

УДК 621.371:523.164

І. В. МОРОЗ, здобувач;

В. Ф. ЗАЙКА, канд. військ. наук, доцент, завідувач кафедри телекомунікаційних систем;

С. В. КОЗЕЛКОВ, доктор техн. наук, професор, директор Навчально-наукового інституту телекомунікації та інформатизації,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## СПОСІБ АДАПТИВНОГО ПРИЙОМУ ВКРАЙВИСОКОЧАСТОТНИХ РАДІОСИГНАЛІВ

**Досліджено можливість адаптивного прийому вкрайвисокочастотних радіосигналів у каналах із частотно-селективними завмираннями, що дозволяє підвищити завадостійкість радіотехнічних пристроїв.**

**Ключові слова:** автокореляційний прийом; завадостійкість; когерентний прийом; частотно-селективні завмирання.

### Вступ

Поширення на практиці використання супутникових каналів радіозв'язку надвисокочастотного (НВЧ) та вкрайвисокочастотного (КВЧ) діапазонів спонукає до поглиблених досліджень питань завадостійкості відповідних радіотехнічних пристроїв.

Як відомо, у діапазонах сантиметрових і міліметрових радіохвиль основними факторами, що впливають на завадостійкість радіосистем, слід вважати тропосферні та іоносферні спотворення радіосигналу, зумовлені поляризаційними змінами та частотно-селективними завмираннями (ЧСЗ) [1–5].

Особливої актуальності набувають фундаментальні і прикладні дослідження ділянки КВЧ діапазону з частотами понад 10 ГГц [1].

### Основна частина

Тривалий час у ряді країн ведуться дослідження впливу тропосферного шару атмосфери на якість інформації, що передається супутниковими каналами зв'язку. Саме такі завдання було покладено на космічну програму «Італсат» (Італія), яка мала на меті вивчити передусім особливості радіохвиль КВЧ діапазону при їх трансатмосферному поширенні [6]. Результати відповідних досліджень становлять великий інтерес, коли йдеться про конструювання радіотехнічних засобів (РТЗ), які працюють у КВЧ діапазоні.

Дослідження, здійснені за зазначеною програмою, стосувалися частот 20, 40 і 50 ГГц і передбачали, зокрема, визначення параметрів фазових спотворень КВЧ радіосигналу в каналі супутникового зв'язку. Результати вимірювання, які було отримано супутником «Сіріо», засвідчили наявність фазових спотворень від 50 до 10° у смузі частот 500 МГц [6], що суттєво перевищує значення, передбачені класичною теорією Ван-де-Халсті [1–3].

При цьому, навіть якщо значення фазових спотворень самі по собі були не настільки суттєвими, щоб вплинути на завадостійкість функціонування РТЗ, досить важливим виявилось те, що при-

чини їх фізичного виникнення все ще невідомі. Тому подальші вимірювання фазових спотворень проводились супутником «Італсат» на частоті 40 ГГц за допомогою модуляції носійної синусоїдним сигналом частоти 505 МГц [6]. Інформація про спотворення фази сигналу, отримана того часу, виявилася фундаментальною для визначення граничних характеристик майбутніх систем зв'язку з високою пропускнуою здатністю.

Зрештою було визначено, що як для підвищення якості функціонування існуючих РТЗ, так і з метою синтезу новостворюваних РТЗ КВЧ діапазону необхідно враховувати вплив тропосферного шару атмосфери Землі на поширення радіосигналу, аби досягти максимальної компенсації впливу негативних чинників та підвищення якості прийому сигналу.

Найбільш важливим у цій справі виявляється дослідження впливу ЧСЗ на зміну фази супутникового радіосигналу при його трансатмосферному поширенні.

