

## **Тема 3**

# **Методи огляду простору. Вторинне випромінювання радіохвиль**

**Заняття №1 Методи огляду простору. Вторинне  
випромінювання радіохвиль**

# Питання заняття

1. **Методи радіолокаційного огляду простору.**
2. **Вторинне випромінювання радіохвиль.**

# Методи радіолокаційного огляду простору

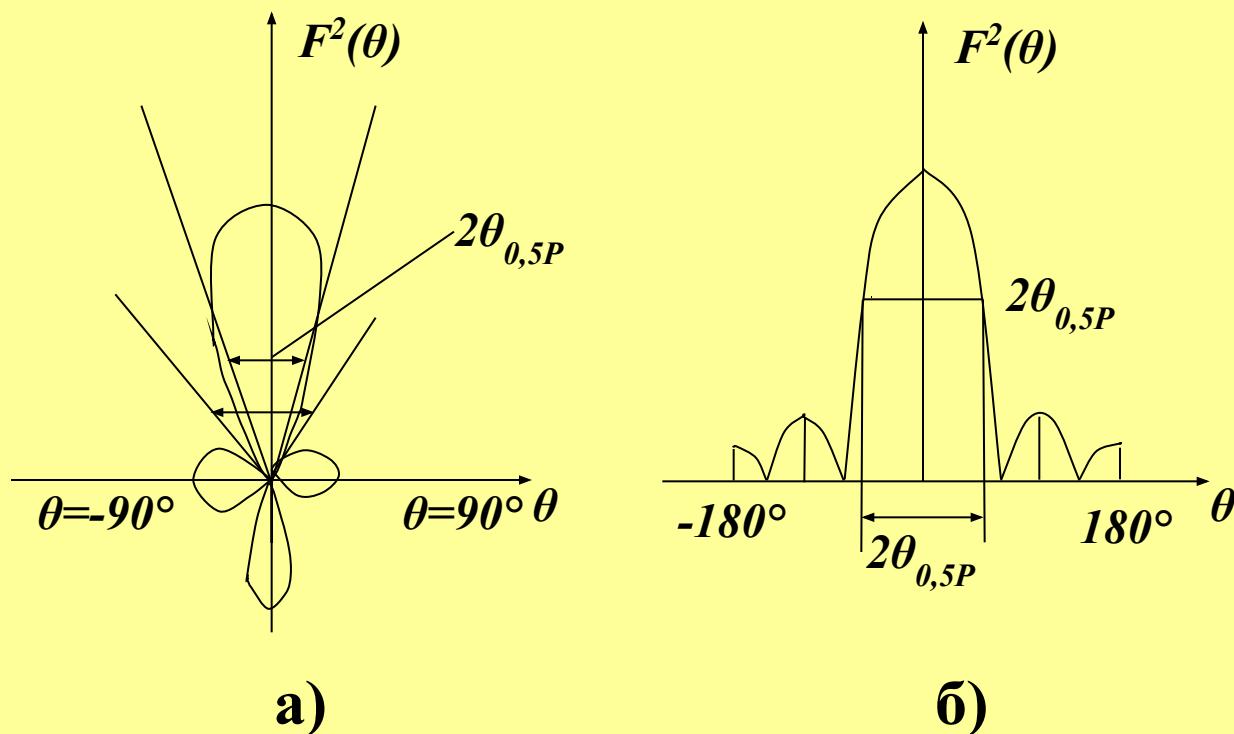
*Зона огляду РЛС* – область простору в якій виконується радіолокаційний огляд.

*Радіолокаційним оглядом* називається періодичне опромінювання всіх точок заданої області простору і приймання сигналів від цілей, що там знаходяться.

Характеристики радіолокаційного огляду залежать від виду діаграми направленості антени РЛС і закону змінювання її положення у просторі, за якими в найбільшій мірі забезпечуються задані тактико-технічні вимоги.

**Діаграмою направленості антени** називають залежність амплітуди поля або густину потоку потужності поля від напрямку у просторі в рівновіддалених точках спостереження.

