

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;

λ - 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 Δf_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 $L_{c\ doo}$ корисного сигналу при проходженні СЦР;
- при переході в когерентний режим змінюється рівень шумів, перерахований на вихід приймального тракту:
 - а) в амплітудному режимі – (LN_{θ}) при $(K_{nep} = 1)$
 - б) в когерентному - $L_{cnp} L_{c\ don} N_0$

□ 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 $K_{ст} = R_{nn} / R$
де R_{nn} - дальність дії РЛС в умовах ПП;
 R - дальність дії РЛС.
- коефіцієнт підперешкодової видимості $K_{пв} = P_{пвх} / P_{свх} = \sigma_{пн} / \sigma_{ц}$

Тобто $K_{пв}$ 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 $K_y \approx \gamma_{1пн} K_{пв}$

де $\gamma_{1пн} = P_c / P_0$ - 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 - σ_{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 σ_{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 σ_{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 $G(\varepsilon_{ц})$ - в напрямку на ціль $G(\varepsilon_{мп})$ - в напрямку на МП.

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

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

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