

ANALYZE SCANNED AREA BY METRIC RADARS

Vencislav M. Vasilev

National Military University, Faculty "Artillery, Air-Defence and Communications"

Abstract: *In this issue is analyzed scanned area by metric radars. A mechanism for forming multilobed beam is represented and factors which work on this process. A way to change directivity diagram position in endlong plane by alterations in fundamental frequency is represented too. It's shown on which values of the wavelength the directivity diagram is moving up or down in definite limits.*

Keywords: *directivity diagram, metric radar, mirror reflection factor, diffuse reflection factor, antenna's height.*

АНАЛИЗ НА ЗОНАТА НА ОТКРИВАНЕ НА МЕТРОВИ РАДИОЛОКАЦИОННИ СТАНЦИИ

Венцислав М. Василев

*Национален военен университет "Васил Левски",
Факултет "Артилерия, ПВО и КИС" - гр. Шумен*

ВЪВЕДЕНИЕ

Зоната на откриване на една радиолокационна станция (РЛС) е важен тактически параметър, който характеризира възможностите и за бойно използване. Тя представлява областта от въздушното пространство, в която станцията води непрекъснато радиолокационно наблюдение на целите. Формата на зоната на откриване се определя от формата на диаграмата на насоченост (ДН) във вертикална равнина, която се формира от антената на РЛС [3,4,6,7].

При РЛС от метров диапазон ДН във вертикална равнина има многолистов характер и е силно изрязана, а също така зависи от постилащата повърхност в участъка между РЛС и наблюдавания обект.

Отразеният ехо сигнал от наблюдавания въздушен обект на входа на приемника е смес от сигнали, както от целта, така и от постилащата повърхност в разрешаващия обем на РЛС. Преотразеното поле е сума от множество елементарни сферични вълни, отразявани от елементарните участъци на повърхността, ограничена между антената на РЛС и отразяващия обект. Полето по апертурата на антената се явява сума от отразената вълна и голям брой елементарни преотразени вълни от повърхността. Този механизъм е в основата на многолъчевото разпространение. Основната част от енергията на преотразеното поле се дължи на първата зона на Френел около точката на огледално отражение [1].

В тази статия е анализирана зоната на откриване на метрови РЛС и е представена възможност за повдигане и сваляне на ДН с цел наблюдаване на нисколетящи цели и намаляване на радиуса на мъртвия конус на зоната.

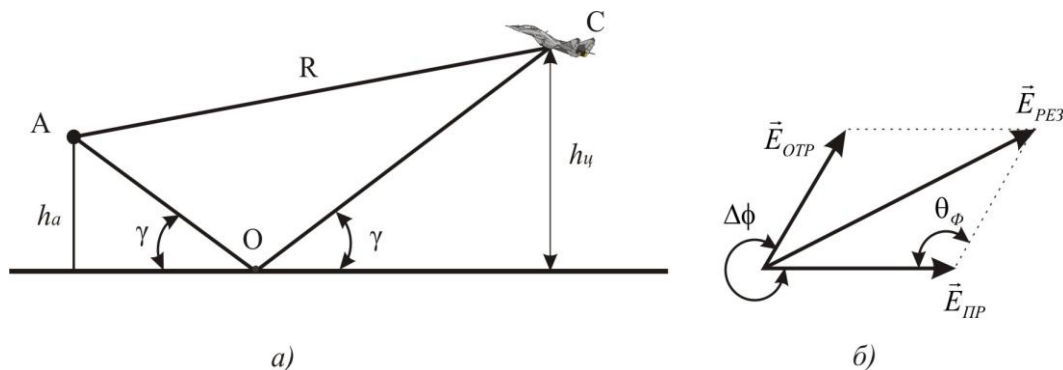
ИЗЛОЖЕНИЕ

Допуска се, че РЛС наблюдава въздушна цел над земната повърхност и се намира на разстояние R от нея. Електрическото поле в точка C от целта се разглежда като резултат от интерференцията на прекия лъч (АС) и отразеният (АОС) в точка O от земната повърхност (фиг. 1 а).