Для зручності діаграми направленості (ДН) представляють плоскими перетинами в горизонтальній і вертикальній площинах.



**Рис.1. ДН антени а) в полярній системі координат; б) в прямокутній системі координат**

## *Основні види ДН РЛС:*

- **віяльні** ( $2\theta_{\beta} \ll 2\theta_{\varepsilon}$ );
- **лопаткові** ( $2\theta_{\varepsilon} \ll 2\theta_{\beta}$ );
- **голкоподібні** ( $2\theta_{\beta} \approx 2\theta_{\varepsilon}$ );
- **косекансні**  $\text{cosec}(\varepsilon) = 1/\sin(\varepsilon)$ .

## *Радіолокаційний огляд може бути:*

- **одночасним (паралельним);**
- **послідовним;**
- **змішаним.**

При *одночасному огляді* кількість променів РЛС, що перекривають зону огляду, дорівнює числу елементів розділення по кутах. Реалізація такого огляду потребує великого об'єму апаратури (рис.2). При *послідовному огляді* один промінь сканує в межах зони огляду (рис.3).

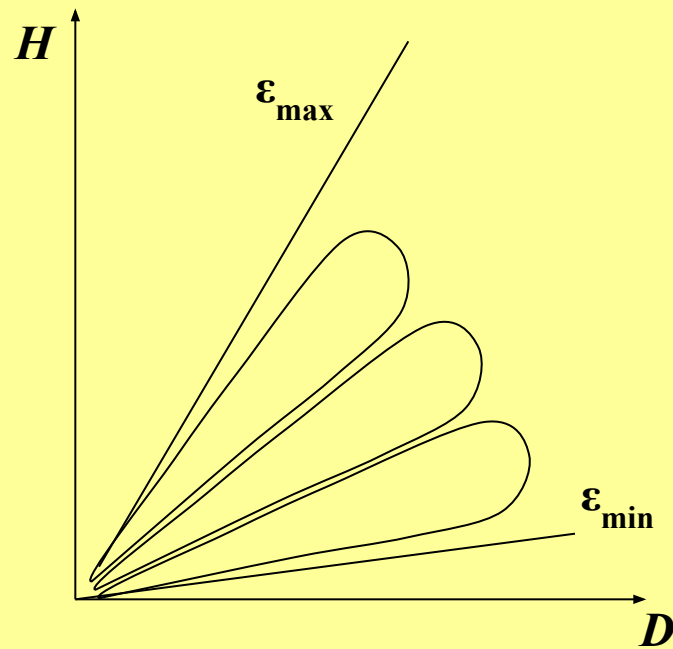


Рис.2 Паралельний огляд

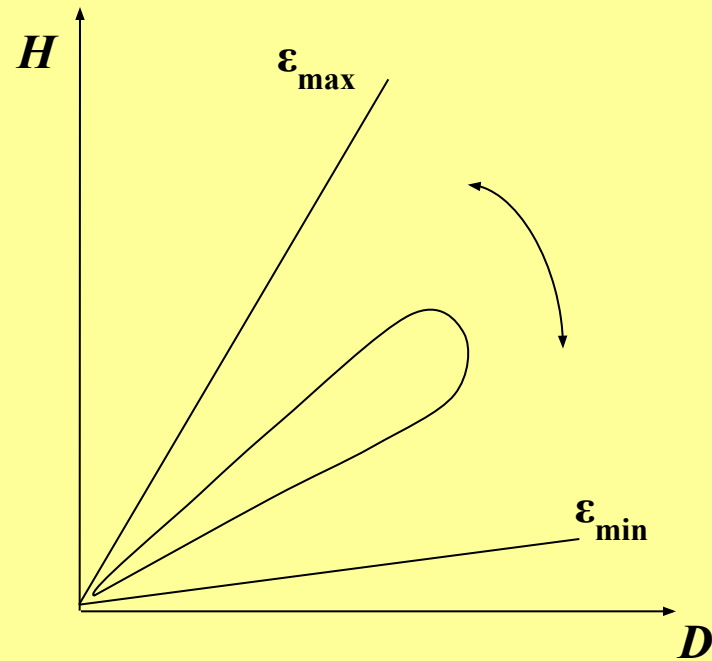


Рис.3 Послідовний огляд

### *Послідовний огляд може вестись:*

- за жорсткою програмою (детермінований), коли ДН антени РЛС переміщується незалежно від результатів локації;
- за гнучкою програмою (адаптивною) в залежності від результатів локації.

