

## ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ТА СКРИТОСТІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ У СУЧАСНИХ СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ І ОХОРОНИ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ

У статті досліджено переваги використання широкосмугових сигналів у телекомунікаційних мережах систем дистанційного спостереження та охорони.

**Ключові слова:** широкосмуговий сигнал, імітостійкість, перешкодостійкість, скритність, вузькосмуговий сигнал, система дистанційного спостереження та охорони.

**Постановка проблеми.** При вирішенні завдань дистанційного спостереження, та охорони об'єктів є актуальним використання систем дистанційного спостереження і охорони (СДСО). Ефективність застосування таких систем підтверджена у ході війн та воєнних конфліктів останніх десятиріч. Збройні сили іноземних держав широко використовують взаємодоповнюючі системи розвідки і спостереження, серед котрих системи на основі просторово розподілених датчиків (сенсорів) займають важливе місце [1,2].

На сьогодні існує декілька типів таких систем, але всі вони побудовані за одною загальною схемою (рис.1).

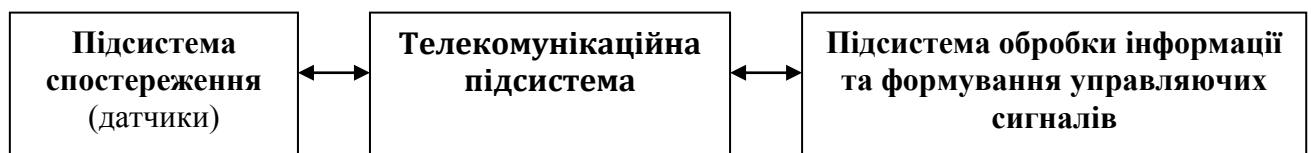


Рис.1. Склад системи дистанційного спостереження та охорони

Самою критичною ланкою СДСО, яка власно й визначає основні характеристики системи у цілому, є телекомунікаційна підсистема.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій за темою статті.** На сьогодні для побудови телекомунікаційних підсистем СДСО використовуються два підходи. Перший полягає у застосуванні дротового зв'язку, другий – базується на використанні радіозв'язку для передачі інформації між підсистемою спостереження та обробки інформації.

Природним є притаманність кожному з зазначених підходів як позитивних, так й негативних властивостей. Зокрема, застосування дротового зв'язку дозволяє досягнути досить високої скритності та завадозахищеності, але розгортання такої системи вимагає великих часових витрат, в залежності від розмірів об'єкта, характеру місцевості та ін. [3], тому застосування дротового зв'язку в телекомунікаційних мережах сучасних СДСО є досить обмеженим.

Застосування радіозв'язку для передачі інформації у СДСО дозволяє досягнути прийняттого часу розгортання/згорання системи. Але на сьогодні у телекомунікаційних підсистемах СДСО використовуються вузькосмугові сигнали (ВСС), а застосування ВСС демаскує систему, тим самим значно знижуючи її ефективність. Крім того такий зв'язок має низьку завадозахищеність та імітостійкість і тому не в повному обсязі задовольняє вимогам, що висуваються до сучасних телекомунікаційних підсистем СДСО.

Таким чином, аналіз існуючих підходів, що застосовуються для організації передачі інформації у телекомунікаційних підсистемах СДСО показав, що вони не дозволяють у повній мірі вирішити задачу обміну даними у системах дистанційного спостереження та охорони. Тому, завдання щодо удосконалення методів передачі інформації у сучасних СДСО є актуальним.

**Постановка завдання.** Метою даної статті є обґрунтування використання для передачі інформації у телекомунікаційній підсистемі СДСО широкосмугових сигналів (ШСС), як одного із можливих шляхів щодо розв'язування зазначених вище протиріч.

Для досягнення зазначеної мети необхідно зробити порівняльний аналіз використання ШСС та ВСС у телекомунікаційній мережі СДСО, визначимо переваги та оцінімо ступень відповідності телекомунікаційній системі СДСО з використанням ШСС сучасним вимогам.

**Основний матеріалу дослідження.** У [4] відмічається, що використання ШСС для передачі інформації забезпечує високу завадостійкість, енергетичну і параметричну скритність процесу передачі інформації, можливість одночасної передачі декількох повідомлень. Розглянемо ці переваги більш детально.