Резултантната напрегнатост на електрическото поле е сума от моментните значения на напрегнатостите на полето на прякия лъч $\vec{E}_{\text{пр}}$ и на отразения от повърхността на земята лъч $\vec{E}_{\text{отр}}$ (фиг.1 б) [2, 5]:

$$(1) \quad \vec{E}_{\text{PEЗ}} = \frac{173 \sqrt{P_{\text{ИЗЛ}}} G}{R_{\text{ц}}} \Phi,$$

където: – G е коефициента на насоченост на антената;
– $P_{\text{ИЗЛ}}$ е излъчената мощност;
– $R_{\text{ц}}$ е разстоянието до целта;
– ω е кръговата честота на излъчените колебания;
– Φ е множителя на затихването:



Фиг. 1. Взаимно разположение на РЛС и облъчвания обект при формиране на резултантния ехо сигнал

Степента на влияние на постिलाщата повърхност се отчита чрез множителя на затихването[5]:

$$(2) \quad \Phi = \sqrt{1 + 2\rho_{s0} \cos(\theta_\phi + \Delta\phi) + \rho_{s0}^2},$$

където: – $\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta R$ е фазовото изместване за сметка на разликата ΔR в пътищата на пряката и отразената от постилащата повърхност вълна;
– ρ_{s0} е комплексен коефициент на отражение от земната повърхност с фаза θ_ϕ ;
– λ е дължината на вълната.

Множителят на затихването показва колко пъти напрегнатостта на полето при отражения от земята е по-голяма или по-малка от напрегнатостта на полето в свободното пространство. При промяна на ΔR множителя на затихването приема стойности от $\Phi=1+\rho_{s0}$ до $\Phi=1-\rho_{s0}$.

ДН във вертикална равнина при метрови РЛС се отличава с многолистова структура [3,4,5]. Това се обяснява с факта, че в дадена точка от пространството интерферират два лъча- директен и отразен, между които съществува някаква фазова разлика. Тя се определя от фазовата разлика от пътищата на пряката и отразената вълна $\Delta\phi$ и от фазата на коефициента на отражение θ_ϕ , който приемаме за постоянен за цялото трасе. В посоките на интерференционни максимуми резултантното поле се усилва $1+\rho_{s0}$ пъти, а в посоките на минимумите намалява $1-\rho_{s0}$ пъти [5].

Когато фазовата разлика $\Delta\phi$ е равна на нула или кратна на 2π , то амплитудите на двата сигнала $E_{\text{пр}}$ и $E_{\text{отр}}$ се сумират във фаза и в тези посоки амплитудата на резултантното поле $E_{\text{PEЗ}}$ е максимална и се получава максимум на ДН. В посоки, където фазовата разлика $\Delta\phi$ е кратна на четно число пъти π сигналите се сумират в противофаза и $E_{\text{PEЗ}}$ е минимална (фиг. 2).

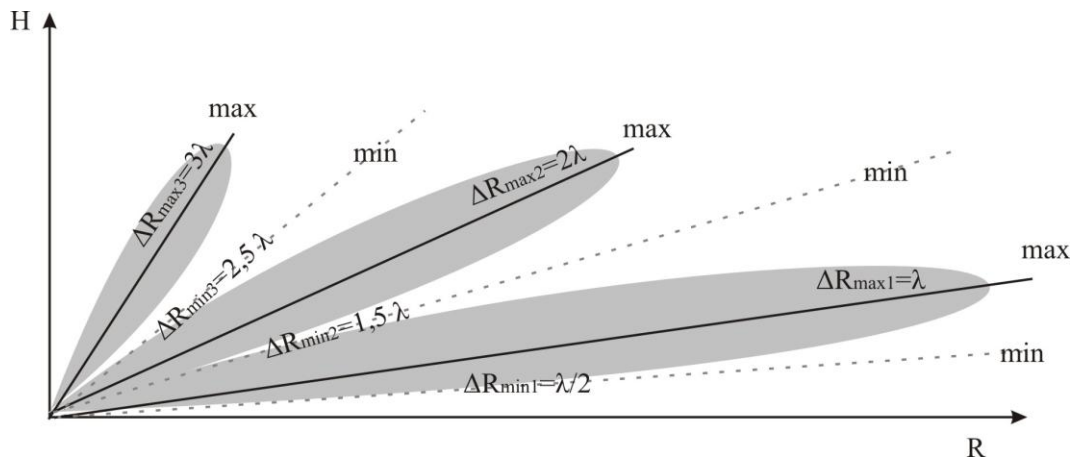
Разликата в пътищата на пряката и отразената вълна ΔR е равна на[1]:

$$(3) \quad \Delta R \approx \frac{2 h_c h_a}{R_{\text{ц}}},$$

където h_a е височината на антената, а h_u е височината на целта.

При синфазния случай $\Delta\phi = 0$ или $\Delta\phi = 2\pi$, което означава, че разликата $\Delta R = k\lambda$, където k е цяло число, се получават максимуми на ДН. В противофазния случай $\Delta\phi = \pi$ се получават минимумами в ДН, при което разликата $\Delta R = k \frac{\lambda}{2}$.