При *змішаному огляді* антена РЛС, як правило, мають косекансну або віяльну ДН і огляд простору по одній координаті здійснюється паралельним способом, а по другій – послідовним.

Паралельний і змішаний огляди дозволяють звести до мінімуму час огляду заданої зони. Основний недолік цих способів огляду – складність і громіздкість апаратури.

Послідовний огляд характеризується відносною простотою апаратури і великим часом огляду.

## *Радіолокаційний огляд характеризується:*

- періодом огляду  $T_{огл}$ ;
- часом опромінювання  $T_{опр}$ .

*Період огляду*  $T_{огл}$  - це час потрібний для однократного опромінювання всіх точок зони огляду і забезпечення можливості прийому сигналів із цих точок.

*Час опромінювання*  $T_{опр}$  - це час, що проходить з моменту початку випромінювання радіохвиль у напрямку на ціль до кінця приймання сигналів відбитих даною ціллю.

## *Способи переміщення ДН у просторі:*

- круговий;
- секторний;
- гвинтовий;
- спіральний;
- конічний;
- пилкоподібний;
- строчковий.



**Круговий огляд** – ДН обертається в горизонтальній площині з постійною кутовою швидкістю  $\Omega_a$  (град/сек)

$$T_{опр} = 2\theta_{0,5P} / \Omega_a; \quad N = T_{опр} F_n - \text{кількість імпульсів в пачці};$$

$$N = \frac{2\theta_{0,5P} F_n}{\Omega_a} = \frac{2\theta_{0,5P} F_n}{6n[\text{об} / \text{хвил}]} \quad , \text{ де } n - \text{число обертів антени за хвилину.}$$

**Секторний огляд** – окремий випадок кругового огляду.

Промінь переміщується у просторі в певному секторі.

Використовується:

- при пошуку цілі, коли відомі від інших джерел місцеположення і курс цілі;
- при пошуку в заданому районі.

***Гвинтовий огляд*** – здійснюється шляхом пересування променя антени по азимуту з одночасним повільним переміщенням по куту місця. Шаг по куту місця визначається шириною ДН антени в вертикальній площині.

***Спиральний огляд*** – здійснюється шляхом швидкого розгортання іглоподібного променя по спіралі навколо осі, що визначає центр зони. Він використовується в станціях орудійної наводки.

***Конічний огляд*** – здійснюється обертанням іглоподібного променя навколо осі, що визначає напрям на ціль. При цьому зсув максимуму ДН від осі сканування не повинен перевищувати половини ДН. Використовується для супроводження цілей.

***Пилкоподібний огляд*** – здійснюється шляхом сканування променем антени в вертикальній площині в межах заданого кута місця з одночасним обертанням по азимуту.

Для керування променем антени при огляді за гнучкою програмою, а також у випадку великих антенних систем, використовуються методи електронного сканування.

Розрізняють *фазовий* і *частотний* методи керування променем. Антени з електронним керуванням променем називають фазованими антенними решітками.

При *фазовому методі* керування променем здійснюється завдяки змінюванню фазового розподілу поля уздовж антенної решітки за допомогою електронно керованих фазообертачів.

При *частотному методі* фазове розподілення змінюється завдяки девіації частоти зондувального сигналу.

# Вторинне випромінювання радіохвиль

Падаючу на перешкоду хвилю називають первинною, відбиту або розсіяну – вторинною, а перешкоду пасивним вторинним випромінювачем.

