01} – высоты отражающего слоя в точках передатчика и приемника, соответственно. Для расчета h_{02} и h_{01} используется формула [3]:

$$h = \frac{1486}{\sqrt{M^2(3000) - 1}} - 176,$$

где $M(3000) = MUF(3000)/f_0F2$ – коэффициент распространения для дальности 3000 км. Значения $M(3000)$ и критическая частота слоя $F2$ (f_0F2) определяются при задании географических координат, времен суток и уровней активности Солнца по статистической модели ионосферы, например [6].

Согласно рис. 1 центральные углы α_2 определяется по формуле:

$$\alpha_2 = \pi/2 - \varphi_2 - \theta_r, \quad (2)$$

угол φ_2 определяется из выражения:

$$\sin(\varphi_2) = \frac{R_E + h_S}{R_E + h_0} \cdot \cos(\theta_r) \quad (3)$$

Углы α_2 , φ_2 можно найти при использовании метода итераций по формулам (1–3), где за нулевое приближение примем $h_0 = h_{01}$. Мы рассчитываем φ_2 из (3), α_2 из (2) и уточним значение h_0 из (1). Полученное значение h_0 используется для уточнения значения φ_2 из (3). Процесс

расчета остановится, когда удовлетворяется условие разность предыдущего и следующего значения α_2 меньше $0,001^0$. После отражения от ионосферы радиоволны движутся вниз и падают на рассеивающей слой под углами β_s и на Земли под углом β .

Дальность распространения лучей определяются как:

$$D = R_E \cdot (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4)$$

Для моделирования рассеяния радиоволн в ионосфере, мы используем метод, представленный в [4]. Следуя этому методу, углы входа θ_S в ионосферу и углы выхода радиоволн из ионосферы β_r испытывают случайные возмущения γ_1 и γ_2 : $\theta_r = \theta_S + \gamma_1, \beta_r = \beta_S + \gamma_2$, где случайные значения γ_1 и γ_2 имеют одинаковые характеристики: с нулевыми средними отклонениями, а среднеквадратические отклонения S равны интенсивности рассеяния радиоволн в ионосфере. Значение параметра рассеяния S зависит от сезона года, времени суток и определено по экспериментам.

Для статистической обработки характеристик распространения радиоволн мы выберем на поверхности Земли отрезки длиной Δ и для лучей с дальностью D_i , попадающими в k -й отрезок, рассчитаем средние значения углов излучения, приема и дальностей распространения радиоволн θ_k, β_k, D_k . Эти средние характеристики распространения КВ используются для расчета напряженности электрического поля КВ.

Метод расчета напряженности поля

Для расчета напряженности поля радиоволн используем известную формулу [6]:

$$E = \frac{173 \cdot \sqrt{P \cdot G} \cdot F(\theta) \cdot e^{-K} \cdot 10^{(L_0 - L_S)/20} \cdot 0,8^{n-1}}{D}, (4)$$

Где D - расстояние между точками передачи и приема (км), P - мощность радиопередатчика в кВт, G - коэффициент усиления передающей антенны, $F(\theta)$ - диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости, K - коэффициент поглощения радиоволн в ионосфере, n - количество отражений радиоволн от ионосферы, L и L_0 - относительные потери распространения без учета рассеяния радиоволн в ионосфере и с учетом рассеяния радиоволн, соответственно.

Коэффициент поглощения радиоволн в ионосфере K рассчитан по формуле Казанцева [7] при расчете средних значений углов входа радиоволн в ионосферу и выхода радиоволн из ионосферы. Коэффициент относительных потерь L из-за рассеяния радиоволн в ионосфере рассчитан по формуле [3]:

$$L = 10 \cdot \lg \left(\left(R_E \cdot \Delta \cdot \sin \left(\frac{D_k}{R_E} \right) \cdot \sin(\beta_k) \right) / n \cdot \delta \cdot \cos(\theta_k) \right), (5)$$

Где δ - шаг по углу излучения, Δ - участка интегрирования в окрестности дальности радиолинии, n - число лучей, попадающих в окрестности дальности радиолинии, θ_k и β_k - средние значения углов излучения и приема, соответственно.

Результаты расчета напряженности поля и обсуждение

Из метода расчета напряженности поля мы разработали программу моделирования напряженностей поля на ЭВМ. Входные данные для расчета: географические координаты пункта передачи и приема, числа Вольфа, рабочая частота, дата и время и параметр рассеяния радиоволн S .

На рис. 2 показаны результаты моделирования частотной зависимости напряженности поля для трассы длиной 2300 км при различных параметров рассеяния радиоволн ($S = 1^0, 2^0$ и 3^0), число Вольфа $W = 167$, мощность передатчика - 1000 Вт, коэффициент направленного действия - 30, высота рассеяния отражающего слоя - 100 км.

