

УДК 621.391.82

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

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

## Інтегральний спосіб підвищення завадостійкості передавання інформації в системі організації зв'язку з космічним апаратом

**Запропоновано інтегральний спосіб підвищення завадостійкості в радіомережі, що забезпечує передавання інформації в системі організації зв'язку з космічним апаратом (КА). Виграш досягається завдяки поєднанню переваг завадостійкого кодування та застосування штучно створеної плазми від'ємного випромінювання. Проаналізовано вплив частотно-селективних завмирань на зміни радіосигналу з КА. Описано алгоритм побудови завадостійких кодів, які дозволяють найбільш ефективно використовувати властивості когерентного приймання радіосигналів. Вибір варіанта обробки каскадного коду має здійснюватись тільки в поєднанні з визначенням протоколу підтвердження і зворотного зв'язку. Найбільш вдалим щодо якості забезпечення завадостійкості є інтегральний спосіб створення телеметричного зв'язку.**

**Ключові слова:** завадостійке кодування; каскадний код; відбиття радіохвилі; низькотемпературна плазма; від'ємне випромінювання.

### Вступ

Головним чинником телеметрії з КА виступає вплив іоносферних ефектів на енергетику радіосигналу [1]. Лишаються актуальними теоретичні та прикладні дослідження радіодіапазонів [2–4]. Провідні космічні держави світу не припиняють досліджень щодо впливу іоносферного шару на якість інформації, передаваної по каналах зв'язку. Існує ціла низка програм, згідно з якими проведено експерименти, пов'язані з дослідженнями щодо поширення радіохвиль [4; 5]. Результати цих досліджень становлять особливий інтерес для конструювання радіосистем передавання інформації, що працюють на частотах понад 10 ГГц.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз доступних джерел [4; 5] показує, що в сучасних радіосистемах передавання інформації, які працюють у короткохвильовому частотному діапазоні, необхідно враховувати вплив іоносферних ефектів і якомога ефективніше знижувати його з метою підвищення якості прийманого сигналу. Найбільш актуальні сучасні дослідження зазначеної проблеми стосуються впливу частотно-селективних завмирань на зміни фази радіосигналу, що пройшов іоносферну ділянку під час запуску або спуску КА [4]. Маючи на меті підвищення завадостійкості радіонавігаційних систем, доцільно застосовувати алгоритм адаптації під час приймання та оброблення сигналу, який пройшов іоносферний шар Землі з частотно-селективними завмираннями [5]. Один із методів урахування частотно-селективних завмирань полягає в розробці алгоритмів завадостійкого кодування, що дозволяють найбільш ефективно використовувати властивості когерентного приймання.

Утім варто враховувати, що під час руху КА в щільних шарах атмосфери перед ним утворюється ударна хвиля, високотемпературна плазма якої знижує якість зв'язку з КА. Щоб компенсувати радіонеpronикний бар'єр високотемпературної плазми, застосовують, наприклад, термозахищені зовнішні антени або зовнішні конструкції [5; 6]. Недоліком таких пристроїв є їх невисока надійність і великі енерговитрати. Вони до того ж погіршують аеродинамічні властивості КА.

Існує альтернативний підхід, позбавлений зазначених недоліків і пов'язаний із впливом на зовнішню оболонку іонізованого

газу, утворювану під час руху КА на гіпершвидкості (швидкості понад 5 М).

**Мета статті** — розроблення способу завадостійкого кодування в радіоканалах мережі КА із забезпеченням одночасного впливу на зовнішню плазмову радіонеpronикну оболонку.

### Основна частина

Сьогодні найширшого застосування набувають фазоманіпульовані шумоподібні сигнали (ФМ ШПС) [5]. Проте радіоканали із ФМ ШПС, що зазнають впливу структурних завад, повинні мати велике (до кількох десятків тисяч) значення бази сигналу, наслідком чого стає низька швидкодія телекомунікаційних систем [4]. Підвищення їх ефективності досягається використанням завадостійкого кодування за рахунок зменшення бази сигналу без утрат завадостійкості [3; 8]. Зрештою досягається швидкість передавання інформації, еквівалентна енергетичному внеску від кодування [4], що для каналів із нормальним розподілом шуму становить 5...10 дБ, а для каналів зі структурною завадою відповідні значення ще більші.

