

УДК 621.396

С.Є. Ломоносов

Національна академія оборони України, Київ

## ШЛЯХИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ІОНОСФЕРИ ЗЕМЛІ НА ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ ПРИЙОМУ СИГНАЛІВ У РАДІОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ КОСМІЧНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

*На сучасному етапі розвитку космічних технологій все більш зростає тенденція інтеграції космічних систем зв'язку і навігації, що висуває ряд вимог щодо забезпечення підвищення якості передачі інформації в радіоканалі. Головними з показників, що характеризують радіотехнічну систему, є їх завадостійкість, достовірність і оперативність прийому та обробки інформації. Внаслідок чого в статті запропоновано шляхи урахування впливу середовища розповсюдження радіохвиль на завадостійкість наземних радіотехнічних систем (РТС).*

*параметри іоносфери, завадостійкість приймальних пристроїв, космічні навігаційні системи*

### Вступ

Для ефективного використання космічними навігаційними системами (КНС) при вирішенні цільових задач необхідна підтримка стійкого інформаційного обміну між бортовим спеціальним комплексом космічного апарата (КА) і наземними сегментами системи. Необхідно відзначити, що навігаційне поле (інформаційна мережа) створюване між КА і наземними РТС постійно зростає. Особливості його побудови і тенденції розвитку сучасних КНС висувають ряд вимог по підвищенню швидкості і точності визначення місцеположення об'єкту. Це пов'язано в першу чергу з якістю прийому сигналів в наземних радіотехнічних комплексах (РТК), одним з основних показників якого є завадостійкість прийому радіосигналів. Проте є ряд критичних чинників, що впливають на якість функціонування РТК, у тому числі, обумовлені середовищем розповсюдження радіохвиль в каналі передачі сигналів між КА і наземним комплексом. В цих умовах необхідне вірне і точне врахування впливу всіх чинників, що дозволити здійснити експлуатацію радіосистем в складних умовах задовою обстановки і в тій же час надасть можливість виключити зайві енергетичні витрати при проектуванні і експлуатації бортової апаратури КА [1, 2].

**Аналіз літератури.** Проведений аналіз в даній області показав, що питання врахування іоносферних завад і до теперішнього часу не знайшли достатньо повного відображення в науково-технічній літературі. В реальних умовах функціонування РТС при дії частотно-селективних завмирань в атмосферному шарі Землі вірогідність помилкового прийому при демодуляції радіосигналів істотно підвищується. При цьому виникають перешкоди, викликані нелінійними спо-

твореннями інформаційного сигналу, боротьба з якими у відомій літературі розглянута недостатньо повно. [1, 2, 4, 5].

**Метою статті** є пошук шляхів оцінки завадостійкості приймальних пристроїв космічних систем залежно від значень частотних параметрів передаєних сигналів і фізичних параметрів іоносфери.

### Основний матеріал

Аналіз особливостей побудови і функціонування космічних навігаційних систем в умовах збурення іоносфери (ЗІ) Землі показує, що оскільки більшість з них працює в діапазонах коротких хвиль, то ці лінії знаходяться під сильним впливом іоносферних ефектів. Дія цих чинників виявляється в зміні параметрів електромагнітної хвилі (ЕМХ) в точці прийому, відповідних зміні параметрів середовища розповсюдження радіохвиль.

В першу чергу необхідно урахувати розподіл електронної концентрації (ЕК) іоносфери по висоті  $z$ , яких характеризується сукупністю деякого регулярного середнього значення  $N_{\text{ср}}(z)$  і випадкових відхилень ЕК в просторі  $\Delta N_e(x,y,z) = \Delta N_e(\rho,z)$  щодо цього середнього

$$N_e = N_{e \text{ ср}}(z) + \Delta N_e(\rho, z).$$

Оскільки завадостійкість будь-якого оптимального приймача оцінюється за допомогою функціональної залежності  $P_{\text{ош}} = \psi(h_0^2)$ , де  $h_0^2$  – вхідне відношення енергії сигналу на вході приймача до спектральної щільності перешкод  $E_r/N_0$ , яка відповідає відношенню потужностей сигналу ( $P_c$ ) і перешкоди ( $P_n$ ) на виході даного приймача

$$h_0^2 = E_r/N_0 = (P_c/P_n)_{\text{вих}}.$$

Вочевидь, що вплив поглинання в іоносфері і їх рефракція приводять до зростання  $P_{\text{ош}}$  унаслідок

