

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

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

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 $\tau_{\text{ср}} = z/c + \tau = t_0 + \tau$ – 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 (Δf_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 ω .

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 ω_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 η_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 Δf_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.