Як з'ясувалося, для підвищення завадостійкості РТЗ визнано доцільним застосовувати алгоритм адаптації при прийомі та обробці КВЧ сигналу, що долає тропосферний шар Землі з ЧСЗ завмираннями [7]. Цей алгоритм дозволяє ефективно використовувати позитивні властивості когерентного прийому за відсутності на трасі проходження сигналу ЧСЗ та здійснювати своєчасний перехід до автокореляційного методу прийому радіосигналу при виникненні ЧСЗ на трасі його поширення [8].

Алгоритм адаптивного прийому сигналів можна реалізувати у вигляді схеми, поданої на рисунку.

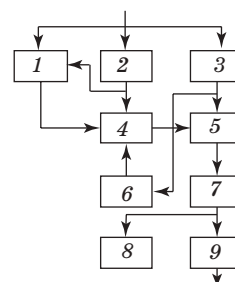


Схема реалізації алгоритму адаптивного прийому радіосигналів

На схемі позначено: 1 — аналізатор; 2 — блок відновлення носійної; 3 — смуговий фільтр; 4 — комутатор сигналів; 5 — перемножувач; 6 — блок лінії затримки; 7 — інтегратор; 8 — блок тактової синхронізації; 9 — вирішувачий блок.

Функціонування РТЗ за наведеною схемою здійснюється в такий спосіб.

На вхід РТЗ надходить адитивна суміш сигналу та білого шуму [1; 8]:

$$U(t) = A \cos[\omega_0 t + \varphi(t) + \varphi_0] + \xi(t), \quad (1)$$

де  $A$  — амплітуда сигналу;  $\omega_0$  — кругова частота сигналу;  $\varphi(t)$  — змінювана фаза;  $\varphi_0$  — миттєва початкова фаза;  $\xi$  — складова шуму.

Суміш  $U(t)$  одночасно надходить на сигнальний вхід аналізатора 1, на вхід блока відновлення носійної 2 і на вхід вхідного фільтра 3.

Сигнал  $U(t)$ , пройшовши вхідний смуговий фільтр 3 (смуга пропускання якого достатньо широка), надходить на сигнальний вхід перемножувача 5 та на вхід лінії затримки 6.

Після проходження лінії затримки 6, сигнал  $U(t)$ , затриманий на такт

$$U(t - T) = A \cos[\omega_0(t - T) + \varphi(t - T) + \varphi_0] + \xi(t - T), \quad (2)$$

надходить на перший вхід комутатора сигналів 4.

Одночасно зі входу демодулятора сигнал  $U(t)$  надходить до блока відновлення носійної 2, звідки відновлене опорне коливання

$$G(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (3)$$

надходить на другий вхід комутатора сигналів 4, а також впливає на опорний вхід аналізатора 1.

Із сигнального входу аналізатора 1 смуговий фільтр одного каналу виділяє нижню спектральну складову

$$U_H(t) = A \cos[\omega_0(t) + \varphi_H + \varphi_0] + \xi(t), \quad (4)$$

а смуговий фільтр іншого каналу — верхню спектральну складову сигналу

$$U_B(t) = A \cos[\omega_0(t) + \varphi_B + \varphi_0] + \xi(t). \quad (5)$$

Отже, в одному каналі сигнал  $U_H(t)$ , пройшовши обмежувач, надходить на перший вхід одного фазового детектора, а в іншому каналі, пройшовши обмежувач, сигнал  $U_B(t)$  надходить на перший вхід іншого фазового детектора.

На другі входи відповідних фазових детекторів надходить опорне коливання  $G(t)$ .

Фазові детектори виконано на основі інтегральних перемножувачів схем, тому на виході сполучених із ними відповідних інтеграторів формуються напруги, пропорційні до

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_1 &= \varphi - \varphi_H, \\ \Delta\varphi_2 &= \varphi_B - \varphi, \end{aligned}$$

на виході інтегратора відповідно першого і другого каналу.

У віднімачі аналізатора 1 значення відповідних напруг віднімаються, а результуюча напруга на виході віднімача

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2 = 2\varphi - \varphi_H - \varphi_B, \quad (6)$$

пропорційна до фазових спотворень радіосигналу, порівнюється з допустимим значенням у піковому детекторі аналізатора.