**Перше – більша енергетична скритність.** Енергетична скритність передачі ШСС полягає у зменшенні дальності його розвідки  $R_p$  технічними засобами спостереження противника. Відомо, що дальність розвідки пропорційна кореню квадратному з потужності  $P_c$  (енергії) сигналу, що випромінюється, іншими словами  $R \sim \sqrt{P_c}$ . Враховуючи, що ширококутовий сигнал можна представити як композицію  $n$  вузькосмугових, то при однакової енергії ШСС і ВСС, та за умовою що закон внутрішньоімпульсної модуляції (маніпуляції) ШСС є невідомим противнику, відношення дальності розвідки ВСС та ШСС визначається виразом [5]:

$$\frac{R_{шсс}}{R_{всс}} = \frac{\sqrt{\frac{P_c}{n}}}{\sqrt{P_c}} = \frac{1}{\sqrt{n}}.$$

Тобто, дальність розвідки ШСС є у  $\sqrt{n}$  разів меншою ніж ВСС. Крім того, при досить великому  $n$  можливо забезпечити передачу сигналу з питомою щільністю енергії меншою ніж питома щільність природних шумів. В цьому випадку розвідка сигналу взагалі можлива лише за умов знання його внутрішньої структури.

**Друге – параметрична скритність інформаційного обміну.** Параметрична скритність інформаційного обміну ШСС забезпечується достатньо складним кодуванням сигналу його елементарними складовими [4]. Навіть при фіксації факту передачі ШСС, для виділення з нього інформації необхідно знати параметри цього кодування. Це являється дуже складною задачею, якщо врахувати, що при достатньо великій базі сигналу кількість можливих значень сигналу  $k$  буде визначатися за відомим виразом розрахунку кількості можливих перестановок [5]:

$$k = n^m$$

де:

$n$  – кількість дискрет в ШСС;

$m$  – кількість значень, які може приймати сигнал в дискреті в залежності від .

**Третє – висока завадостійкість.** Завадостійкість, при використанні ШСС, обумовлюється, підсиленням в  $n$  разів ШСС на виході узгодженого приймача. У [4] наведена формула, яка пов'язує відношення сигнал/шум ( $q^2$ ) на виході приймача з відношенням сигнал/шум на вході  $\rho^2$  і базою сигналу  $B$ :

$$q^2 = 2B\rho^2,$$

де:

$\rho^2 = P_c/P_{ш}$  ( $P_c, P_{ш}$  – потужності ШСС та завади);

$q^2 = 2E/N_{ш}$   $E$  – енергія ШСС,  $N_{ш}$  – спектральна щільність шуму у смузі ШСС.

Відношення сигнал-шум на виході  $q^2$  визначає робочі характеристики прийому ШСС, а відношення  $\rho^2$  – енергетику сигналу та шуму. Необхідна величина  $q^2$  може бути отримана навіть якщо  $\rho^2 \ll 1$ . Для цього достатньо лише вибрати ШСС з досить великою базою.

Виграш по завадостійкості при використанні ШСС обумовлюється невідомим для противника законом розподілу енергії сигналу в частотній та часовій областях. Відношення  $\gamma$  сигнал/завада у цьому випадку буде мати вигляд:

$$\gamma = \frac{\int_{t_c} \int_{f_c} E_c(f, t) df dt}{\int_{t_c} \int_{f_c} E_n(f, t) df dt}, \quad (1),$$

де:

$E_c, E_n$  - енергія сигналу та енергія завади відповідно;

$t_c, f_c$  - часова та частотна області відповідно, в яких відбувається передача сигналу.

Враховуючи те, що для противника є невідомими області  $t_c$  та  $f_c$  відношення сигнал/завада за однакових умов для ШСС буде кращим ніж для ВСС.

**Четверте – висока пропускна здатність телекомунікаційної підсистеми.** Висока пропускна здатність телекомунікаційної підсистеми забезпечується можливістю одночасно передавати в наданій смузі частот декілька ШСС.

Порівняємо кількість повідомлень ( $M$ ), які може передати телекомунікаційна підсистема використовуючи ШСС або ВСС.

Загальна кількість повідомлень, що можуть передаватися за час  $T$  розраховується за формулою:

$$M = k (T/t_c) \quad (2),$$

де:

$k$  – кількість повідомлень, що можуть передаватися одночасно;

$t_c$  – тривалість повідомлення.

Для телекомунікаційної підсистеми, яка використовує ВСС, кількість сигналів, що можуть одночасно передаватися в смузі частот ( $\Delta F$ ) визначається кількістю частотних каналів та розраховується за формулою:

$$k = \Delta F / \Delta f \quad (3),$$

де:

$\Delta f$  – ширина спектру повідомлення.