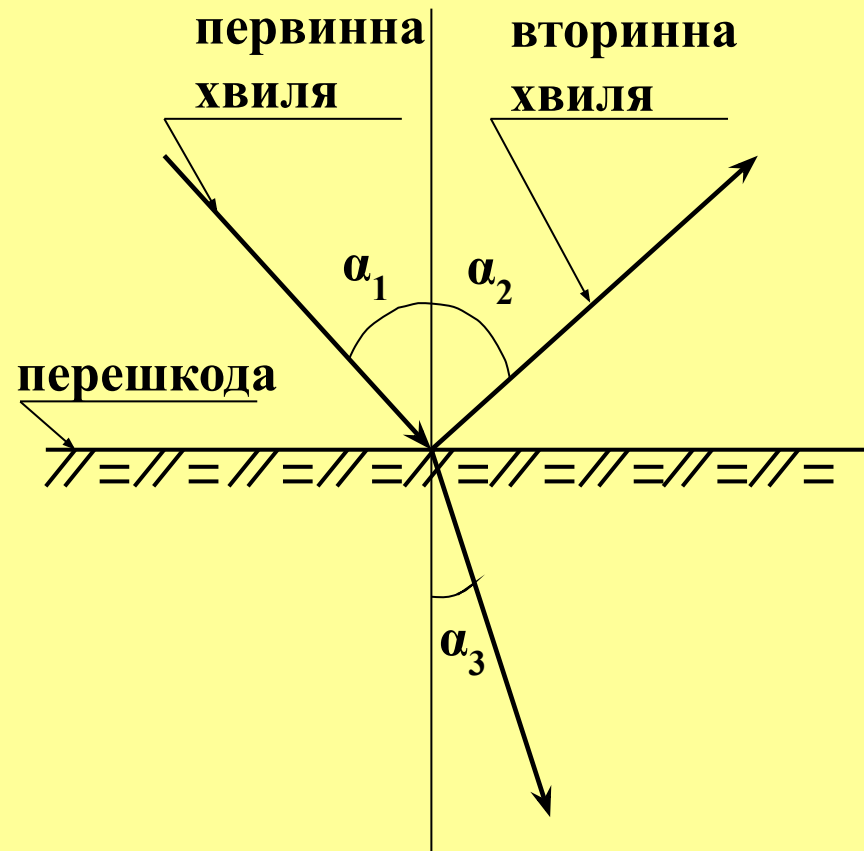


Рис. 4. Пояснення явища вторинного випромінювання

Перешкодою для ЕМХ може бути будь – яка неоднорідність електричних параметрів середовища: діелектрична  $\varepsilon$ , магнітна  $\mu$  проникність або питома провідність  $\sigma$ .

Основною характеристикою РЛЦ є ефективна відбивна поверхня (ЕВП) або ефективна поверхня розсіювання (ЕПР).

*ЕВП цілі називають площу такого уявного випромінювача, котрий розсіює всю падаючу на нього енергію рівномірно і при цьому створює в точці прийому таку ж густину потоку потужності, як і реальна ціль.*

ЕВП визначається за формулою: 
$$\sigma(\beta, \varepsilon) = 4\pi r^2 \frac{S_{np}}{S_{\text{ц}}}$$

де  $r$  – дальність до цілі,  $S_{np}$  - густина потоку потужності відбивного сигналу на вході приймальної антени,  $S_{\text{ц}}$  - густина потоку потужності зондувального сигналу у цілі.

$$\sigma = 4\pi r^2 \frac{E_{np}^2}{E_{\text{ц}}^2}$$

$$\sigma = 4\pi r^2 \frac{H_{np}^2}{H_{\text{ц}}^2}$$

## **Фактори, що впливають на величину ЕВП цілі.**

### **1. Електричні і магнітні властивості матеріалу цілі.**

Якщо відносні  $\epsilon_u$  і  $\mu_u \rightarrow 1$ , то  $\sigma_u$  зменшується (тобто, чим ближче  $\epsilon_u \rightarrow \epsilon_0$ , а  $\mu_u \rightarrow \mu_0$ )  $\epsilon_0$  і  $\mu_0$  це діелектрична і магнітна проникності вакууму.

