

Тема 1

Загальні відомості про радіолокаційну станцію (РЛС).

Заняття №1 Загальні відомості про РЛС. Основні характеристики РЛС і вимоги до них.

Питання заняття

1. Місце РЛС в радіотехнічній системі.
2. Узагальнена структурна схема РЛС.
3. Основні характеристики РЛС і вимоги до них.

Місце РЛС в радіотехнічній системі

***РЛ система** – це сукупність радіотехнічних засобів, певним чином розташованих на території і функціонально зв'язаних між собою для розв'язання задач збору, обробки і видачі РЛ інформації.*

У відповідності з визначенням до складу РЛ систем входять:

- засоби радіолокації (ЗРЛ);**
- комплекси засобів автоматизації (КЗА);**
- спеціальні засоби.**

До ЗРЛ відносяться:

- засоби активної локації (активні РЛС з пасивною відповіддю);
- активні РЛС з активною відповіддю, що призначені для роботи із своїми повітряними об'єктами;
- засоби пасивної локації (пасивні РЛС).

РЛ системи дозволяють розв'язувати широке коло задач, котрі визначаються споживачами – системами більш високого порядку, до яких вони входять.

Наприклад, *РЛ система ППО здійснює :*

- РЛ розвідку повітряного простору;**
- розпізнавання повітряних цілей;**
- контроль за польотом своїх літаків;**
- спостереження і видачу даних про метеоумови і т.п.**

РЛ інформація, що видається системою, використовується також для оцінки повітряної обстановки і вирішення задач:

- цілерозподілення;**
- визначення необхідного наряду сил і засобів ППО;**
- цілевказівку ЗРК;**
- наведення винищувальної авіації ППО на повітряні цілі.**

Класифікація ЗРЛ (РЛС)

Тактичні ознаки			Технічні ознаки			
Цільове призначення	Кількість вимір. координат	Мобільність	Діапазон хвиль	Метод РЛ	Метод дальнометрії	Кількість РЛ каналів
Попередження	3-коорд.	Стационарні	(м)	Актив. з пасив. відповід.	Імпульс. Неперервний	Одноканальні
Виявлення і наведення	2-коорд.	Перевізні	(дм)	Актив. з актив. відповід.		Багатоканальні
Цілевказівки ЗРК		Рухомі	(см)	Пасивні		
Виявлення МВЦ						
Спеціальні						

ЗРЛ або РЛС виявлення, наведення і цілевказівки є основними джерелами інформації сучасних РЛ систем ППО.

Узагальнена структурна схема РЛС

Незважаючи на різницю ТТХ, варіантів технічних рішень окремих систем і їх елементних баз, РЛС мають багато спільного. Це відноситься в першу чергу до їх функціональної структури.

У відповідності з принципом роботи активні РЛС:

- формують зондувальні сигнали заданої структури і випромінюють електромагнітну енергію в заданому напрямку;
- приймають і обробляють відбиті від цілей сигнали;
- забезпечують прийняття рішень про наявність цілі, вимірювання її координат і параметрів руху.

