

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.

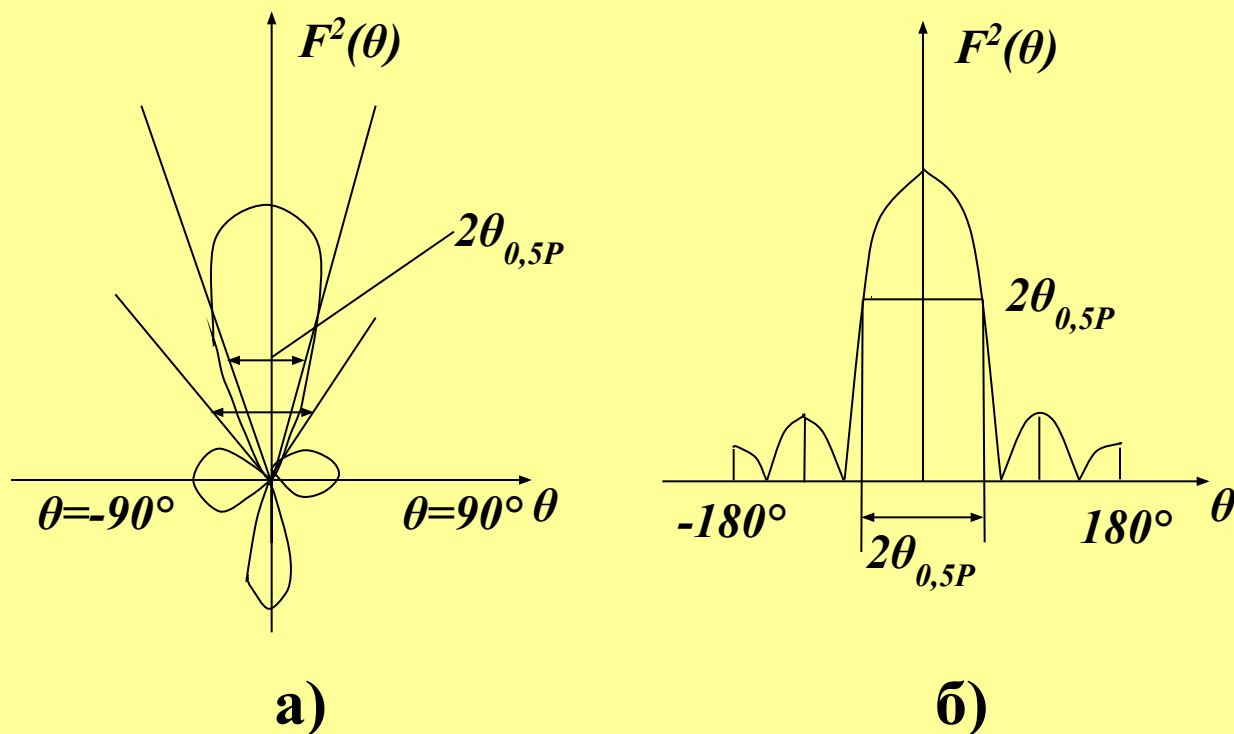


Рис.1. ДН антени а) в полярній системі координат; б) в прямокутній системі координат

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).

