

# **Тема 5**

## **Радіоелектронний захист ЗРЛ.**

**Заняття №1 Загальні відомості про радіоперешкоди. Огляд методів захисту.**

# **Питання заняття**

- 1. Види перешкод та їх класифікація.**
- 2. Перешкодозахищеність РЛС. Рівняння протирадіолокації.**
- 3. Огляд методів захисту від перешкод.**

# Види перешкод та їх класифікація

*Перешкодами в роботі РЛС можуть бути будь-які радіосигнали, що попадають на вхід приймального пристрою і заважають виділенню (виявленню) корисних сигналів.*

*Радіоелектронні перешкоди класифікують за наступними ознаками:*

## *1. За видом.*

- **активні** (що створюються енергією зовнішніх джерел перешкод).
- **пасивні** (що створюються в результаті розсіювання, відбивання енергії власних ЕМ хвиль від різноманітних об'єктів або середовищ).

## *2. За походженням.*

- **природні (що створюються природними джерелами, середовищами або об'єктами).**

*Природні активні перешкоди поділяють на:*

- **космічні випромінювання;**
- **атмосферні шуми;**
- **теплове випромінювання землі.**

- **штучні (що навмисно створюються противником або своїми РЕЗ).**

### *3. За інтенсивністю.*

- **слабкі (за рівнем менше корисних сигналів, вони викликають до 25% втрати РЛІ при виконанні бойової задачі).**
- **середні (за рівнем сумірні з сигналами РЛС і які викликають втрату 50% РЛІ, що передається при виконанні бойової задачі)**
- **сильні (що за рівнем перевищують корисні сигнали і викликають втрату більше 50÷75% РЛІ, що передається, і виключають виконання бойової задачі).**

#### *4. За характером впливу на РЕЗ.*

- **маскувальні** (такі, що ускладнюють виявлення, розпізнавання і визначення параметрів корисних сигналів в результаті зміни структури сигналу).
- **імітувальні** (утворюють хибну інформацію, хибні цілі в РЕЗ противника).
- **подавлювальні** (такі, що значно перевищують рівень корисного сигналу).

## *5. За співвідношенням спектру.*

- **прицільні (випромінюються на робочій частоті РЕЗ, що придушується з шириною спектра одного порядку з смугою пропускання ПрП).**
- **загороджувальні (з шириною спектра, що перевищує смугу спектра сигналу РЕЗ, для придушення декількох РЛС).**
- **прицільно-загороджувальні (сканувальні, ковзні по частоті в діапазоні роботи РЕЗ противника, смуга частот в 10-15 раз більше смуги сигналу).**
- **ковзні (смуга частот сумірна з частотним спектром сигналу, ковзні по частоті в діапазоні роботи РЕЗ противника).**

*Штучні активні перешкоди поділяють по структурі на:*

*неперервні:*

- модульовані шумом;
- АМ - амплітудно модульовані;
- АЧМ - амплітудно-частотно модульовані;
- ЧМ - частотно модульовані.

*імпульсні:*

- ІШВ - імпульсні перешкоди у відповідь (хибні відмітки);
- НІП - несинхронно-імпульсні перешкоди;
- НАП - нестаціонарні активні перешкоди (шумові сплески);
- синхронно-імпульсні перешкоди (хибні відмітки  $F_n \approx F_{n \text{ пер}}$ )





# Перешкодозахищеність РЛС. Рівняння протирадіолокації

Досконалість перешкоди полягає в тому, що вона має:

- рівномірний розподіл потужності в широкому діапазоні частот;
- еліптичну поляризацію;
- часову структуру типу внутрішнього шуму ПрП.

Відступ від будь-якої з цих умов є недосконалістю перешкоди, яку можна використовувати для захисту від неї.

Всі методи захисту в більшості випадків виявляються ефективними тільки при умові їх комплексного використання.

**Нехай активна перешкода створюється бортовими передавачами перешкод. Потужність відбитого сигналу на вході приймача без урахування згасання в атмосфері**

$$P_c = \frac{P_{\text{випр}} G^2 \sigma_{\text{ц}} \lambda^2}{(4\pi)^3 D^4};$$

**Тоді потужність перешкоди на вході приймача:**

$$P_n = \frac{P_{nn} G_{nn} G \lambda^2}{(4\pi D)^2};$$

**де  $P_{\text{випр}}$  - потужність передавача РЛС;**

**$G$  - коефіцієнт підсилення антени РЛС ;**

**$\sigma_{\text{ц}}$  - ефективна площа розсіяння цілі;**

**$\lambda$  - довжина хвилі випромінюваного сигналу;**

**$D$  - відстань до цілі;**

**$P_{nn}$  - потужність передавача перешкод;**

**$G_{nn}$  - коефіцієнт підсилення антени ПАП .**

**Перешкода буде ефективною за умови:**

$$P_{nn} \geq K_n P_c \text{ (називається умовою протирадіолокації)}$$

де  $K_n$  - коефіцієнт подавлення.