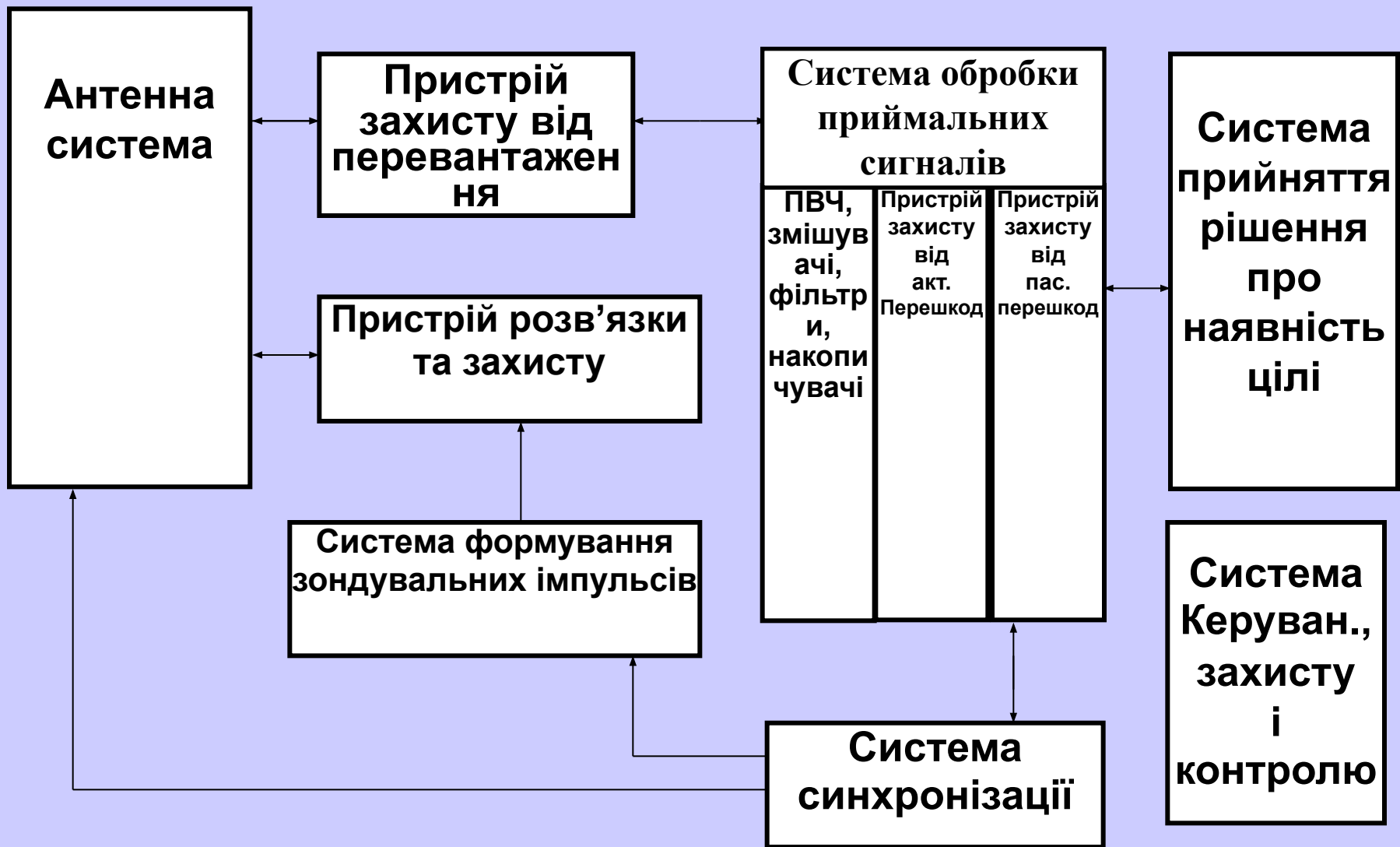


Рис. 1. Узагальнена структурна схема РЛС

Для виконання цих задач до складу РЛС входять:

- система формування зондувального сигналу;
- антенна система, що забезпечує спрямоване випромінювання зондувальних і прийом відбитих сигналів. Для створення необхідної форми зони огляду і забезпечення можливості визначення кутових координат виявлених об'єктів здійснюється сканування (механічним або електричним способом) антенного променя у відповідних площинах;
- система обробки сигналів, що приймаються антеною, забезпечує максимізацію якості виявлення цілей при наявності різного роду перешкод. Являє собою сукупність пристроїв підсилення сигналів, узгодженої фільтрації і захисту від активних і пасивних завад;
- система прийняття рішень про наявність цілі, вимірювання її координат і параметрів руху, являє собою систему *індикатор РЛС – оператор* в РЛС з візуальним виявленням і зняттям координат;

- система синхронізації забезпечує синхронну роботу всіх трактів і систем РЛС;
- система керування режимами роботи РЛС дозволяє обирати оптимальний режим в конкретній повітряно – перешкодовій ситуації;
- система електроживлення;
- ряд додаткових систем і пристроїв, котрі забезпечують нормальне функціонування її основних трактів і систем (система вентиляції та охолодження, система контролю, пристрої захисту від перевантажень і т. п.).

Основні характеристики РЛС і вимоги до них

РЛС, що стоять на озброєнні, характеризуються ТТД, котрі являють собою кількісні значення основних характеристик конкретного зразка РЛС для середніх умов його бойового використання і експлуатації. Вони визначаються в результаті ретельної експериментальної перевірки зразків даного типу РЛС.