За наявності на трасі поширення радіохвиль частотно-селективних завмирань значення  $\Delta\varphi \neq 0$ .

Таким чином,

$$V\Delta\varphi \geq V\Delta\varphi_{\text{доп}},$$

що дозволяє сформуванню на виході пікового детектора аналізатора керуючий сигнал «I», який, надходячи на третій вхід комутатора 4, переводить його в автокореляційний режим роботи.

При цьому сигнал із першого входу комутатора сигналів  $U(t - T)$ , пройшовши комутатор сигналів 4, надходить на опорний вхід перемножувача 5.

Добуток сигналів  $U(t)$  і  $U(t - T)$  інтегрується в інтеграторі 7, на виході якого утворюється сигнал вигляду

$$\begin{aligned} I_1 &= \int_{(n-1)T}^{nT} \{A \cos[\omega_0 t + \varphi(t) + \varphi_0] + \xi(t)\} \times \\ &\times \{A \cos[\omega_0 t + \varphi(t - T) + \varphi_0] + \xi(t)\} dt = \\ &= 0,5A^2 T \cos[\varphi(t) - \varphi(t - T)] + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3. \end{aligned}$$

Надалі вирішувачий блок 9, що синхронізується блоком тактової синхронізації 8, ухвалює рішення щодо абсолютної величини і знака сигналу  $I_1$ .

За відсутності на трасі поширення радіохвиль КВЧ діапазону ЧСЗ значення  $\Delta\varphi \approx 0$ .

При  $V\Delta\varphi < V\Delta\varphi_{\text{доп}}$  на виході пікового детектора аналізатора 1 утворюється керуюча напруга, яка, надходячи на третій вхід комутатора сигналів 4, переводить його на когерентний режим роботи.

При цьому сигнал  $G(t)$  із другого входу комутатора сигналів 4, пройшовши його, надходить на опорний вхід перемножувача 5.

У такому разі зінтегрований в інтеграторі 7 добуток сигналів  $U(t)$  і  $G(t)$  набирає вигляду:

$$\begin{aligned} I_2 &= \int_{(n-1)T}^{nT} A [\cos(\omega_0 t + \varphi(t) + \varphi_0) + \xi(t)] A \cos(\omega_0 t + \varphi_0) dt = \\ &= 0,5A^2 T \cos\varphi + \theta. \end{aligned}$$

Сигнал  $I_2$  також подається до вирішувачого пристрою 8, синхронізованого з блоком тактової синхронізації 9. Вирішувачий пристрій 8 у цьому разі ухвалює рішення щодо абсолютної величини та знака сигналу  $I_2$ .

### Висновки

Запропонований алгоритм обробки радіосигналів із використанням функціональних рядів та механізму адаптивного прийому забезпечує суттєве підвищення завадостійкості РТЗ КВЧ діапазону, незважаючи на природу виникнення ЧСЗ.

Розроблений спосіб прийому радіосигналів вкрайвисокочастотного діапазону можна використовувати в супутникових каналах зв'язку. Він стане у пригоді при побудові приймачів систем

передавання інформації тропосферними радіоканалами.

### Література

1. **Тепляков, И. М.** Радиосистемы передачи информации / [И. М. Тепляков, Б. В. Роцин, А. И. Фомин, В. А. Вейцель].— М.: Радио и связь, 1982.— 264 с.

2. **Ипполито, Л. Дж.** Влияние условий атмосферного распространения радиоволн на космические системы / Л. Дж. Ипполито // ТИИЭР.— 1981.— Т. 69, № 6.— С. 29–58.

3. **Крейн, Р. К.** Прогноз влияния осадков на спутниковые системы связи / Р. К. Крейн // ТИИЭР.— 1977.— Т. 65, № 3.— С. 210–231.