$$\frac{P_{nn} G_{nn} G \lambda^2}{(4\pi D)^2} \geq \frac{P_{випр} G^2 \sigma_{ц} \lambda^2}{(4\pi)^3 D^4} K_n$$

**Тоді отримуємо умову протирадіолокації**

$$P_{nn} G_{nn} \geq K_n \left( \frac{P_{випр} G \sigma_{ц}}{4\pi D^2} \right)$$

**Цей добуток  $P_{nn} G_{nn}$  називається еквівалентною потужністю передавача перешкод.**

**Аналіз проведених співвідношень показує, що при наближенні цілі (ПАП) потужність сигналу на вході приймача зростає значно швидше (на  $1/D^2$ ), ніж потужність перешкоди, тому при деякій дальності  $D_{цmin}$  (ПАП) умова протирадіолокації перестає виконуватися і ціль починає проглядати на фоні перешкод.**

# Огляд методів захисту від перешкод

*Радіоелектронний захист* - передбачає комплекс заходів по забезпеченню ефективного та стійкого функціонування РЛС за умови впливу на них засобів РЕП противника.

Підвищення перешкодозахищеності РЛС і угруповання РТВ досягається:

- організаційно-тактичними заходами;
- технічними методами захисту РЛС.

*До організаційно-тактичних заходів відносяться:*

- Першочергове знищення ПАП, що призведе до збільшення мінімальної дальності впливу перешкод.
- Створення багатодіапазонної ("см", "дм", "м") з великим рознесенням частот РЛ системи, що призведе до зменшення  $P_i$ , збільшенню  $\Delta f_i$ .
- Підвищення густини групування РТВ, що обмежує можливості противника по створенню прицільно направлених перешкод (зменшення  $G_i, F_i(\beta_a, \varepsilon_a)$ ).
- Визначення поточних координат ПАП, тріангуляційним методом за допомогою декількох РЛС (одного діапазону сусідніх підрозділів) для знищення ПАП.

- Створення системи сумісної обробки РЛІ від РЛС різних видів.
- Тренуванням розрахунків РЛС в умовах застосування реальних і імітованих перешкод.
- Підготовка апаратури (максимальне використання потенційних можливостей РЛС).
- Застосування багатопозиційних (рознесених) РСЛ.

*До технічних методів захисту відносяться:*

*Метод силової боротьби.*

Забезпечує підвищення відношення  $P_c/P_n$  на виході ПрП, а, відповідно, і збільшення дальності виявлення цілі в шумових перешкодах, за рахунок збільшення енергії зондувального сигналу (ЗС).

$$E_i = P_i \tau_i M_i G,$$

де  $M_i$  - кількість імпульсів в пачці.

Енергія сигналу збільшується за рахунок збільшення  $P_i, M_i, G$ .



## *Методи розширення динамічного діапазону приймальних пристроїв.*

Обмеженість  $D_{pr}$  приймального тракту призводить до можливості обмеження сигналів і як наслідок до виникнення втрат  $L_{обм}$ . Втрати в відношенні  $P_c/P_n$  стають особливо великими при виявленні вузькосмугових сигналів.

Для виключення і зниження втрат  $L_{обм}$  необхідно забезпечити високий  $D_{pr}$  і узгодження динамічних діапазонів функціональних елементів тракту прийому. Причому  $D_{кп}$  (кінцевих пристроїв) повинен бути  $D_{вх} \geq D_{пн}$ , а  $D_{пн} \geq D_{вих}$ , тобто забезпечить стиснення діапазону вимірювання сигналів в процесі їх обробки в елементах приймального тракту. Отже малий  $D_{pr}$  робить практично даремним ведення "силової боротьби", тобто якщо в вихідних елементах приймального тракту відбудеться обмеження на рівні перешкоди, тоді сигнал виявлено не буде, якою б не була великою його енергія у порівнянні зі спектральною густиною перешкод.