ТТД визначають бойові можливості РЛС і заносяться в її формуляр. Систему показників, що використовуються для оцінки бойових можливостей РЛС та проведення тактичних розрахунків, називають тактичними характеристиками РЛС.

До тактичних характеристик РЛС відносяться:

- склад інформації, що видається;**
- зона огляду;**
- точність інформації, що видається;**
- роздільні здатності по вимірювальним координатам;**
- інформаційна здатність;**
- перешкодозахищеність;**
- надійність;**
- електромагнітна сумісність;**
- маневрені характеристики.**

Зона огляду:

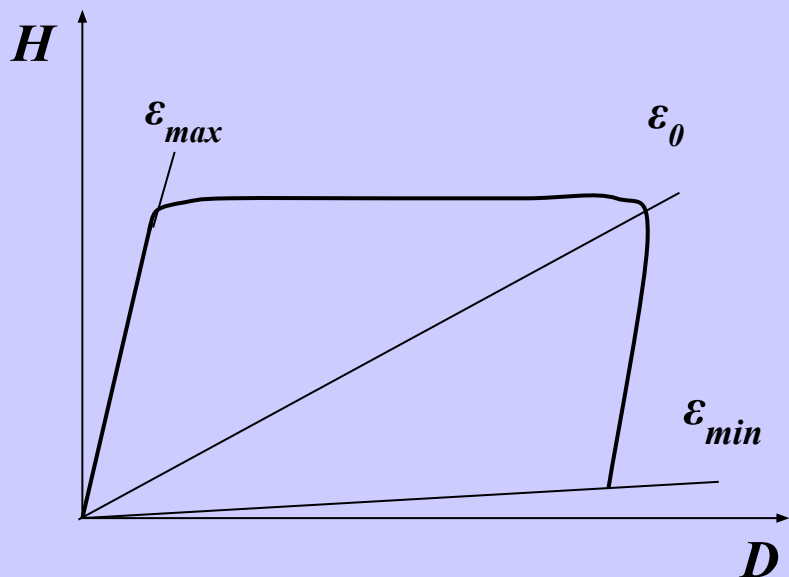
це частина простору, у межах якої РЛС забезпечує отримання інформації про ціль із загальним середнім значенням ефективної поверхні з якістю не нижче потрібної.

Під якістю РЛІ розуміють сукупність наступних показників:

- ймовірність правильного виявлення і хибної тривоги (якість виявлення);**
- точність інформації і дискретність її видачі.**

Форму ЗО РЛС прийнято характеризувати графіком або таблицею залежності $D=f(H)$ (де D – дальність до межі ЗО; H – висота польоту цілі над поверхнею землі), а також розмірами зони в азимутальній площині.

Форму ЗО в площині кутів місця для РЛС виявлення і наведення звичайно обирають такою, що для кутів місця $\varepsilon_{min} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_0$ забезпечувалась максимально можлива дальність дії (ізодальнісна ділянка зони), а для кутів місця, що перевищують ε_0 – максимальна висота виявлення (ізовисотна ділянка зони).



Параметрами зони огляду ϵ :

- розміри зони в азимутальній площині;
- ϵ_{min} і ϵ_{max} ;
- H_{max} ;
- максимально похила дальність дії D .

Параметри ЗО вибираються з урахуванням тактичних вимог і технічних можливостей їх реалізації.

Для РЛС сантиметрового діапазону $\epsilon_{min} \approx 0,4-0,5^\circ$
метрового діапазону $\epsilon_{min} \approx 7,2\lambda/h_a$.