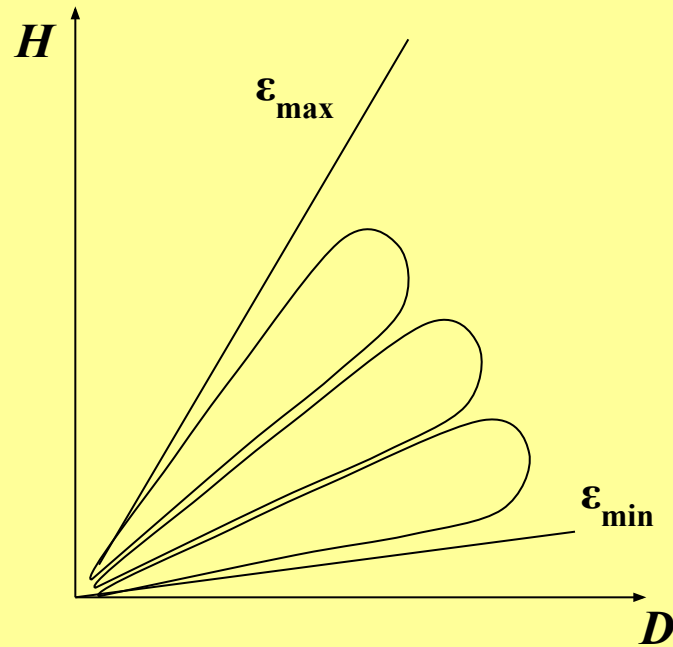


Рис.2 Паралельний огляд

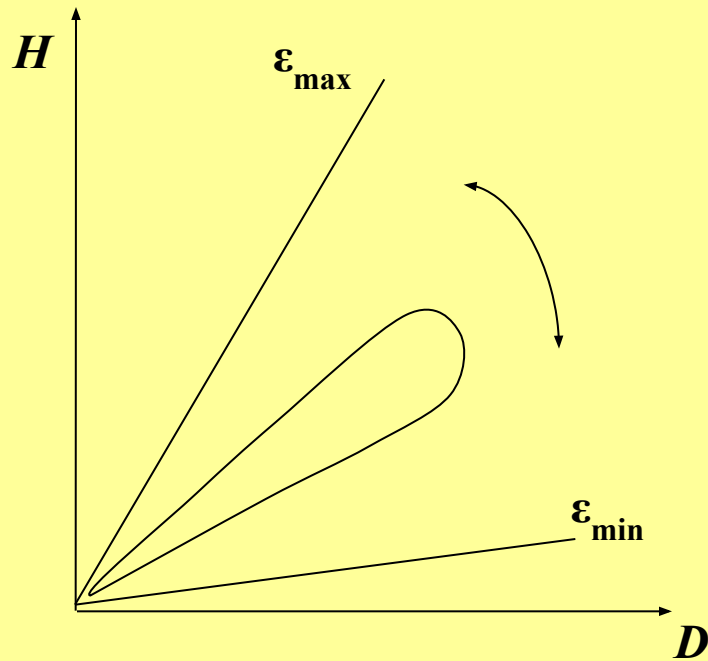


Рис.3 Послідовний огляд

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 Ω_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.

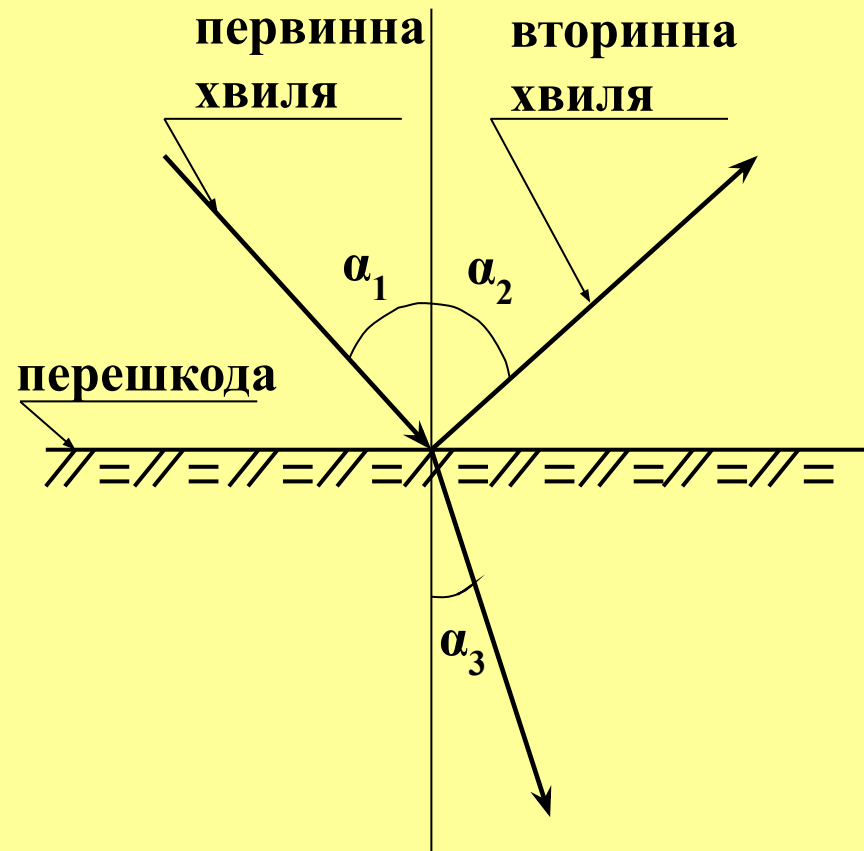


Рис. 4. Пояснення явища вторинного випромінювання

Перешкодою для ЕМХ може бути будь – яка неоднорідність електричних параметрів середовища: діелектрична ε , магнітна μ проникність або питома провідність σ .