зменшення вхідного відношення  $h^2 = E_r / N_0$  в порівнянні із забезпечуваним  $h_0^2 = E_r / N_0$  при ідеальному розповсюдженні радіохвиль:

$$h^2 = \eta_{п,р} h_0^2,$$

де  $\eta_{п,р} < 1$  – коефіцієнт енергетичних втрат, обумовлений поглинанням радіохвиль в іоносфері;  $\eta_p < 1$  – коефіцієнт енергетичних втрат, обумовлений неточністю наведення антен через іоносферну рефракцію радіохвиль.

В той же час необхідно врахувати фазовий фронт монохроматичної хвилі на виході іоносферного шару, який може істотно мінятися, що пояснюється його значною залежністю від величини відносної діелектричної проникненості іоносфери  $\epsilon(\rho, z)$  і визначається

$$\varphi(\rho, z_3) = k_0 z_3 + \bar{\varphi}(z_3) + \Delta\varphi(\rho, z_3),$$

де  $z_3$  – набіг фази у вільному просторі;  $\bar{\varphi}(z_3)$  – значення фазового запізнювання в іоносфері;  $\Delta\varphi(\rho, z_3)$  – флукутацією фазової затримки.

З доведеного видно, що фазовий фронт монохроматичної хвилі на виході іоносферного шару якісно змінюється, що пояснюється його значною залежністю від діелектричної проникненості іоносфери  $\epsilon(\rho, z)$ .

Наступним етапом пропонується оцінити вплив дисперсійних якостей іоносфери на завадостійкість радіотехнічних комплексів, загальними особистостями якого є ослаблюючі і рефракційні чинники трансіоносферного розповсюдження радіохвиль (РРХ) на завадостійкість космічних навігаційних систем, які полягають в тому, що збільшення інтегральної середньої ЕК іоносфери  $N_{\text{тср}}$  і зменшення несучої частоти передаваних сигналів  $f_0$  викликають зменшення відношення сигнал/шум на вході приймача КНС і, як наслідок, зростання  $P_{\text{ош}}$ .

Подальший процес розповсюдження монохроматичної хвилі за іоносферним шаром доцільно описати за допомогою традиційного для теорії зв'язку науково-методичного апарату побудови багатопроменевої моделі каналу зв'язку (КЗ), де сигнал, що приймається, описується відомим співвідношенням [6]:

$$S_r(t) = \sqrt{2} \operatorname{Re} \left\{ \int_0^t \sqrt{P_t} e^{j\omega_0 t} dt \right\} = \sqrt{2} \operatorname{Re} \left\{ \sqrt{P_t} \int_0^t b e^{j\omega_0(t-\tau_{\text{ср}})} dt \right\}, \quad (1)$$

де  $\tau_{\text{ср}} = z/c + \tau_0 + \tau$  – середній час запізнювання по всьому промінні;  $P_t$  – потужність передаваного сигналу;

$b = \sum_{i=1}^L \sqrt{F_0} e^{-j\omega_0 \Delta\tau_i}$  – коефіцієнт передачі КЗ.

З використанням статистичного параметру передавальної характеристики  $\hat{b}$  спільно з (1) задаємо модель КЗ із загальними завмираннями і визначаємо середню потужність сигналу, що приймається, і його регуляторну і флукутаційну складові

$$\bar{P}_r = \alpha^2 P_t + 2\sigma_b^2 P_t = P_r + P_{\text{фл}}.$$

Для оцінки завадостійкості прийому модульованих сигналів доцільно використовувати аналогічний підхід, з урахуванням того, що останні характе-

ризуються наявністю огинаючої і високочастотного заповнення ( $f_0$ ) і мають кінцеву ширину спектру частот ( $\Delta f_0$ ), тому замість несучої частоти  $f_0$  використовується параметр  $f = \omega/2\pi$ , відповідний поточному значенню частоти модульованої ЕМВ в межах ширини її спектру

$$\Delta\omega_0 = \omega - \omega_0 = 2\pi\Delta f_0.$$

Отже, в цьому випадку зміни фазового фронту хвилі на виході іоносферного шару залежатимуть ще і від  $\omega$ .