### **2. Форма і характер поверхні цілі.**

Якщо допустима висота нерівностей на поверхні цілі задовольняє умові  $h_{дон} \leq \lambda/16 \sin \theta$ , то має місце дзеркальне відбиття. При порушенні даної умови настає спочатку напівдифузне, а потім дифузне відбиття.

**3. Відносні розміри цілі  $l/\lambda$ , котрі визначаються, як відношення лінійних розмірів цілі  $l$  до довжини хвилі  $\lambda$ .**

**а)  $l/\lambda \ll 1$  - інтенсивність наведених струмів на поверхні цілі мала, інтенсивність вторинного випромінювання також низька і не залежить від форми тіла**

$$\sigma_u = 4\pi^3 \frac{l^6}{\lambda^4}$$

б)  $l/\lambda \approx 1$ . По-перше, вторинне випромінювання має резонансний характер, зумовлений резонансом наведених струмів, коли  $l = k\lambda/2$  ( $k=1,2,3$  і т.д.).

$$\sigma_u = 0,86\lambda^2 = 0,86(2l)^2, \text{ де } l = \lambda/2.$$

Ефективна поверхня відбиття може сягати значних величин і різко змінюється при зміні відносних розмірів цілі  $l/\lambda$  (рис 5)

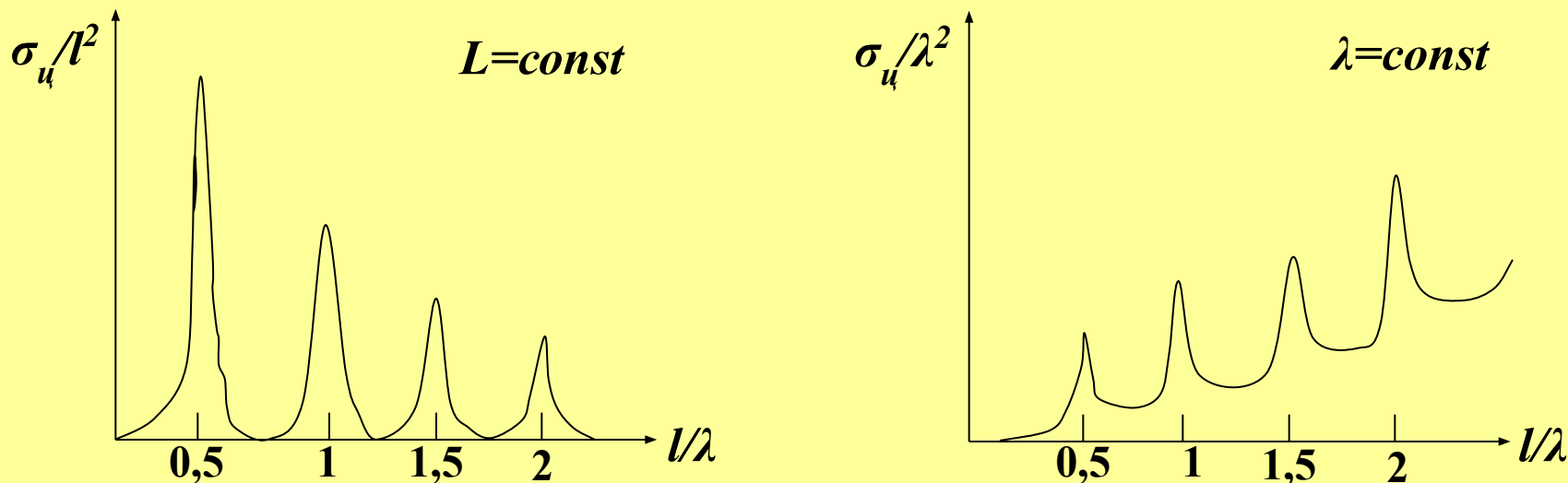


Рис. 5. Графіки зміни ЕПР в залежності від відношення  $l/\lambda$

**По-друге**, залежність  $\sigma_u$  від орієнтації тіла відносно фронту хвилі, що його опромінює і поляризації коливань.

