

УДК 502/504 (15)+621.739

С. В. КОЗЕЛКОВ, доктор техн. наук, професор;

В. Ф. ФРОЛОВ, доктор техн. наук, професор;

Л. А. КИРПАЧ, канд. техн. наук, доцент,

Державний університет телекомунікацій, Київ

АНАЛІЗ ВПЛИВУ КОСМІЧНОЇ ПОГОДИ ТА КОСМІЧНОГО СМІТТЯ НА ЯКІСТЬ РОБОТИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Запропоновано визначати якість роботи телекомунікаційних систем з урахуванням космічної погоди та космічного сміття, рознесеного на всіх робочих орбітах, де виконують свою місію космічні апарати різного призначення.

Ключові слова: космічна погода; геомагнітна та сонячна активність; електронна концентрація; телекомунікаційні системи; космічне сміття.

Вступ

Якість роботи телекомунікаційних систем стає дедалі важливішим показником при їх оцінюванні. Умови, в яких виконують свої функції телекомунікаційні системи, що перебувають на різних космічних орбітах, безперервно змінюються. Це відбувається з двох основних причин: по-перше, через вплив космічної погоди, не залежної від людського фактора (сонячна активність, геомагнітні зміни, галактичне випромінювання, метеоритні та астероїдні потоки), а по-друге, через вплив людини на стан навколоземного космічного простору. Ідеться про космічне сміття, утворене за понад 60 років космічної діяльності людства на всіх орбітах. Ураховуючи ці причини, маємо змогу здійснювати пуск ракет-носіїв із певним корисним навантаженням у конкретний рік, місяць та час, забезпечуючи надійність телекомунікаційних систем, високу якість та вірогідність їхніх сигналів.

Основна частина

Як відомо, кількісні значення похибок у технічно справній телекомунікаційній системі визначаються не тільки умовами поширення сигналу супутникової навігації (GPS, ГЛОНАСС, EUROSAT, COMPASS), а й станом космічної погоди та наявністю космічного сміття на робочих орбітах. Космічна погода, у свою чергу, визначається параметрами геомагнітної і сонячної активності, залежачи від сезону, часу доби, метеоумов. Так, щільність атмосфери при 11- та 22-річних циклах сонячної активності підвищується в багато (від 20 до 50) разів: улітку щільність атмосфери в 2-3 рази вища, ніж узимку. Це стосується й часу доби — удень щільність вища, ніж уночі. Вочевидь, усіх таких природних факторів впливу космічної погоди на якість телекомунікаційних систем уникнути неможливо. Проте якість навігаційних сигналів істотно залежить і від зміни електронної концентрації на шляху проходження сигналу: сонячні бурі, космічне та галактичне випромінювання.

Зрештою негативний вплив явищ космічної погоди на якість телекомунікаційних сигналів призводить до таких наслідків [1]:

- зростання кількості помилок позиціонування під дією іоносферних збурень на шляху поширення сигналу від передавача до приймача;
- втрати сигналу через мерехтіння, до якого призводять сильні сонячні бурі;
- виникнення в періоди сонячної активності радіосплесків на частотах, які збігаються з частотами, що їх використовує система супутникової навігації.

Що ж до помилок позиціонування супутникових систем, то їх залежно від джерел появи можна поділити на два типи:

1) помилки апаратної природи, що виникають у передавально-приймальних трактах і залежать від засобів та методів обробки сигналів;

2) помилки, зумовлені впливом на якість радіосигналів із боку космічного середовища, що призводить до змін швидкості поширення радіохвиль.

Найбільша кількість помилок другого типу спричинюється трансформаціями іоносфери та обробкою даних навігаційних сигналів за допомогою емпіричної моделі іоносфери Клобучара [1]. Відповідний алгоритм базується на сталості іоносферної затримки в нічні години і косинусному поданні (додатний півперіод) у денні години.

Оцінка зенітної іоносферної затримки в перерахунку на місцевий час t подається формулою

$$\frac{I_z}{C} = \left\{ A_1 + A_2 \cos \left(\frac{2\pi(t - A_3)}{A_4} \right) \right\}, \text{ якщо } |t - A_3| < A_4/4, \quad (1)$$

де A_1 — зенітна затримка в нічний час (зафіксоване значення становить 5 нс);

A_2 — амплітуда функції косинус у денний час;

A_3 — фаза, яка відповідає піку функції косинус, зафіксованому при $t = 50\,400$ с, що відповідає 14-й годині за місцевим часом;

A_4 — період функції косинус ($> 72\,000$ с).

Варто наголосити, що іоносферна похибка є головною причиною недостатньої точності супут-

никових навігаційних систем (СНС). Установлено пряму залежність між іоносферною похибкою СНС і повним електронним вмістом (ПЕВ), що визначається як кількість електронів у стовпі одиничного перерізу, котрий з'єднає навігаційний супутник і приймач.