Враховуючи, що в космічних навігаційних системах використовуються вузькосмугові сигнали в радіотехнічному значенні ( $\omega_0 \gg \Delta\omega_0$ ), функцію  $\varphi(\omega, \rho, z_3)$  потрібно розкласти в ряд Тейлора поблизу  $\omega_0$  і обмежитися при цьому трьома першими членами розкладання:

$$\varphi(\omega, \rho, z_3) = \varphi(\omega_0, \rho, z_3) + \varphi'(\omega_0, \rho, z_3)(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \varphi''(\omega_0, \rho, z_3)(\omega - \omega_0)^2.$$

Оскільки впливи дисперсійних властивостей іоносфери на завадостійкість радіотехнічних систем визначаються в основному інтегральною середньою ЕК, тому оцінити їх вплив на завадостійкість КНС нескладно. Дисперсійні спотворення форми сигналів, що приймаються, викличуть розузгодження останніх з схемою оптимальної обробки сигналів відношення ( $P_c/P_n$ ) зменшиться, що еквівалентно зниженню відношення сигнал/шум на вході приймача і залежить від  $\eta_g$  коефіцієнту енергетичних втрат.

Якісний аналіз особистостей фазових ефектів, виникаючих при трансіоносферному розповсюдженні модульованої хвилі вказує на те, що приймаемі в КНС сигнали будуть мати дисперсійні зміни та завмирання загального та частотно-селективного типу.

Таким чином, отримані вище результати дозволяють розрахувати завадостійкість перспективних радіотехнічних комплексів в різних умовах і визначити наступні закономірності впливу чинників розсіювання радіохвиль на неоднорідностях іоносфери: при збільшенні флукутацій інтегральної ЕК іоносфери  $\Delta N_r(\rho)$ , а також при зменшенні несучої частоти  $f_0$  передаваних сигналів і розширенні їх спектру  $\Delta f_0$  тип моделі трансіоносферного КС стає складнішим, унаслідок чого при незмінному значенні відношення сигнал/шум величина  $P_{\text{ош}}$  приймача КНС зростає.

## Висновок

Таким чином, в результаті використання наданого напрямку стає можливим оцінити завадостійкість приймальних пристроїв при некогерентному прийомі сигналів в КНС залежно від значень частотних параметрів передаваних сигналів і фізичних параметрів іоносфери, що визначають її розсіюючі властивості і дозволяють вирішувати наступні завдання:

– покращити завадостійкість демодуляції радіосигналів перспективних інтегрованих космічних навігаційних систем;

– підвишити достовірність передачі інформації в супутникових каналах зв'язку та передачі даних та

– підвисити надійність передачі сигналів в реальному масштабі часу.

### Список літератури

1. Гундзе Е., Лю Чжаохань Мерцание радиоволн в ионосфере // ТИИЭР, 1982. – Т. 70, № 4. – С. 5-45.
2. Исмару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т. 1. – М.: Мир, 1981. – 279 с.
3. Ратклифф Дж. Введение в физику ионосферы и магнитосферы. – М.: Мир, 1975. – 420 с.
4. Тепляков.И.М. Ионосферные искажения цифровых сигналов с широкополосной модуляцией // Радиотех-

ника. – 1984. – № 4. – С. 8-13.

5. Тарашук Ю.Е., Нагорский П.М., Борисов Б. Б. и др. Нестационарные процессы в ионосфере Земли и их влияние на распространение коротких радиоволн. – Томск. из-во Томского ун-та, 1986. – 342 с.

6. Гершман Б.Н., Механизмы возникновения ионосферных неоднородностей в области F // В кн.: Ионосф. исследования. – М.: Сов. радио, 1980. – № 30. – С. 17.

Надійшла до редколегії 13.04.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, Київ.