Так для випромінювача у вигляді відрізка дроту

$$\sigma_u = \sigma_{u_{max}} \cos^4 \theta,$$

де  $\theta$  - кут між вектором поля і віссю провідника.

Кут  $\theta$  випадкова величина, тому кажуть про середнє значення  $\sigma_u = 0,17\lambda^2$  (для півхвильового вібратора).

**в)  $l/\lambda \gg 1$ .** В цьому випадку ціль розглядають як груповий вторинний випромінювач, що складається з багатьох елементарних випромінювачів.

Груповий вторинний випромінювач може бути **зосередженим** – коли його елементи не розрізняються РЛС і **розподіленим** – коли його елементи заповнюють декілька роздільних об'ємів.



## *Зауваження:*

а)  $\sigma_{\Sigma}$  залежить від ЕПР окремих елементарних вторинних випромінювачів;

б)  $\sigma_{\Sigma}$  залежить від орієнтації цілі відносно фронту хвилі, що зветься *ракурсом цілі* – кут між продольною віссю цілі і напрямком на РЛС ( $\theta$ );

в) ступінь порізаності  $\sigma_{\Sigma}$  визначається взаємним розташуванням елементарних вторинних випромінювачів і довжини хвилі.

$$\sigma_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \sigma_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sqrt{\sigma_i \sigma_j} \cos \Delta \phi_{ij}$$

де  $\sigma_{\Sigma}$  - діаграма зворотного вторинного випромінювання (ДЗВВ).

*Залежність ЕПР групового випромінювача від кута, що визначає орієнтацію вісі випромінювача відносно фронту хвилі ( $\theta$ ), зветься ДЗВВ.*

## *Вторинне випромінювання реальних цілей.*

Оскільки ДЗВВ реальних цілей має порізаний характер і ракурс цілі випадковий, то величина ЕПР цілі в кожний окремий момент часу буде випадковою. Закон розподілення цієї випадкової величини можна визначити за експериментально знятою ДЗВВ.

Внаслідок складності отримання і тлумачення результатів експерименту на реальних цілях для виявлення загальних закономірностей використовують статистичні моделі вторинних випромінювачів.

В якості найпростішої моделі аеродинамічної цілі використовують звичайно одну з двох моделей:

а) сукупність великого числа довільно розташованих незалежних і рівноцінних елементів із заданою  $\sigma_{\Sigma}$ ;

б) сукупність елементів першої моделі з домінуючим вторинним випромінювачем зі стабільним значенням  $\sigma$  (блискуча точка).

Складний характер геометричної форми реальних цілей ускладнює теоретичну оцінку їх ефективної поверхні. Однак використовуючи статистичні моделі, можна визначити густину імовірності миттєвих значень, фази і амплітуди відбитого сигналу.

ДЗВВ реальних цілей має багатопелюстковий характер. Ширина пелюсток залежить від співвідношення лінійних розмірів і довжини хвилі. Її оцінку можна провести за виразом  $\Delta\theta \approx \lambda / l_e$  де  $l_e$  - деякий еквівалентний розмір цілі.