За вимірними затримками з робочими частотами f_1 і f_2 можна визначити іоносферне запізнювання сигналів. Ураховуючи геометричний фактор, можна дістати формулу для визначення ПЕВ в іоносфері:

$$\text{ПЕВ} = \frac{f_1^2 \cdot f_2^2 (L_{\text{вим}_2} - L_{\text{вим}_1}) \left[1 - \left(\frac{R \cos \beta}{R + z_{\text{max}}} \right) \right]^{0,5}}{40A (f_2^2 - f_1^2)}. \quad (2)$$

Утім ця модель не враховує нерегулярних флуктуацій іоносферних параметрів під впливом космічної погоди, а через це знижується точність позиціонування та якість самих параметрів, що пройшли іоносферу.

У результаті потужних та середніх за інтенсивністю сонячних хромосферних спалахів спостерігаються такі явища:

- раптове припинення радіозв'язку на частотах 5...20 МГц (15...60 м) через денну половину земної кулі (ефект Мегеля – Деллінджера);
- повне припинення відбиття від іоносферних шарів та поглинання радіовипромінювання на хвилях 10...15 м;
- раптове посилення атмосферних завад або сигналів від дуже віддалених станцій на довгих (> 10 км) хвилях.

Після сонячних спалахів іоносфера, поглинаючи сонячне рентгенівське випромінювання, нагрівається та роздувається, що призводить до значного аеродинамічного гальмування супутників і пілотованих станцій. Суттєво порушується (або частково зникає) радіозв'язок, виходять із ладу системи керування станцією, спричинюючи катастрофи. Так, унаслідок надпотужних сонячних спалахів в 1972 році американська станція «Скайлеб» впала в океан. Японська рентгенівська обсерваторія ASCA, увійшовши 15.07.2000 року в розігріту атмосферу ($H_{\text{пер}} = 440$ км), втратила орієнтацію і перейшла у «сплячий» режим, з якого вивести її було неможливо. Частота аварій та катастроф у дні геомагнітних збурень та бур суттєво зростає. Під час сонячних спалахів та магнітних бур кількість заряджених частинок у іоносфері збільшується нерівномірно, через що утворюються плазмові кулі та згустки.

Не менш значним фактором впливу на якість роботи телекомунікаційних систем виступає космічне сміття [2], рознесене на всіх орбітах, де перебувають космічні апарати. Воно створює численні завади проходженню радіохвиль різного діапазону. Уже сьогодні загальна маса космічного сміття сягає майже 10 000 т [3]. Щорічно країни

— члени космічного клубу запускають у космос понад 100 ракет-носіїв. Станом на 1.05.2017 року кількість об'єктів, які спостерігаються засобами моніторингу космічного простору, сягає 17 900 одиниць. До складу об'єктів, за якими ведеться спостереження, входять 4 280 космічних апаратів (ті, що функціонують, а також «мертві»), 13 650 ступенів ракет-носіїв, паливних баків, інших уламків космічного сміття, утвореного внаслідок вибухів супутників або через їх зіткнення з великими уламками. Як було повідомлено в доповіді NASA Orbital Debris Program Office, за 2016 рік було зафіксовано кілька випадків дефрагментації супутників, а саме: 18 липня розпався американський супутник ДЗЗ World View-2; 27 липня — блок ДМ-2; 8 вересня — японський астрономічний супутник Hitomi; 30 вересня зруйнувався індійський супутник ДЗЗ RISAT, але фрагментів його руйнування на орбіті не знайдено.

Щорічно маса космічного сміття збільшується на 150–200 т, а його щільність (згідно з ефектом Кесслера) підвищується на 4% [4]. Таким чином, навколоземний космічний простір не тільки створює небезпеку для виконання космічних місій, (що призводить до аварійних і катастрофічних зіткнень), а й являє собою джерело завад для проходження сигналів із космічних апаратів, а також призводить до поширення помилок при позиціонуванні космічних апаратів.

Зауважимо, що точні математичні моделі, які описують процеси в сонячно-земній фізиці, відсутні. У цій сфері використовують феноменологічні математичні моделі, тобто такі, що описують послідовність фізичних явищ, кожний крок яких виконується з імовірністю менш як 100%. При цьому ймовірність реалізації повного ланцюжка може бути нижча за той рівень, коли її можна враховувати на практиці. Ідеться про прогноз на 27-45 та 7 діб; 2 доби та 1 годину.

Найбільш цікавим є 1-годинний прогноз, який спирається на прямі вимірювання параметрів плазми та магнітного поля на космічному апараті, розташованому в передній лібраційній точці L1 на відстані 1,5 млн км від Землі поблизу напрямку Сонце–Земля.

При цьому надійність 1-годинного прогнозу не менша за 95%.