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 ϵ_u і $\mu_u \rightarrow 1$, то σ_u зменшується (тобто, чим ближче $\epsilon_u \rightarrow \epsilon_0$, а $\mu_u \rightarrow \mu_0$) ϵ_0 і μ_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/λ , котрі визначаються, як відношення лінійних розмірів цілі l до довжини хвилі λ .

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/λ (рис 5)

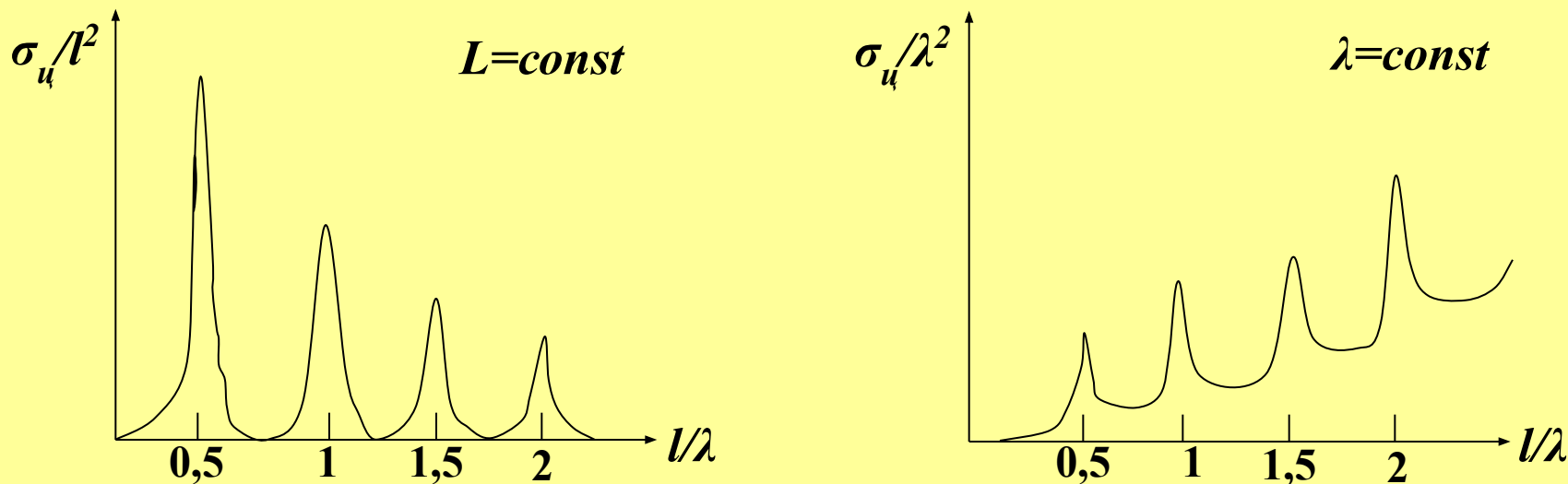


Рис. 5. Графіки зміни ЕПР в залежності від відношення l/λ

По-друге, залежність σ_{ω} від орієнтації тіла відносно фронту хвилі, що його опромінює і поляризації коливань.

Так для випромінювача у вигляді відрізка дроту

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

де θ - кут між вектором поля і віссю провідника.

Кут θ випадкова величина, тому кажуть про середнє значення $\sigma_{\omega} = 0,17\lambda^2$ (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) σ_{Σ} залежить від ЕПР окремих елементарних вторинних випромінювачів;

б) σ_{Σ} залежить від орієнтації цілі відносно фронту хвилі, що зветься *ракурсом цілі* – кут між продольною віссю цілі і напрямком на РЛС (θ);

в) ступінь порізаності σ_{Σ} 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 σ_{Σ} - діаграма зворотного вторинного випромінювання (ДЗВВ).

Залежність ЕПР групового випромінювача від кута, що визначає орієнтацію вісі випромінювача відносно фронту хвилі (θ), зветься ДЗВВ.

Вторинне випромінювання реальних цілей.

Оскільки ДЗВВ реальних цілей має порізаний характер і ракурс цілі випадковий, то величина ЕПР цілі в кожний окремих 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 σ_{Σ} ;
- б) сукупність елементів першої моделі з домінуючим вторинним випромінювачем зі стабільним значенням σ (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.