Максимальний кут місця ϵ_{max} для виключення “мертвої вирви” бажано вибрати 90° . Але це призвело б до значного ускладнення конструкції антенної системи. Доцільним вважається вибір значення ϵ_{max}

□ в см діапазоні хвиль – $35-45^\circ$

□ в м діапазоні хвиль – $20-30^\circ$

$$R_{mv} = H_u \cdot ctg \epsilon_{max} \begin{cases} (1 \div 1,5) H_u, \text{ см} \\ (1,73 \div 2,7) H_u, \text{ м} \end{cases}$$

H_{max} не повинна бути менша, аніж максимальна можлива висота польоту сучасних і перспективних літаків

$$H_{max} \geq (20 \div 40) \text{ км.}$$

Максимальна дальність виявлення цілі $D_{ц}$, що летять на висоті H_{max} бажано мати не менш як r_{np}

$$r_{np[\text{км}]} = 4.12 \left(\sqrt{h_{a[\text{м}]}} + \sqrt{H_{\text{max}[\text{м}]}} \right) \approx 600 \dots 800 \text{ км}$$

Однак це пов'язано із значним підвищенням потужності передавального пристрою (збільшення вартості та об'єму апаратури РЛС).

Тому зараз забезпечують дальність виявлення близьку до дальності прямої видимості тільки для МВЦ і цілей з великою ефективною поверхнею σ (стратегічні бомбардувальники).

По цілях з $\sigma = 1 \text{ м}^2$ в РЛС виявлення і наведення $D=300-400 \text{ км.}$

Точність вимірювання координат:

характеризується помилкою вимірювання, яка є різницею між істинним і виміряним значенням координат.

Як характеристики точності найчастіше використовують:

- математичне очікування m ;**
- середньоквадратичне значення помилки вимірювань $\sigma_{\Delta x}$;**
- середина (імовірна) помилка $\Delta_{сер}$;**
- максимальна помилка Δ_{max} .**

Довідка:
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

де $x_i = a_i - X$ - випадкова помилка i -го вимірювання;

a_i - результат i -того виміру;

X - істинне значення вимірюваної координати;

n - число вимірювань.

Загальна помилка складається з окремих складових, що зумовлені різними дестабілізуючими факторами. Так, наприклад, середньоквадратична помилка вимірювання незалежної координати (D, β, ε) визначається співвідношенням

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{пот}}^2 + \sigma_{\text{ppx}}^2 + \sigma_{\text{інстр}}^2 + \sigma_{\text{дин}}^2}$$

де $\sigma_{\text{пот}}$ - потенціальна помилка вимірювання координати;

σ_{ppx} - помилка, зумовлена особливостями розповсюдження радіохвиль в атмосфері;

$\sigma_{\text{інстр}}$ - інструментальна помилка, зумовлена неідеальністю роботи елементів і вузлів РЛС;

$\sigma_{\text{дин}}$ - динамічна помилка, зумовлена зміною місцезнаходження цілі за час вимірювання.

Точність вимірювання дальності

Потенційна помилка вимірювання дальності

Ця помилка характеризує граничну досяжну точність і визначається відношенням сигнал – шум і шириною спектра зондувального сигналу

$$\sigma_{R_{\text{пот}}} = \frac{c}{2q \cdot \Pi_e} = \frac{c}{2\sqrt{2(P_c/P_{ш})_{\text{вх.вимір}}} \Pi_e}, \quad (P_c/P_{ш})_{\text{вх.вимір}} = \gamma_1 (R/r)^4$$

де Π_e – ефективна ширина спектра зондувального сигналу ($\Pi_e = k\Pi_{zc}$, $k=1, 2, \dots, 3$);

γ_1 – відношення с/ш на вході пристрою зрівняння з порогом при якому забезпечується задана якість виявлення;

$(P_c/P_{ш})_{\text{вх.вимір}}$ – відношення с/ш на вході вимірювального приладу.

Залежність $\sigma_{R_{\text{ном}}}$ від параметрів РЛС

$$\sigma_{R_{\text{ном}}} = (0,1-0,2)c(r/R)^2/\Pi_{zc} V \gamma_1$$

Для зменшення цієї помилки треба підвищувати Π_{zc} та R .

Потенційна помилка вимірювання дальності в РЛС виявлення навіть при використанні порівняно вузькосмугових сигналів звичайно не перевищує значень $\sigma_{Rnom} = 50...150m$ і складає незначну частину (10...15%) від загальної (сумарної) помилки вимірювання дальності при візуальному зніманні інформації. При автозніманні вона може вносити суттєвий внесок в загальну помилку вимірювання.

Помилка вимірювання дальності за рахунок особливостей розповсюдження радіохвиль.