Таким чином, фактори космічної погоди, а також наявність космічного сміття на різних орбітах впливають і на якість телекомунікаційних радіосигналів, а це, у свою чергу, знижує точність управління та позиціонування космічних апаратів на орбітах. Із космічною погодою боротися неможливо, і цей фактор доводиться лише враховувати при виведенні космічних апаратів у космічний простір. Ураховуючи 11- та 22-річні цикли сонячної активності, необхідно так планувати космічні

місії та їх перебування на робочих орбітах, щоб уникнути впливу різних видів космічної погоди, а також скупчення космічного сміття на конкретних робочих орбітах, на роботу телекомунікаційних систем [2]. Дані про такі скупчення реєструються в каталогах з космічного сміття (NASA, ЄКА, Україна), де визначаються їхні балістичні характеристики: висота апогею та перигею, нахил орбіт, маса, балістичний коефіцієнт, швидкість [4]. Ці дані дають змогу визначати безпечні зони роботи телекомунікаційних систем на орбітах та забезпечувати стабільне поширення сигналу супутникових навігаційних систем.

Висновки

Проведений аналіз впливу космічної погоди та космічного сміття на якість роботи телекомунікаційних систем підтверджує необхідність враховувати ці фактори при визначенні похибок у техніч-

но справній телекомунікаційній системі та умов поширення сигналу супутникової навігації.

Список використаної літератури

1. **Калашник, Г. А.** Забезпечення стійкого функціонування засобів навігації літальних апаратів під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів / Г. А. Калашник, Д. М. Обідін, М. А. Калашник // Системи обробки інформації.— 2016.— Вип. 3 (140).— С. 52–56.
2. **Фролов, В. Ф.** Екологічна безпека біосфери Землі і Космосу: монографія / В. Ф. Фролов.— ТОВ «НВП Інтерсервіс», 2015.— 220 с.
3. **Власов, М. Н.** Экологическая опасность космической деятельности / М. Н. Власов, С. В. Кричевский.— М.: Наука, 1999.— 238 с.
4. **Техногенное засорение околоземного космического пространства** / [А. П. Алпатов, В. П. Басс, С. А. Баулин и др.].— Днепропетровск, 2012.— 378 с.

Рецензент: доктор техн. наук, професор **К. С. Козелкова**, Державний університет телекомунікацій, Київ.

С. В. Козелков, В. Ф. Фролов, Л. А. Кирпач

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ И КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА НА КАЧЕСТВО РАБОТЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Проведенный анализ воздействия космической погоды и факторов космического мусора на качество работы телекоммуникационных систем подтверждает гипотезу, что оба фактора необходимо учитывать при обеспечении надежности и достоверности работы этих систем.

Ключевые слова: космическая погода; геомагнитная и солнечная активность; электронная концентрация; телекоммуникационные системы; космический мусор.

S. V. Kozelkov, V. F. Frolov, L. A. Kirpach

ANALYSIS OF SPACE WEATHER IMPACT AND THE SPACE DEBRIS ON QUALITY OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS OPERATION

Performed analysis of the impact of space weather and factors of space debris on the quality of telecommunication systems operation proves the hypothesis that both factors should be considered in providing reliability and authenticity of these systems' operation.

Keywords: space weather; geomagnetic and solar activity; electronic concentration; telecommunication systems; space debris. ✓

УДК 621.396

С. В. КОЗЕЛКОВ, доктор техн. наук, професор,
Державний університет телекомунікацій, Київ;

О. В. ШЕФЕР, канд. техн. наук, доцент;

О. В. ШУЛЬГА, доктор техн. наук, доцент,

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Удосконалення показників якості бортових радіолокаційних систем у реальних умовах їх застосування

Досліджено вплив нелінійності амплітудних характеристик радіоприймальних пристроїв (РПП) на якість функціонування бортових радіолокаційних систем (БРЛС). Визначено реальні причини зниження дальності дії БРЛС за наявності нелінійних шумів і завад. Установлено, що розширення динамічного діапазону РПП дозволяє забезпечити необхідні значення показників якості БРЛС. Розроблено теоретичне підґрунтя для вдосконалення сучасних та розроблення нових ефективних схемних способів розширення динамічного діапазону РПП, які можуть бути практично реалізовані на основі існуючої радіоелементної бази.

Ключові слова: бортова радіолокаційна система; радіоприймальний пристрій; показники якості; нелінійні процеси; динамічний діапазон; амплітудні характеристики.

Вступ

Аналіз питань побудови перспективних систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та шляхи вдосконалення їх характеристик свідчить, що одним із найбільш ефективних напрямків є підвищення завадостійкості [1]. Аналітичний огляд вимог, що висувуються до систем ДЗЗ показав, що на даний час

© С. В. Козелков, О. В. Шефер, О. В. Шмельга, 2017