Аналізуючи сучасний стан завадостійкого кодування, доходимо висновку, що для каналів передавання інформації з КА зі складними сигналами найбільш доцільно використовувати каскадні схеми кодування першого порядку [9]. **Каскадне кодування** — один із ефективних інструментів спрощення реалізації завадостійких кодів, що мають велику довжину кодового слова. При цьому застосовується кілька рівнів завадостійкого кодування. Перший код — зовнішній, а всі наступні коди — внутрішні, підпорядковані зовнішньому. Кількістю внутрішніх кодів визначається порядок каскадного коду.

Особливість каскадного кодування полягає в необхідності узгодження всіх кодів між собою стосовно вибору їхніх параметрів, з урахуванням сусідніх кодів. Помилки, що виникають у процесі кодування внутрішніх кодів, поступово нагромаджуються, охоплюючи зрештою все кодове слово. Таким чином, на виході внутрішнього декодера виникає пакет.

Зауважимо, що висока ефективність найпоширеніших кодів Ріда — Соломона [1] пояснюється їхньою здатністю виявляти та виправляти пакети помилок у двійковому каналі, а також максимально можливою кодовою відстанню та високою швидкістю.

© О. В. Шефер, 2017

До недоліків завадостійкого кодування слід віднести ускладнену апаратну реалізацію і, що найголовніше, неможливість скорочення часу обробки інформації, який для каскадного коду не може бути менший, ніж тривалість одного кодового слова.

Застосування каскадного коду в радіосистемах передавання інформації з КА має низку особливостей, зумовлених розмірами варіантів побудови такого коду.

Спосіб обробки у вузлах залежить від того, часткове чи повне кодування/декодування інформації здійснює абонент — джерело інформації чи абонент — її споживач.

Обробка каскадного коду в декодері залежить від способу виправлення помилок внутрішнім чи зовнішнім кодом або їх комбінацією. Остаточний вибір варіанта обробки каскадного коду можливий тоді, коли визначено протокол підтвердження та зворотного зв'язку.

Що ж до плазми, утворюваної навколо рухомого КА в щільних шарах атмосфери, то вона або повністю поглинає радіолокаційне опромінювання, або спотворює його. Цей процес триває протягом кількох хвилин і залежить від багатьох чинників, зокрема від швидкості руху КА, яка, у свою чергу, залежить від щільності шарів атмосфери на різних висотах, а також від кута приймання — передавання радіосигналів (рис. 1).

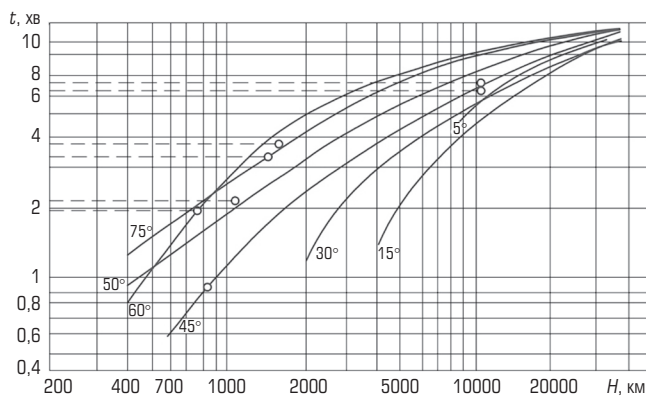


Рис. 1. Загальний час  $t$  втрати радіозв'язку з КА залежно від висоти  $H$  входу КА в атмосферу та кута приймання — передавання радіосигналів

У результаті утворюється частотно-селективне середовище завмирання, непроникне для сигналів, що надходять від систем супутникового телекомунікаційного зв'язку, і переваги завадостійкого кодування зводяться до мінімуму. Феномен переривання сеансу зв'язку в період входу КА в атмосферу було відкрито під час реалізації проекту «Меркурій» і виконання програм США «Gemini» та «Apollo».

Варто наголосити, що густина плазми під час руху КА постійно змінюється, а діелектрична проникність іонізованого газу менша від одиниці і залежна від частоти коливань. Чим більший кут падіння хвилі на плазму, тим більша електронна густина потрібна для відбиття і тим більша товщина шару, на якому відбувається відбиття радіохвилі (рис. 2).