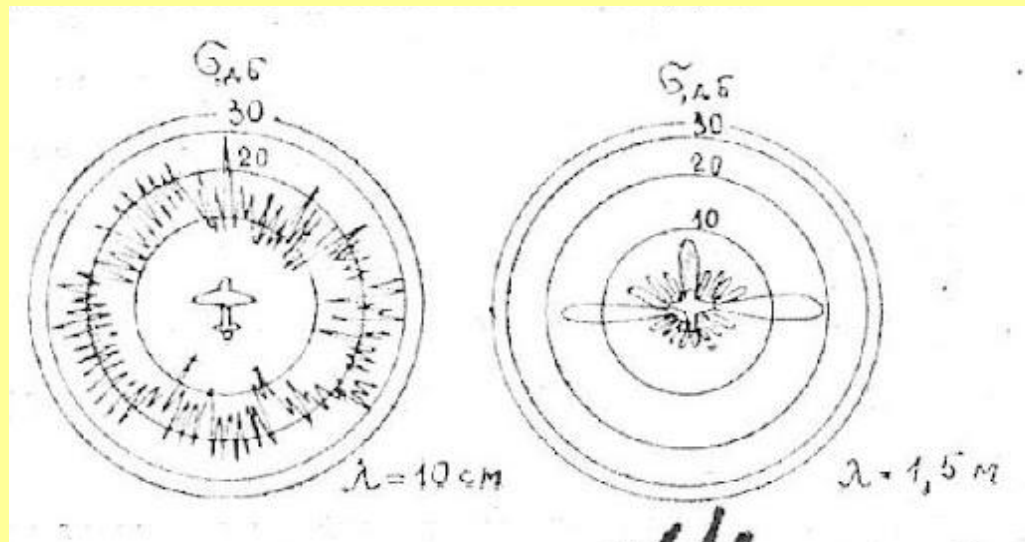


Рис. 6. Приблизні ДОВВ реальної цілі в залежності від λ

Деякі характерні цілі мають слідуєчі значення σ_c :

- **0,1÷0,2 м² – балістична ракета;**
- **0,3÷0,8 м² – крилата ракета;**
- **1÷5 м² – винищувач;**
- **10÷15 м² – бомбардувальник;**
- **104 м² – 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*.

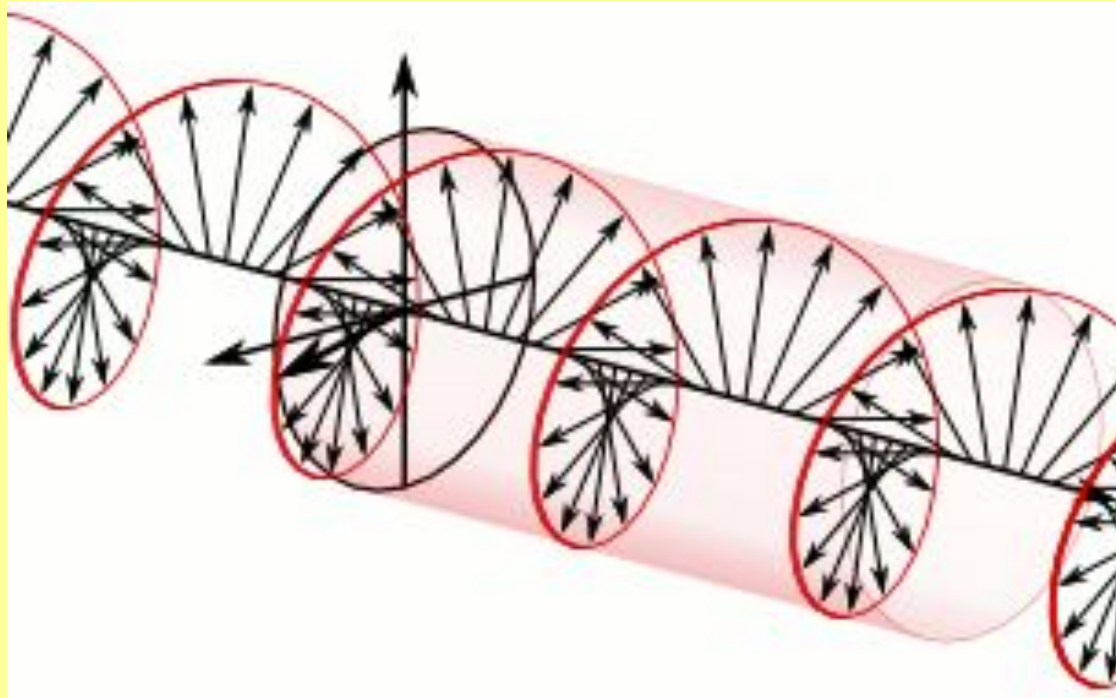


Рис.7. Пояснення кругової поляризації

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 м^2 до 1 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 приходить 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 бомбордувальник 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