Атмосфера є неоднорідним середовищем, в якому спостерігається зміна швидкості і порушення прямолінійності розповсюдження радіохвиль. Все це призводить до виникнення помилки вимірювання дальності. В РЛС виявлення $\sigma_{Rppx} = 10...15\text{м}$ і її можна не враховувати, тому що вона суттєво менш потенційної.

Інструментальна помилка вимірювання дальності.

Її складовими $\sigma_{R_{інстр}}$ є:

- ❑ помилка за рахунок зміни часу запізнення сигналу $t_{зан}$ при проходженні через приймальний тракт $t_{зан} = (0,3...3)\tau_i$
 $\sigma_{t_{зан}} = 0,1-0,2 \text{ мкс}$;
- ❑ помилка знімання координат.

Помилка, що виникає при зніманні координат, залежить від виду знімання.

При візуальному зніманні вона обумовлена:

- ❑ неточністю формування масштабних міток дальності;
- ❑ неточністю визначення центра відмітки;
- ❑ інтерполяцією положення центра відмітки відносно ММД.

$$\sigma_{Rc} = \sqrt{\sigma^2_{R_{мд}} + \sigma^2_{R_{цв}} + \sigma^2_{R_{ін}}}$$

При автоматичному зніманні дальність вимірюється по номеру каналу дальності N , в якому знаходиться сигнал цілі $r^* = N\Delta r$,

де Δr – діапазон дальностей, котрий перекривається одним каналом дальності.

Причиною виникнення помилки знімання дальності в цьому випадку являється дискретизація по дальності і нестабільність частоти повторення імпульсів дискретизації.

При напівавтоматичному зніманні помилка вимірювання дальності обумовлена:

- неточністю визначення центра відмітки;***
- неточністю суміщення маркера із центром відмітки;***
- дискретністю представлення дальності.***

Динамічна помилка.

Динамічна помилка обумовлена зміною дальності до цілі за час знімання, що визначається як інтервал часу від початку опромінювання цілі до моменту вводу в канал зв'язку інформації про її дальність.

$$\sigma_{Rдин} = V_{ц} t_{зн} \cos q,$$

де $t_{зн}$ – середній час знімання (візуальне - 5с, напівавт - 2-3с, авт - 0с);

q – ракурс цілі (кут між напрямком на ціль і напрямком її руху);

$V_{ц}$ – шляхова швидкість цілі.

Для зниження $\sigma_{Rдин}$ треба використовувати автоматичне або напівавтоматичне знімання інформації.

Точність вимірювання азимуту.

Потенційна помилка вимірювання кутових координат визначається формою та шириною діаграми направленості антени у відповідній площині, відношенням сигнал/перешкода на вході вимірювача і способом вимірювання координат.

В загальному випадку:

Систематичні помилки при вимірюванні азимуту виникають при неточному орієнтуванні антенної системи РЛС, а також внаслідок невідповідності між істинним положенням антени і електричною масштабною шкалою азимуту.

Випадкові помилки вимірювання азимуту β_{α} обумовлюються нестабільністю роботи системи обертання антени, схеми формування масштабних відміток азимуту, а також помилками знімання (при візуальному зніманні).

$$\sigma_{\beta} = \frac{\sqrt{3}}{\pi} \cdot \frac{Q_{0.5\rho}}{\sqrt{2\gamma_1}} \gamma_{\beta}$$

де γ_{β} – коефіцієнт погіршення точності визначення азимуту реальної РЛС.

$$\gamma_{\beta} = \sqrt{1 + \frac{\sigma_{\text{інд}}^2}{\sigma_{\text{пот}}^2}}$$

$$\sigma_{\text{пот}} = \frac{k \cdot Q_{0.5\rho} \left(\frac{r}{R}\right)^2}{\sqrt{\gamma_1}}$$

Точність вимірювання висоти.

Помилка вимірювання висоти складається з помилки вимірювання дальності і помилки вимірювання кута місця. Визначається виразом:

$$\sigma_H = \sqrt{(r \cos \varepsilon)^2 \cdot \sigma_\varepsilon^2 + \left(\sin \varepsilon + r / R_{з_екв}\right)^2 \cdot \sigma_R^2}$$

При $\sigma_R=0$, або при малих кутах місця: $\sigma_H = r \cos \varepsilon \sigma_\varepsilon \rightarrow \sigma_H = r \sigma_\varepsilon$.

