

УДК 681.518.2

О.В. Шульга

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ОБГРУНТУВАННЯ І ВИБІР АНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯ ПРИЙМАЮЧОЇ ХВИЛІ ПРИ ЇЇ ТРАНСІОНОСФЕРНОМУ РОЗПОВСЮДЖЕННІ

Проведений аналіз аналітичних методів розрахунку статистичних характеристик поля прийому хвилі при її трансіоносферному поширенні, найбільш відомим із яких є метод фазового екрану (МФЕ). Основу МФЕ становить модель РРВ всередині іоносферного шару, описувана наближенням фазового екрану (ФЕ). Визначено, що дане наближення найкращим способом відповідає уявленню моделі розподілу флуктуацій ЕК в іоносфері у вигляді тонкого шару неоднорідностей з флуктуаціями інтегральної ЕК $\Delta NT(\rho)$. Наближення ФЕ дозволяє визначити вираз для дисперсії флуктуацій фазового фронту хвилі $\Delta\phi(\rho, z)$ на виході іоносферного шару.

Ключові слова: метод фазового екрану, іоносферний шар, трансіоносферне поширення радіохвиль, дифракція хвиль, флуктуації коефіцієнта заломлення, неоднорідність іоносфери, монохроматична хвиля.

Вступ

Сутність МФЕ полягає в аналітичному розрахунку статистичних характеристик поля даної хвилі в точці прийому шляхом рішення задачі дифракції хвиль за ФЕ при заданій статистиці віртуальних джерел, обумовленою σ^2_ϕ .

Наближення ФЕ залишається справедливим при таких значеннях $\sigma^2_{\Delta N_e} = (\beta N_{em})^2$ і f_0 , коли величина $\sigma^2_\phi \ll 1$. У цьому випадку дифракційними ефектами на неоднорідностях всередині іоносферного шару можна знехтувати і вважати амплітуду вихідної хвилі незмінною в порівнянні з падаючою

$$A(\rho, z_y) \approx A_0.$$

Збільшення $\sigma^2_{\Delta N_e}$ або зменшення f_0 призводить до того, що флуктуації фази у фронті ЕМХ стають помітними вже всередині неоднорідного шару. Подальше поширення такої хвилі супроводжується дифракційними ефектами, в результаті яких її фронт на виході іоносферного шару виявляється схильним не тільки фазовим, але і амплітудним флуктуаціям $\chi(\rho, z_e)$.

Мета статті: вивчення аналітичного методу розрахунку статистичних характеристик поля прийому хвилі при її трансіоносферному поширенні методом ФЕ та встановити граничну умову застосовності даного методу.

Основна частина

Дисперсії флуктуації фази σ^2_ϕ і амплітуди σ^2_χ по фронту вихідної хвилі можна визначити шляхом вирішення завдання поширення і дифракції в товстому неоднорідному шарі в наближенні Ритова (плавних збурень). Використовуючи відому модифікацію спектру флуктуацій коефіцієнта заломлення n [1]

$$\Phi_n(k) = \frac{r(\gamma + 3/2)\sigma_n^2 L_0^2}{\pi\sqrt{\pi}\Gamma(\gamma)(1 - k^2 L_0^2)^{\gamma+3/2}}. \quad (1)$$

де $\sigma_n^2 = (\lambda r_e / k_n) \sigma_{\Delta N_e}^2$ – дисперсія флуктуацій n .

Враховуючи, що $\Phi_n(k) \approx \Phi_{\Delta N_e} \approx k^4$ досягається при $\gamma = 1/2$ отримано такий результат:

$$\Phi_n(k) = \frac{\sigma_n^2 h_0^2}{\pi^2 (1 + k^2 h_0^2)^2}. \quad (2)$$

Використовуючи

$$\sigma_\phi^2 \approx 2(\lambda r_e)^2 L_0 z_y \sigma_{\Delta N_e}^2, \quad (3)$$

можна отримати вираз для дисперсії флуктуацій амплітуди (рівня) у фронті хвилі на виході іоносферного шару у вигляді

$$\sigma_\chi^2 \approx \frac{k_0 z_e^2 \sigma_n^2}{L_0} = \frac{2\pi (40.4 z_e \beta N_{em})^2}{L_0 f_0^3}. \quad (4)$$

Згідно з експериментальними даними, наближення Ритова залишається справедливим за умови

$$\sigma_\chi^2 \leq 0.3, \quad (5)$$

що визначає межу слабких флуктуацій хвилі. Що стосується фазових флуктуацій, то наближення Ритова не накладає обмежень на величину σ_ϕ^2 .

Отже, отримане в наближенні ФЕ вираз для σ_χ^2 буде справедливо не тільки за умови $\sigma_\phi^2 \ll 1$, але і при $\sigma_\phi^2 \gg 1$ (тобто при будь-яких σ_ϕ^2).

Очевидно, що на статистичні характеристики поля прийому хвилі будуть впливати флуктуації як фазового (σ_ϕ^2), так і амплітудного (σ_χ^2) фронту хвилі на виході іоносферного шару. При цьому облік σ_ϕ^2 істотно ускладнює метод аналітичного розра-

хунку статистичних характеристик прийому хвилі і отримане з його допомогою вираження. У той же час відношення дисперсій (2):

$$\sigma_{\phi}^2 / \sigma_x^2 = 4\pi L_0^2 / (\lambda z_e),$$

показує, що для довжин хвиль, використовуваних в РТС, флуктуації рівня в амплитудном фронті вихідний хвилі будуть значно менше фазових ($\sigma_x^2 \ll \sigma_{\phi}^2$) при будь-яких значеннях іоносферних параметрів β і N_{em} , для яких справедливо наближення Ритова ($\sigma_x^2 < 0,3$).