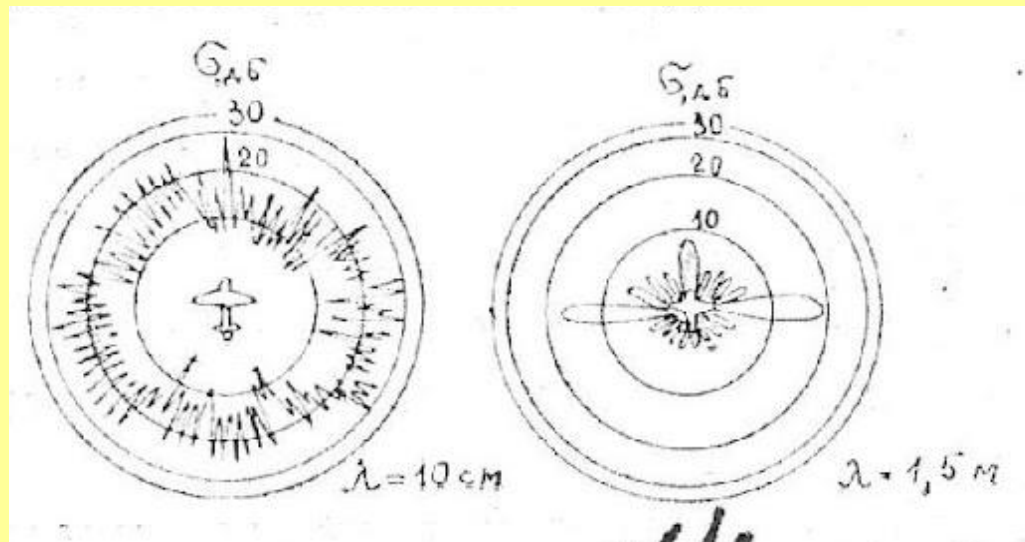


Рис. 6. Приблизні ДОВВ реальної цілі в залежності від  $\lambda$

*Деякі характерні цілі мають слідуєчі значення  $\sigma_{ц}$ :*

- **0,1÷0,2 м<sup>2</sup> – балістична ракета;**
- **0,3÷0,8 м<sup>2</sup> – крилата ракета;**
- **1÷5 м<sup>2</sup> – винищувач;**
- **10÷15 м<sup>2</sup> – бомбардувальник;**
- **104 м<sup>2</sup> – крейсер.**

## ***Поляризаційні ефекти при вторинному випромінюванні.***

***Поляризація електромагнітної хвилі – це властивість хвилі, яка заключається в неоднаковості амплітуд векторів електричного і магнітного полів у різних напрямках.***

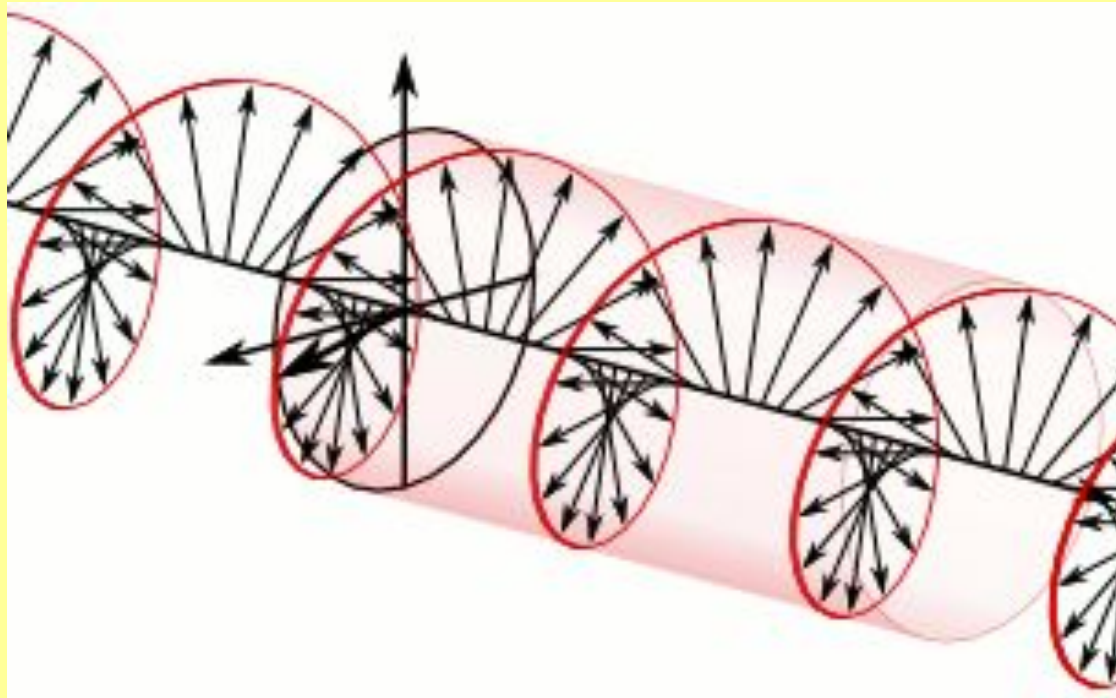
**В РЛ поляризація хвилі визначається напрямом вектора напруженості електричного поля  $E$ .**