Якщо $r=300\text{км}$ $\sigma_\varepsilon=5'$, то $\sigma_H=450\text{м}$. Це свідчить про значний вплив σ_ε на σ_H . При $\sigma_\varepsilon=0 \rightarrow \sigma_H = (\sin \varepsilon + r/R_{з_екв}) \sigma_R \approx \sigma_R \sin \varepsilon$

Якщо $\varepsilon=30^\circ$ $\sigma_R=500\text{м}$, то $\sigma_H=250\text{м}$, тобто вплив помилок вимірювання дальності також дуже суттєвий.

Для зниження σ_H в трикоординатних РЛС знімання координат r і ε та їх ввід в ЕОМ повинно проводитись автоматично, або, по крайній мірі напівавтоматично.

Роздільна здатність по координатам:

розуміють таку мінімальну різницю в даній координаті у двох цілей при співпаданні у них інших координат, за якою цілі спостерігаються роздільно.

Тактичні вимоги до роздільної здатності визначаються, в першу чергу, щільністю бойових порядків ЗПН, котра залежить від льотно-технічних даних літаків, їхнього навігаційного обладнання, а також бойових можливостей вогневих засобів ППО.

При виборі бойових порядків противник намагається:

- уникнути поразки однією ракетою двох сусідніх літаків;**
- забезпечити навігаційну безпеку польоту;**
- забезпечити вигідні умови захисту від винищувачів ППО.**

Для роздільного спостереження цілей треба щоб роздільна здатність по площинним координатам $\delta_{x,y}$ була не гірша за значення безпечних інтервалів і дистанцій.

Зв'язок між РЗ по площинним координатам $\delta_{x,y}$ і РЗ по дальності δ_R і азимуту δ_β визначається співвідношенням:

$$\delta_{x,y} = \sqrt{\delta_R^2 + r_c^2 \cdot \delta_\beta}$$

Вплив РЗ на перешкодозахищеність РЛС від пасивних завад пояснюється тим, що вона визначає імпульсний об'єм. Чим нижча РЗ, тим більший імпульсний об'єм РЛС і тим більша кількість заважаючих відбивачів попадає до нього, створюючи більш потужний відбитий перешкодовий сигнал. Для виділення корисного сигналу, в цьому випадку, потрібне більше значення коефіцієнта придушення пасивної перешкоди, котре не завжди можна забезпечити внаслідок збільшення градієнта швидкості вітру в імпульсному об'ємі.

Перешкодозахищеність:

це властивість РЛС виконувати свої задачі з допустимим зниженням якості за умовами перешкод.

Вплив активних і пасивних перешкод на РЛС проявляється різним чином, що ускладнює введення єдиного критерію оцінки перешкодозахищеності.

В якості критерію оцінки перешкодозахищеності РЛС за умов АШП використовують максимальну дальність виявлення цілей з заданою ЕПР за умов АП R_{nan} або коефіцієнт стискання зони огляду. $K_{стиск} = R_{nan} / R$ при заданих якості виявлення, способу постановки перешкод, дальності до ПАП та спектральної щільності перешкод, що випромінюються ПАП у напрямку на РЛС.

Шляхи підвищення перешкодозахищеності РЛС за умов АШП.

Вихідним співвідношенням при обґрунтуванні і виборі шляхів підвищення перешкодозахищеності є рівняння, що визначає зв'язок дальності дії РЛС з параметрами селекції, АШП і місцезнаходженням ПАП

$$R_{ПАП}^4 = \frac{E_{з_пан} \cdot A_{n_ef} \cdot \bar{\sigma}}{4\pi \cdot \gamma_{пан} (N_0 + N_{n_vx}) \Omega_{з_екв_пан}}$$

де N_{n_vx} - спектральна щільність АШП на вході приймача РЛС;

A_{n_ef} - максимальне значення ефективної площини приймальної антени;

$\gamma_{пан}$ - коефіцієнт розрізнюваності (с/ш) за яким забезпечується задана якість;

$\Omega_{з_екв_пан}$ - тілесний кут зони огляду при дії ПАП;

$E_{з_пан}$ - енергія, що випромінюється в зону за час однократного огляду.