Звідси випливає, що для інженерних розрахунків статистичних характеристик поля прийому хвилі при трансіоносферном поширенні можна використовувати результати найбільш простого методу фазового екрану до тих пір, поки виконується умова слабких флуктуацій

$$(\beta N_{em})^2 \leq 9 \cdot 10^3 \cdot (L_0 / z_e^2) \cdot f_0^3. \quad (6)$$

При зміні іоносферних параметрів (β , N_{em}) або несучої частоти (f_0) випромінюваних хвиль (сигналів) до значень, коли гранична умова порушується, облік сильних амплітудних флуктуацій вихідний хвилі ($\sigma_x^2 > 0,3$) в статистичних характеристиках прийому хвилі представляється обов'язковим. Однак, рішення цієї задачі аналітичними методами (наприклад, параболічного рівняння) скрутно, а крім того, загальний вираз для визначення σ_x^2 в рамках теорії сильних флуктуацій до теперішнього часу не отримано [2]. Тому МФЕ можна застосувати і в тому випадку, коли значення параметрів β , N_{em} , f_0 не задовольняють умові, однак отримувані при цьому результати слід вважати нижньою межею зміни статистичних характеристик поля прийому хвилі.

Таким чином, найбільш доцільним з точки зору простоти і області застосовності аналітичного методу розрахунку статистичних характеристик поля прийому хвилі при її трансіоносферном поширенні є метод ФЕ. Встановлено граничну умову застосовності даного методу, при виконанні якого результати розрахунку зазначених характеристик можна вважати досить достовірними (для прикладних досліджень), а при його порушенні – нижньою межею їх зміни.

Висновки

У рамках даної статті було визначено, що функціонування системи ідентифікації КА залежить від можливості прийому радіосигналів неконтрольованих випромінювань (НКВ) КА і алгоритмів обробки цих сигналів. Процеси нестабільності ЗГ БРТС, що служать для ідентифікації КА, визначають необхідність вибору оптимального алгоритму обробки інформації про ці процеси з оцінкою параметрів обраної моделі на тлі адитивного шуму вимірювань. Особливий інтерес при цьому представляє спільне дослідження повільно змінюючихся $m(t)$ і швидкозмінюючихся $n(t)$ компонентів процесу ідентифікації $g(t)$.

Список літератури

1. Крейн Р.К. Фундаментальные ограничения, связанные с процессами распространения радиоволн / Р.К. Крейн // ТИИЭР. – 1981. – Т. 69, № 2. – С. 64–80.
2. Нестационарные процессы в ионосфере Земли и их влияние на распространение коротких радиоволн / Ю.Е. Тарашук, П.М. Нагорский, Б.Б. Борисов и др. – Томск : Томский ун-т, 1986. – 344 с.

Надійшла до редколегії 16.6.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА РАСЧЕТА СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯ ПРИНИМАЕМОЙ ВОЛНЫ ПРИ ЕЕ ТРАНСИОНОСФЕРНОМ РАСПРОСТРАНЕНИИ

О.В. Шульга

Проведен анализ аналитических методов расчета статистических характеристик поля принимаемой волны при ее трансіоносферном распространении, наиболее известным из которых является метод фазового экрана (МФЭ). Основу МФЭ составляет модель РРВ внутри ионосферного слоя, описываемая приближением фазового экрана (ФЭ). Определено, что данное приближение лучшим способом соответствует представлению модели распределения флуктуаций ЭК в ионосфере в виде тонкого слоя неоднородностей с флуктуациями интегральной ЭК $\Delta NT(\rho)$. Приближение ФЭ позволяет определить выражение для дисперсии флуктуаций фазового фронта волны $\Delta\phi(\rho, z)$ на выходе ионосферного слоя.

Ключевые слова: метод фазового экрана, ионосферный слой, трансіоносферное распространение радиоволн, дифракция волн, флуктуации коэффициента преломления, неоднородность ионосферы, монохроматическая волна.

RATIONALE AND SELECTION OF ANALYTICAL METHOD FOR RECEIVED WAVE STATISTICAL CHARACTERISTICS FIELD CALCULATION AS IT TRANSIONOSPHERIC DISTRIBUTION

O.V. Shulga

The analysis of analytical calculating methods for the received wave field statistical characteristics during its propagation transionospheric, the most famous of which is the method of phase screen (MFE). The basis of the model MFE RTD within the ionospheric layer, described the approach phase screen (PE). It was determined that the best way to approach a representation of the distribution model EC fluctuations in the ionosphere in the form of a thin layer irregularities with the fluctuations of the integrated EC $\Delta NT(\rho)$. Approaching the PV to determine an expression for the variance of the phase fluctuations of the wave front $\Delta\phi(\rho, z)$ at the output of the ionospheric layer.

Keywords: method of phase screen, ionospheric layer, through ionosphere radio waves, diffraction waves, fluctuations of the refractive index inhomogeneity of the ionosphere, monochromatic wave.