## *Метод просторової селекції.*

**Цей метод має декілька різновидів і використовується при захисті від перешкод любого виду. При впливі АП по боковим пелюсткам ДН антени селекція полягає в зменшенні відносного рівня прийому по боковим пелюсткам і підвищенні просторового вибору антени. Великі можливості в розв'язанні цієї задачі мають адаптивні ФАР, що дозволяють формувати провали в ЗВ на ПАП.**

**Просторова селекція також досягається звуженням головного променя і підвищенням просторового вибору антенної системи (за рахунок збільшення ефективної площини і коефіцієнта підсилення  $G$  антени), тобто зменшуючи сектор, в якому виявляються цілі, забезпечується послаблення прийому перешкод.**

### *Метод поляризаційної селекції.*

Дозволяє також забезпечити захист РЛС від перешкод будь-якого виду в результаті відмінності поляризації корисного сигналу і перешкоди. Поляризація може бути вертикальною, горизонтальною і круговою. Тобто якщо поляризація приймальної антени співпадає з поляризацією перешкоди, то вона проходить на вхід приймача, якщо ні, то значно ослаблюється, чим і забезпечується захист від перешкод.

*Методи основані на амплітудній, часовій, частотній селекції.*

*Амплітудна селекція* застосовується при захисті від імпульсних або короткочасно діючих перешкод. Амплітудна селекція можлива при боротьбі з імпульсними перешкодами, що мають більшу амплітуду в порівнянні з корисним сигналом, часто амплітудною селекцією називають “силову” боротьбу з перешкодами, основу на більш високій швидкості наростання амплітуди перешкоди в порівнянні з корисним сигналом.

*Часова селекція* основана на різниці в періодичності “регулярності приходу” перешкод, наприклад НІП, або навпаки синхронності - СІП, але в цьому випадку перешкоду від сигналу відрізняють по тривалості імпульсу.

***Частотна селекція*** основана на використанні вибіркості (підсилювача проміжної частоти) ППЧ і різного роду фільтрів, в простішому випадку селекція здійснюється перестроюванням робочої частоти РЛС, отже цим забезпечується прийом корисних сигналів в смузі частот, вільної від АП. В інших випадках застосування фільтрів забезпечує придушення складових спектру перешкоди, котрі не співпадають зі складовими спектра, корисного сигналу, або застосуванням в РЛС декількох каналів, рознесених за частотою.

### *Звуження спектра флуктуацій ПП досягається:*

- підвищенням роздільної здатності РЛС по координатах;
- зменшенням швидкості обертання антен (збільшення  $M_i$ );
- збільшення частоти повторення імпульсів, зменшення часу між сусідніми зондуваннями, а отже менша зміна фази відбитого сигналу, крім того - збільшення відстані між верхівками по осі частот (ПП), тобто збільшуються ділянки де можуть бути виділені корисні сигнали;
- компенсацією швидкості вітру (внесення в опорний сигнал для ФД частоти, що відповідає доплерівській частоті перешкоди, яка переміщується з швидкістю вітру).

## *Методи захисту від пасивних перешкод*

Найбільш універсальною системою захисту від ПП є СЦР, що здійснює селекцію сигналів по частоті Допплера. Режим роботи РЛС з ввімкнутою СЦР прийнято називати *когерентним*, а з вимкненою СЦР - *амплітудним*.

*Когерентний режим роботи має ряд особливостей, які необхідно врахувати при оцінці РЛС:*

- значення коефіцієнту передачі корисного сигналу (по потужності)  $K_{cp}$  в когерентному режимі залежить від радіальної швидкості  $K_{cp} = f(V_r)$ , що визначає додаткові втрати  $L_{c\ дод}$  корисного сигналу при проходженні СЦР;
- при переході в когерентний режим змінюється рівень шумів, перерахований на вихід приймального тракту:
  - а) в амплітудному режимі –  $(LN_{\theta})$  при  $(K_{пер} = 1)$
  - б) в когерентному -  $L_{сцр} L_{с доп} N_0$

□ виявлення сигналів від цілі здійснюється не тільки на фоні власних шумів, але на фоні не скомпенсованих залишків ПП, еквівалентна спектральна густина яких:

$$N_{npe} = P_{nпвix} / P_0 = P_{nпвx} / K_{nn} P_0 = P_{nпвx} \tau_n / K_{nn} K_{cp} = E_{nпвx} / K_y,$$

де  $P_{nпвx}$  - потужність сигналу, відбитого від ПП, який знаходиться в тому ж імпульсному об'ємі що і ціль, на вході приймального тракту;

$P_{nпвix}$  - потужність не скомпенсованих залишків ПП на виході приймального тракту (на вході СЦР);

$P_0 = K_{cp} / \tau_n$  - шумова (еквівалентна) ширина спектра не скомпенсованих ПП;

$K_{nn}$  - коефіцієнт придушення ПП системи СЦР.