З аналізу рівняння випливає, що для забезпечення потрібного ПЗ РЛС від АШП можна застосувати:

- метод силової боротьби, котрий передбачає підвищення щільності потоку енергії, що випромінюється РЛС в зону виявлення, або в якийсь сектор зони, замаскований активною завадою;**
- метод просторової селекції, котрий передбачає створення умов, що ускладнюють постановку АШП по основному пелюстку ДН антени і знижує рівень заводових сигналів, які приймаються боковими пелюстками ДН;**
- метод поляризаційної селекції, котрий передбачає підбір поляризації передавальної і приймальної антен, за яких АП створює найменший вплив на ефективність роботи РЛС;**
- метод частотної селекції, котрий передбачає створення умов, які знижують ефективність або ускладнюють застосування противником прицільних за частотою перешкод.**

Найпоширенішими способами створення ПП є скидання з літака постановника дипольних відбивачів (ДВ) у вигляді стандартних пачок і політ на малих висотах.

Перешкодозахищеність РЛС в умовах застосування противником ДВ звичайно характеризують кількістю пачок на 100 м шляху (лінійною щільністю ДВ), при якій забезпечується виявлення цілей з потрібною якістю і визначається R_{nnp}
 $K_{стиск} = R_{nnp} / R.$

Відмінною особливістю сигналів, відбитих від місцевих предметів, є відсутність доплерівського зсуву частоти і вузький спектр флуктуацій, внаслідок чого ступень їх придушення практично однозначно визначається технічними можливостями апаратури захисту РЛС від ПП. Тому перешкодозахищеність РЛС за таких умов звичайно оцінюється *коефіцієнтом придушення заважаючих відбиттів* або *коефіцієнтом підперешкодової видимості*.

Інформаційна здатність (ІЗ):

максимальна кількість цілей, по яких РЛС може видавати інформацію заданої якості і дискретності (період оновлення).

Потенційні можливості РЛС, щодо інформаційної здатності, визначається кількістю цілей, що спостерігаються роздільно. Однак можливості реалізації потенційної ІЗ не обмежуються пристроями знімання інформації.

Реальне ІЗ розраховується за формулою: $N_i = m_i t_{gi} / t_{\Sigma i}$,

де i - індекс параметра (r, β, H і т.д.);

t_{gi} - дискретність інформації по i -му параметру;

m_i - кількість кінцевих пристроїв РЛС, з яких зчитується інформація про i -й параметр;

$t_{\Sigma i}$ - сумарний час, витрачений на вимірювання і ввід в канал зв'язку інформації про i -й параметр.

З виразу видно, що відповідність ІЗ РЛС тактичним вимогам може бути забезпечена шляхом збільшення числа кінцевих пристроїв і автоматизацією процесу знімання РЛ інформації.

Надійність:

власність РЛС виконувати і зберігати у часі задані функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування.

Кількісно надійність РЛС оцінюється показниками безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності і збереженості (схоронності).

Найбільш поширеними показниками безвідмовності є:

- середня напрацювання на відказ T_0 ;***
- інтенсивність відказів;***
- імовірність безвідмовної роботи.***

Довговічність* кількісно оцінюється строком служби (напрацювання) до ремонту і до списання, ***ремонтпридатність - середнім часом відновлення $T_в$, а ***схоронність*** – строком схоронності.**

Електромагнітна сумісність (ЕМС):

називається властивість радіоелектронних засобів (РЕЗ) функціонувати без погіршення якісних показників в заданій ЕМ обстановці.

РЛС не повинна створювати перешкод іншим РЕЗ і сама протистояти їх впливу.

За умов великої насиченості військ РЕЗ вимоги до ЕМС для РЛС навіть є вкрай важливими. Невиконання цієї вимоги може привести до зриву виконання бойових задач РЛС навіть за відсутністю організованих перешкод з боку противника.

Маневрені характеристики.

До них відносяться:

- час розгортання (згортання) РЛС;
- час підйому і опускання антенного пристрою;
- час вмикання РЛС від штатних агрегатів живлення і від промислової мережі;
- час проведення контролю функціонування;
- можливість транспортування різними видами транспорту;
- середня швидкість транспортування.

Маневрові характеристики РЛС в значній мірі визначають її живучість, мобільність і оперативність виконання задач, що виникають раптово.