Из рис. 2 видно, что в случае отсутствует рассеяние радиоволн в ионосфере напряженность поля резко уменьшается при рабочей частоте $f \approx$ МПЧ ($\approx 20,8$ МГц для мода 1F2, $\approx 14,2$

МГц для мода 2F2, ≈ 8.6 МГц для мода 3F2). При учете рассеяния радиоволн в ионосфере с параметром рассеяния $S = 1^0$ можно принимать радиоволны с рабочей частотой выше МПЧ для каждого мода (до 22 МГц для мода 1F2, 17,5 МГц для мода 2F2, до 10 МГц для мода 3F2. Когда параметр рассеяния увеличится ($S=2^0$), тогда частоты, на которых можно принимать радиоволны также повысятся.

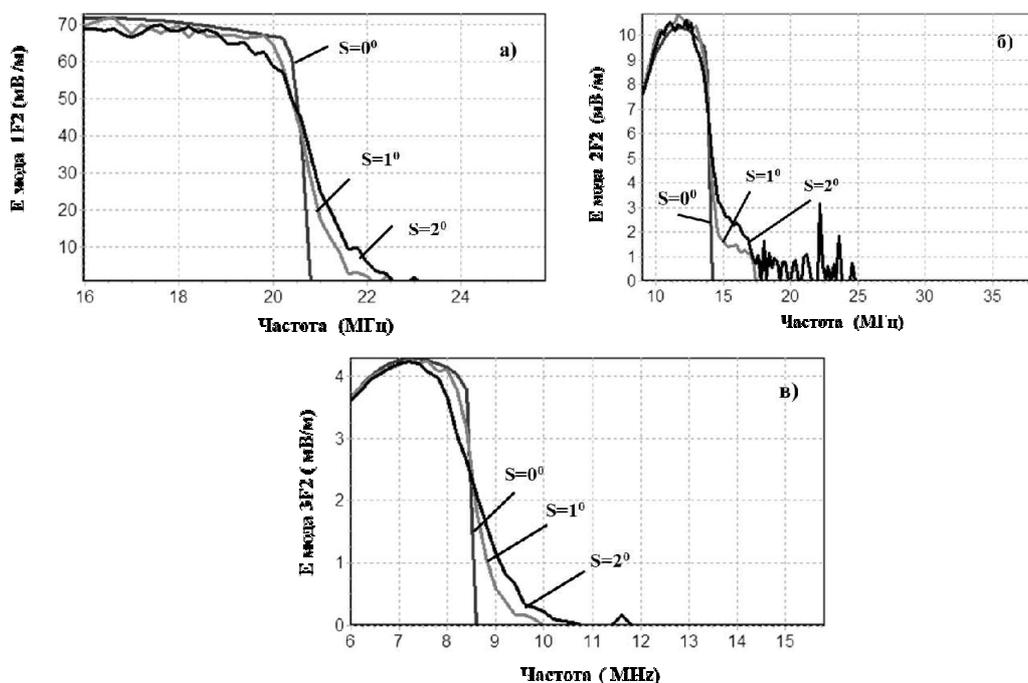


Рис. 2. Частотная зависимость напряженности поля мод 1F2 (а), 2F2(б) и 3F2(в) при различных значениях параметра рассеяния S^0 .

Заключение

В статье представляется метод моделирования напряженности поля модов 1F2, 2F2 и 3F2 в горизонтально-неоднородной рассеивающей ионосфере. В результате моделирования напряженности поля показано, что рассеяние радиоволн в ионосфере позволяет повысить рабочие частоты КВ радиосвязи. Показана необходимость учета рассеяния радиоволн при расчете напряженности поля коротких радиоволн, отражающихся от ионосферы.

Список литературы

1. Акимова В.Ф., Калинина Ю.К. и Тасенко С.В. Односкачковое распространение радиоволн. – М.: ВНИИГМИ-МЦД, 2014. – 259 с.
2. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. – М.: Мир. – 1973. – 502 с.
3. Агарышев, А.И. Системы коротковолновой радиосвязи с подавлением многолучевости сигнала: монография / А.И. Агарышев и др. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. – 160 с.
4. Агарышев, А.И., Нгуен Минь Жанг. Математическое моделирование угловых характеристик декаметровых радиоволн с учетом регулярных и случайных неоднородностей ионосферы // Успехи современной радиоэлектроники. – 2017. – № 12. – С. 165 - 168.
5. A simple HF propagation method for MUF and field strength: Document CCIR 6/288. – CCIR XVI-th Plenary Assembly. – Dubrovnik, 1986. – 34 p.
6. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. – М.:Связь, 1972. – 336 с.
7. Черенкова Е. Л., Чернышов О. В. Распространение радиоволн. – М.: Радио и Связь, 1984. – 272 с.