Істотний вплив на якість зв'язку мають фазові та групові швидкості поширення радіохвиль. У разі наближення робочої частоти  $\omega$  до власної частоти  $\omega_0$  іонізованого газу ( $\omega \rightarrow \omega_0$ ) групова швидкість зменшується до нуля, а фазова швидкість різко зростає до нескінченності. Втрати енергії хвилі залежать від повної швидкості руху електрона, яка складається зі швидкості теплового руху  $V_m$  та швидкості  $V_E$ , набутої під дією

електричного поля на радіохвилі, причому зазвичай  $V_m > V_E$ . Існує реальна можливість зменшити втрати енергії хвилі, зокрема такої складової, як  $V_E$ .

Проведені дослідження показали, що створення в околі щільної антени КА штучного плазмового середовища надійно компенсує вплив зовнішнього іонізованого газу на радіохвилі передавання інформації.

Це середовище, створене всередині КА, не поглинає і не спотворює радіосигналу, забезпечуючи його проходження за рахунок взаємодії на електронно-іонному рівні із зовнішньою плазмою.

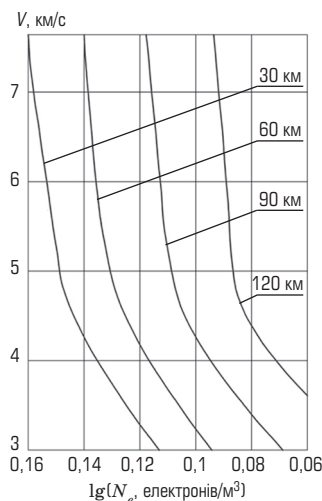


Рис. 2. Рівноважна концентрація електронів залежно від швидкості входу КА в атмосферу

Дослідження низькотемпературного випромінювання [9; 10] засвідчують, що основним місцем утворення позитивних іонів, які надходять на катод, є квазінейтральна плазма від'ємного випромінювання розряду, що жевріє. Подальші дослідження цього явища дали змогу [11] ввести для його характеристики коефіцієнт  $\delta$  — коефіцієнт корисної дії плазми від'ємного випромінювання. Цей коефіцієнт показує, скільки позитивних іонів надходить за одиницю часу через одиничну площинку, перпендикулярну до межі від'ємного випромінювання з темним круковим простором, із розрахунку на один швидкий електрон, який перетинає цю межу з боку катода. Кількісне значення коефіцієнта  $\delta$  визначається так: 
$$\delta = \frac{n}{n_{e.k}}$$

де  $n$  — густина іонів у зоні від'ємного випромінювання;  $n_{e.k}$  — густина швидких електронів, які перетинають межу від'ємного випромінювання з темним круковим простором у протилежних напрямках.

Використовуючи перепад тиску газу в катодній області розряду, що жевріє [10; 12], визначаємо місце виникнення основної частини позитивних іонів, які надходять на катод. Таке місце — зона від'ємного випромінювання. Потік позитивних іонів, що надходить із зони від'ємного випромінювання, виявився достатньо суттєвим [13]. Наприклад, у дослідженнях [11] у нормальному розряді, що жевріє, з алюмінієвим катодом (при 150 Па) значення коефіцієнта  $\delta$  коливається від 0,798 до 0,87.

Саме низькотемпературна прикатодна плазма взаємодіє з іонізованим потоком плазми (іони та електрони), відштовхуючи зовнішній плазмовий потік. У результаті відкривається «вікно» в плазмовій оболонці для телеметрії. Генерування штучної плазми

відбувається порівняно просто щодо апаратної реалізації та досить енергоефективно, причому без втручання в зовнішню конструкцію КА. Але цей підхід має недолік. Річ у тім, що плазмова високотемпературна плівка нестационарна відносно КА, а тому через мінливу густину середовища, термогазодинамічні процеси та високу швидкість руху КА телеметричне «вікно» буде також нестабільне. За рахунок взаємодії позитивних іонів та електронів зі штучною плазмою сигнали телеметрії будуть спотворюватись.

Для створення завадостійкого середовища пропонується генерувати штучну плазму імпульсно. Цього достатньо для проходження радіосигналу, але недостатньо для поглинання внутрішньої плазми зовнішньою. Плазмовий низькотемпературний випромінювач, розташований у середині КА, не погіршує аеродинамічних властивостей, має невеликі габаритні розміри та ощадливе енергоспоживання.

### Висновок

Поєднанням переваг застосування завадостійкого кодування та штучно створеної плазми від'ємного випромінювання винайдено інтегральний спосіб підвищення завадостійкості передавання інформації в системі організації зв'язку з КА.