4. **Тормозов, В. Т.** Обеспечение устойчивости космических информационных систем двойного назначения: дис. ... доктора техн. наук: 05.12.13 / Тормозов Виктор Тимофеевич.— М., 2000.— 330 с.

5. **Козелков, С. В.** Підвищення завадостійкості контрольної-коригувальних станцій супутникових радіонавігаційних систем з урахуванням

впливу дестабілізуючих факторів / [С. В. Козелков, Н. В. Коршун, В. Ф. Заїка, М. М. Степанов] // Зв'язок.— 2015.— № 3 (115).— С. 3–6.

6. **AIAA 11<sup>th</sup> Communication satellite systems — confere ns.**— San Diego, California, 1986.— P. 298–307.

7. **Окунев, Ю. Б.** Теория фазоразностной модуляции / Ю. Б. Окунев.— М.: Связь, 1979.— 240 с.

8. **Заїка, В. Ф.** Використання способу адаптивного прийому радіосигналів з урахуванням нелінійних процесів у наземному радіотехнічному комплексі для підвищення точності наведення антенних систем наземного радіотехнічного комплексу управління низькоорбітальним угрупованням космічних апаратів подвійного призначення / В. Ф. Заїка // ПНТУ. Системи управління, навігації та зв'язку.— 2015.— № 1 (34).— С. 32–36.

**Рецензент:** доктор техн. наук, ст. наук. співробітник **В. С. Наконечний**, Державний університет телекомунікацій, Київ.

*I. V. Moroz, V. F. Zaika, S. V. Kozelkov*

### СПОСОБ АДАПТИВНОГО ПРИЕМА КРАЙНЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ РАДИОСИГНАЛОВ

Исследована возможность адаптивного приема крайне высокочастотных радиосигналов в каналах с частотно-селективными замираниями, что позволяет повысить помехоустойчивость радиотехнических устройств.

**Ключевые слова:** автокорреляционный прием; помехоустойчивость; когерентный прием; частотно-селективные замирания.

*I. V. Moroz, V. F. Zaika, S. V. Kozelkov*

### THE EXTREME HIGH-FREQUENCY RADIOSIGNALS ADAPTIVE RECEPTION METHOD

The possibility of extreme high-frequency radiosignals adaptive reception in channels with frequency selection fading is researched, allowing increase noise immunity of technical devices.

**Keywords:** autocorrelated reception; noise immunity; coherent reception; frequency selection fading.

УДК 621.391

**В. В. ВИШНІВСЬКИЙ**, доктор техн. наук, професор;

**Г. І. ГАЙДУР**, канд. техн. наук, доцент;

**К. П. СТОРЧАК**, канд. техн. наук, доцент;

**Є. В. ПРИЛЕПОВ**, аспірант;

**В. В. ВАСИЛЕНКО**, асистент,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕЮ

**Розглянуто світові тенденції розвитку мережних технологій, а також проблеми, пов'язані зі стрімким зростанням трафіку та неоптимальним використанням мережних ресурсів. Здійснено аналіз існуючих мережних програмно-конфігурованих комутаторів. Визначено ключові переваги програмно-конфігурованих мереж (зокрема, на базі технології SDN) і з'ясовано їхній вплив на централізоване управління, розподіл ресурсів, політику безпеки, енергозбереження та реалізацію нових мережних функцій.**

**Ключові слова:** SDN; OpenFlow; QoS; API; програмно-конфігуровані мережі; енергозбереження; централізоване управління.

### Вступ

Для того щоб мережа на базі технології SDN здобула успіх, ставши надійною та стійкою промисловою мережею, необхідно розв'язати передусім дві проблеми. Перша проблема полягає в забезпеченні часу відмовостійкості на рівні про-

мислових стандартів, оскільки поточна реалізація SDN [2] не відповідає необхідним вимогам щодо надійності. Друга проблема, яку конче потрібно розв'язати, стосується вибору певних (кільцевих) топологій і протоколів маршрутизації. Адже SDN уможливорює оптимізацію потоків трафіку через