При цьому мінімальна тривалість сигналу  $t_{cmin}$  в каналі однозначно пов'язана з його смугою співвідношенням [4]:

$$t_{cmin} = 1 / \Delta f \quad (4).$$

Для телекомунікаційної підсистеми, яка використовує модульовані ШСС  $k$  буде співпадати з кількістю можливих законів модуляції сигналу, а у випадку застосування маніпульованих ШСС, кількість сигналів, що можуть одночасно передаватися в смузі частот  $\Delta F$  визначається кількістю можливих кодових комбінацій для формування внутрішньої структури ШСС. Максимальна кількість кодових комбінацій визначається за формулою (1) розрахунку числа перестановок [5]:

Підставляючи (3) і (4) в (2) отримуємо, що кількість повідомлень яка може бути передана за допомогою ВСС буде прямо пропорційна смузі частот та тривалості часового інтервалу.

$$M = \Delta F T \quad (5).$$

Враховуючи, що для ШСС мінімальна тривалість сигналу визначається за допомогою виразу [4]:

$$t_{\min} = n / \Delta f_{\text{uicc min}} \quad (6),$$

де:

$\Delta f_{\text{uicc min}}$  – мінімальна ширина спектру однієї дискрети.

В свою чергу ширина спектру однієї дискрети пов'язана з шириною виділеної для передачі смуги частот наступним співвідношенням:

$$\Delta F = \sum_{i=1}^m (\Delta f_{\text{uicc}})_i \quad (7).$$

За виконанням умови рівності всіх  $\Delta f_i$  (що обумовлюється міркуваннями, щодо раціонального використанні виділеної смуги частот) вираз (7) прийме вид:

$$\Delta F = m \Delta f_i \quad (8).$$

Вираз (8) описує розподіл виділеної смуги частот для частотноманіпульованого ШСС. Для фазокодоманіпульованого ШСС (8) буде мати вигляд:

$$\Delta F = \Delta f. \quad (9)$$

Враховуючи (1, 4, 6 та 8) для частотноманіпульованих ШСС отримуємо:

$$N = n^{(\Delta F / \Delta f)} \left( \frac{T \Delta f}{n} \right) = n^{(\Delta F / \Delta f)} \left( \frac{T \Delta F}{mn} \right) \quad (10).$$

Враховуючи (1, 4, 6 та 9) для фазокодоманіпульованих ШСС отримуємо:

$$N = n^{(m)} \left( \frac{T \Delta f}{n} \right) = n^{(m-1)} (T \Delta F) \quad (11),$$

де:  $m$  – кількість початкових значень фази в дискреті.

Порівняємо (5) з одного боку і (10) та (11) з іншого. В результаті отримуємо наступні нерівності

$$n^{(\Delta F / \Delta f)} \left( \frac{T \Delta F}{mn} \right) > T \Delta F \quad \Rightarrow \quad n^{\left( \frac{\Delta F}{\Delta f} - 1 \right)} > m \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta F}{\Delta f} > 1 + \log_n m \quad (12)$$

$$n^{(m-1)} (T \Delta F) > T \Delta F \quad \Rightarrow \quad n^{(m-1)} > 1 \quad (13).$$

Враховуємо, що на практиці завжди виконується нерівність  $n > m$ , тому  $0 \leq \log_n m \leq 1$ . Тоді нерівність (12) буде істинною якщо  $\Delta F / \Delta f \geq 2$  (іншими словами, якщо для створення внутрішньої структури ШСС використовується дві і більш частот, а це є обов'язковою умовою створення ШСС), а нерівність (13) буде вірним якщо для синтезу ШСС використовується не менш двох фаз, що також є обов'язковою умовою створення ШСС.

**Висновки.** Підводячи підсумок проведеного дослідження, можна сказати, що існуючі телекомунікаційні підсистеми СДСО не в повному обсязі задовольняють сучасним вимогам. Розв'язати протиріччя між вимогами щодо забезпечення мінімального часу розгортання СДСО та високої скритності, завадозахищеності, імітостійкості дозволяє застосування у телекомунікаційній підсистемі ШСС. Таким чином застосування ШСС в телекомунікаційній підсистемі СДСО, дозволяє створити систему обміну даними яка задовольняє сучасним вимогам.

Приведені результати можуть бути використані при проектуванні та розробці телекомунікаційних підсистем СДСО з метою підвищення завадозахищеності функціонування автоматизованої системи управління СДСО.

### Список використаних джерел:

1. Визначення шляхів створення технологій дистанційного спостереження для Сухопутних військ Збройних Сил та інших військових формувань України на основі застосування розвідувально-сигналізаційних приладів. Звіт НДР "Територія - РСР". – ННДЦ ОТ і ВБ України, 2004. 80 с.
2. Information operations. Headquarters Department of the Army. Washington DC. August 1996. –148 p.
3. Фоменко П., О. Балагура А.С., Галушко С.О. Тактика дій підрозділів охорони при виконанні завдань щодо охорони та оборони пунктів управління. – К.: Генеральний штаб Збройних сил України, 2003.- 370 с.
4. Варакин Л. Е. Системы связи шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. - М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. - 564 с.

Надійшла: 19.06.2018

Рецензент: д.т.н. Вишнівський В.В.