### Список використаної літератури

1. **Козелков, С. В.** Шляхи підвищення завадостійкості в радіомережі передачі інформації / С. В. Козелков, Д. П. Пашков, М. В. Коробчинський // Системи озброєння і військова техніка.— 2005.— № 2 (2).— С. 32–35.
2. **Макаренко, С. И.** Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты: монография / С. И. Макаренко, М. С. Иванов, С. А. Попов.— СПб.: Свое изд-во, 2013.— 166 с.

3. **Чердынцев, В. А.** Радиотехнические системы / В. А. Чердынцев.— Минск.: Вышэйш. шк., 1988.— 369 с.

4. **Гуткин, Л. С.** Проектирование радиосистем и радиоустройств / Л. С. Гуткин.— М.: Радио и связь, 1986.— 288 с.

5. **Варакин, Л. Е.** Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е. Варакин.— М.: Радио и связь, 1985.— 364 с.

6. **Тейлор, М.** Радиосвязь через плазму при входе ракеты в атмосферу / М. Тейлор // Зарубежная радиоэлектроника.— 1968.— № 2.— С. 76–89.

7. **Коняхин, Г. Ф.** Устройство для передачи информации со спускаемого летательного аппарата / Г. Ф. Коняхин, А. Ю. Мелашенко, З. Ю. Литвина // Системи обробки інформації.— 2001.— № 5 (15).— С. 201–204.

8. **Бертсекас, Д.** Сети передачи данных / Д. Бертсекас, Р. Галлагер.— М.: Мир, 1989.— 544 с.

9. **Бондарев, В. Н.** Цифровая обработка сигналов: методы и средства / В. Н. Бондарев, Г. Трестер, В. С. Чернега.— Харьков: Конус, 2001.— 398 с.

10. **Коржавый, А. П.** О распределении потенциала в катодном слое тлеющего разряда / А. П. Коржавый, В. И. Кристья // Журн. техн. физики.— 1993.— Вып. 2.— С. 200.

11. **Von Engel, A.** Electric plasmas: their nature and uses / A. Von Engel.— London, Taylor and Francis, Ltd., 1983.— 254 p.

12. **Hantzsche, E.** Theory of the cathode case / E. Hantzsche, L. Wiczorek // Contributions from Plasmaphysics.— 1965.— Vol. 5, No 4.— P. 255–258.

13. **Smirnov, B. M.** Theory of Gas Discharge / B. M. Smirnov // Plasma Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics, Switzerland.— 2015.— P. 423.

**Рецензент:** доктор техн. наук, профессор **С. В. Козелков**, Державний університет телекомунікацій, Київ.

A. V. Shefer

### ИНТЕГРАЛЬНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ С КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ

Предложен интегральный способ повышения помехоустойчивости в радиосети, обеспечивающей передачу информации в системе организации связи с космическим аппаратом (КА). Выигрыш достигается сочетанием преимуществ помехоустойчивого кодирования и применения искусственно созданной плазмы отрицательного излучения. Проанализировано влияние частотно-селективных замираний на изменения радиосигнала с КА. Описан алгоритм построения помехоустойчивых кодов, позволяющий наиболее эффективно использовать свойства когерентного приема радиосигналов. Выбор варианта обработки каскадного кода следует осуществлять только в сочетании с определением протокола подтверждения и обратной связи. Лучшим — в плане обеспечения помехоустойчивости является интегральный способ создания телеметрической связи.

**Ключевые слова:** помехоустойчивое кодирование; каскадный код; отражение радиоволны; низкотемпературная плазма; отрицательное излучение.

O. V. Shefer

### AN INTEGRAL METHOD OF IMPROVING THE NOISE IMMUNITY OF INFORMATION TRANSMISSION IN THE SYSTEM OF COMMUNICATIONS WITH THE SPACECRAFT

An integral method of noise immunity increase in radio network transmitting in the system of communications with the spacecraft is proposed, based on the combination of the advantages of using error-correcting coding and artificially created plasma with negative radiation. The analysis of frequency selective fading influence on changes of a radio signal with SC is carried out. The algorithm of noise-proof codes which allow using properties of coherent acceptance of radio signals more effectively is described. The choice of handling the option of a cascade code can be performed only together with determination of the protocol's confirmation and feedback. The best, from quality's of providing a noise stability point of view, is the integrated method of creation telemetric communications.

**Keywords:** noiseproof codes; cascade code; reflection of radio waves; low-temperature plasma; negative radiation.