**Розрізняють: лінійну і кругову (колову) поляризації.**

***Лінійна поляризація* має місце, коли проекція кінця вектора електричного поля на площині перпендикулярній напрямку розповсюдження ЕМХ, описує пряму лінію.**

**В залежності від орієнтації вектора  $E$  поля ЕМХ відносно поверхні Землі лінійну поляризацію поділяють на горизонтальну, вертикальну або похилу.**

***Кругова поляризація.*** Вектор  $E$  обертається з частотою радіохвилі і при розповсюдженні хвилі кінець вектора описує гвинтову лінію (на площині – коло) рис. 7. В залежності від напрямку обертання вона може бути *правою* або *лівою*.



**Рис.7. Пояснення кругової поляризації**

**ДЗВВ може змінюватися при різних видах поляризації, особливо у випадках, коли розміри цілей сумірні з довжиною хвилі. Крім того, має місце явище деполіризації, коли поляризація поля в точці прийому відрізняється від поляризації зондувального сигналу. Ступінь деполіризації визначається електричними властивостями і формою об'єкту, залежить від довжини хвилі і умов розповсюдження.**

*Використання особливостей вторинного випромінювання з метою протирадіолокаційного маскування.*

- **штучне підвищення інтенсивності відбитого сигналу, що дозволяє створити хибні цілі ( за допомогою куткових і лінзових відбивачів);**
- **штучне зменшення інтенсивності відбитого сигналу, що дозволяє послабити інтенсивність вторинного випромінювання цілі шляхом застосування радіо поглинального покриття і надання цілі спеціальної форми.**



## *Основні напрямки робіт за програмою "Стелс" (stealth )*

- удосконалення форми об'єкту. При цьому ефективна відбивна поверхня знижується з  $100 \text{ м}^2$  до  $1 \text{ м}^2$ ;
- екранування й інші заходи щодо зниження помітності елементів конструкції, до форми і матеріалам яких пред'являються спеціальні вимоги (повітрязабірники, перші щаблі компресорів ПРД, радіоустаткування);
- зниження температури вихлопу ПРД і нагріву конструкції, екранування сопел;
- використання високоефективного покриття, що поглинає і розсіює енергію електромагнітних хвиль, котрі на нього падають.



Ударний винищувач F-117. Дебют приходиться на "Бурю в пустелі" 1991 г. Протягом операції не було знищено жодного літака. Фото: US AIR FORCE



Винищувач F-35 Lightning II (JSF - Joint Strike Fighter) В одному з перших польотів.  
Фото: US AIR FORCE



F-22 Raptor здійснює перший переліт через океан. Фото: US AIR FORCE



Стратегічний бомбардувальник В-2. Вперше були використані в бойових умовах в 1999 г. в ході операції "Решуча сила" в Югославії. Фото: US AIR FORCE

## НАПРАВЛЕНИЕ СНИЖЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ЗАМЕТНОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ



### Возможное снижение ЭПР летательных аппаратов (разы)

	ПЛАНЕР					АНТЕННЫ					ВОЗДУХОЗАБОРНИКИ		
см	10	20	50	40	—	100	100	100	50	50	100	50	50
дм	10	10	30	20	—	100	100	—	100	100	50	50	30
м	5	—	10	10	20	—	—	—	—	—	—	—	5
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ РАССЕЯНИЯ