$K_y = K_{nn} K_{cp}$  - коефіцієнт покращення співвідношення сигнал-перешкода системою СЦР:

$E_{nпвx}$  - енергія ПП на вході ПрП.



- змінюється потрібне співвідношення сигнал - шум на виході приймального тракту так як в умовах ПП змінюється статистика суміші сигналу і шуму на виході приймального тракту.

*В ТТД сучасних РЛС часто приводиться:*

- коефіцієнт стиснення зони виявлення  $K_{ct} = R_{nn} / R$   
де  $R_{nn}$  - дальність дії РЛС в умовах ПП;  
 $R$  - дальність дії РЛС.
- коефіцієнт підперешкодової видимості  $K_{nv} = P_{nnex} / P_{svx} = \sigma_{nn} / \sigma_{ц}$

Тобто  $K_{nv}$  можна трактувати як відношення середнього значення ЕПР джерел ПП в імпульсному об'ємі РЛС до середнього значення ЕПР цілі, при якому ціль виявляється з заданою якістю, тоді  $K_y \approx \gamma_{1nn} K_{nv}$

де  $\gamma_{1nn} = P_c / P_0$  - відношення сигнал-шум при включеній СЦР і наявності ПП

## *Основні методи підвищення перешкодозахищеності РЛС в умовах ПП:*

- **зменшення середнього значення сумарної ЕПР джерел ПП в імпульсному об'ємі РЛС -  $\sigma_{nn}$ ;**
- **кутова селекція цілей і джерел ПП;**
- **придушення сигналів ПП в системах обробки;**
- **підвищення якості виявлення цілей в просвітах ПП;**
- **зниження втрат, зумовлених включенням системи СЦР.**

**Зменшення  $\sigma_{nn}$  можна забезпечити наступними способами:**

- за рахунок скорочення імпульсного об'єму РЛС (навіть до розмірів цілі), цей спосіб універсальний;**
- за рахунок вибору поляризації передаючої і приймальної антени, при яких забезпечується  $\sigma_{nnmin}$  при допустимому зниженні середнього значення ЕПР цілі  $\sigma_{ц}$ , причому цей спосіб може застосовуватися в тих випадках, коли параметри поляризаційних еліпсів для корисних сигналів і сигналів перешкод суттєво відрізняються (якщо ПП - гідрометеоутворення, водяна поверхня).**

*Кутова селекція цілей і джерел ПП.* Можлива лише при різних кутових положеннях цілей і джерел ПП, така ситуація виникає в тому випадку, коли джерелом ПП є підстелююча поверхня (МП). При одноантенному варіанті РЛС і різних значеннях коефіцієнту підсилення антени  $G(\varepsilon_{\text{ц}})$  - в напрямку на ціль  $G(\varepsilon_{\text{мп}})$  - в напрямку на МП.

Відношення  $P_c/P_{\text{мп}}$  збільшується в  $G^2(\varepsilon_{\text{ц}})/G^2(\varepsilon_{\text{мп}})$  раз!

*Відношення  $G^2(\varepsilon_{\text{ц}})/G^2(\varepsilon_{\text{мп}})$  можна збільшити за рахунок:*

- формування провалів в ДН приймальної антени під кутом місця  $\varepsilon_{\text{мп}}$ ;
- відриву ДНА від підстелюючої поверхні (при виявленні цілей на середніх і великих висотах)
- застосування антени з різким спадом  $G$  на нульових кутах  $\varepsilon$  і, частково, гостро направлених антен.

*Придушення сигналів ПП в системі обробки.* Це найбільш поширений метод захисту РЛС від ПП. Для придушення ПП в приймальний тракт, після ФД включається система СЦР, що здійснює селекцію сигналів по частоті Допплера  $F_d$ .

Але застосування СЦР в свою чергу призводить до необхідності підвищення стабільності роботи елементів РЛС (ПерП, ПрП і т. д.)

*Підвищення якості виявлення цілей в просвітах ПП.* Для забезпечення цього, а також зниження втрат, зумовлених втомлюваністю оператора можна використовувати *зональну систему СЦР*, в якій проводиться режекція ПП, які переміщуються від огляду до огляду. Режекція проводиться шляхом через оглядового віднімання. Сигнали на період огляду запам'ятовується за допомогою ЕПТ або цифрових ЗП.

*Зниження втрат зумовлених системою СЦР* досягається за

**рахунок:**

- раціонального вибору структури СЦР;**
- елементної бази;**
- зменшення рівня внутрішньосистемних перешкод.**