Анализирайки формула (3) при $h_a = \text{const}$, за да запазим постоянно значението на ΔR , а от там и $\Delta\phi = 0$ или $\Delta\phi = k\lambda$, следва че h_u и R_u нарастват пропорционално – по линеен закон. Така се формират направления, в които отношението h_u/R_u винаги ще бъде равно на константа. Това са посоките на максимумите на ДН, които на фиг. 2 са показани с пълтни линии, а с пунктири са изобразени посоките на минимумите.



Фиг. 2. Форма на ДН във вертикална равнина

ДН във вертикална равнина на РЛС от метров диапазон е многолистова и се характеризира с голяма изрязаност. За увеличаване на далечината на откриване на нисколетящи цели е необходимо да се увеличи височината на антената на РЛС. По този начин се намалява ъгъла между максимума на най-долния лист от ДН и постилащата повърхност, по който лист основно се извършва откриването на НЛЦ. Големината на този ъгъл се определя от условието: $\varepsilon_{max} \leq 15\lambda / h_a$ [2].

За най-добро формиране на най-долния лист от ДН е необходимо площадката около РЛС да бъде равна. За да преобладава огледалната съставна в сумарния сигнал е необходимо радиусът на тази площадка да бъде $R_{ПЛ} \approx 25h_a^2 / \lambda$. Огледалният характер на отраженията се запазва само тогава, когато неравностите и грапавините са по-малки от дължината на вълната. В противен случай отраженията имат дифузен характер и енергията на полето на отразената вълна в целта се намалява. Тогава многолистовия характер е малко изразен: максимумите намаляват, а минимумите не са толкова дълбоки [2].

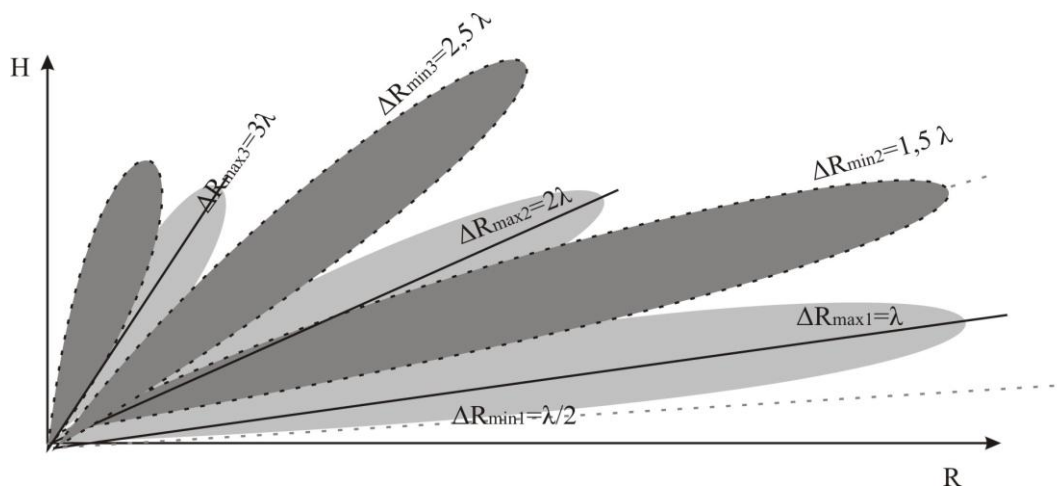
При РЛС от метров диапазон влиянието на неравностите може да се пренебрегне и постилащите повърхности на практика са относително гладки. В този случай съществува огледална съставна, а дифузната е минимална и нейното влияние на сумарния сигнал може да се пренебрегне.

Видът на ДН, представен на фиг.2 е получен при определена дължина на вълната λ_1 (честота f_1). Необходимо е да се намери такава дължина на вълната λ_2 , при която минимумите на ДН при λ_1 да заемат мястото на максимумите или обратно (фиг. 3). По този начин се покрива онази част от зоната откриване на РЛС, в която е имало минимумами и там цели могат да се наблюдават. Това е еквивалентно на снемане или повдигане на цялата ДН по ъгъл на място.

Исходните условия са следните: РЛС използва една и съща антена за приемане и предаване, височината на антената $h_a = \text{const}$, за времето на локация РЛС не си променя позицията, следователно формата на ДН ще остане една и съща. Задачата се свежда до определяне на зависимостта между λ_1 и λ_2 .

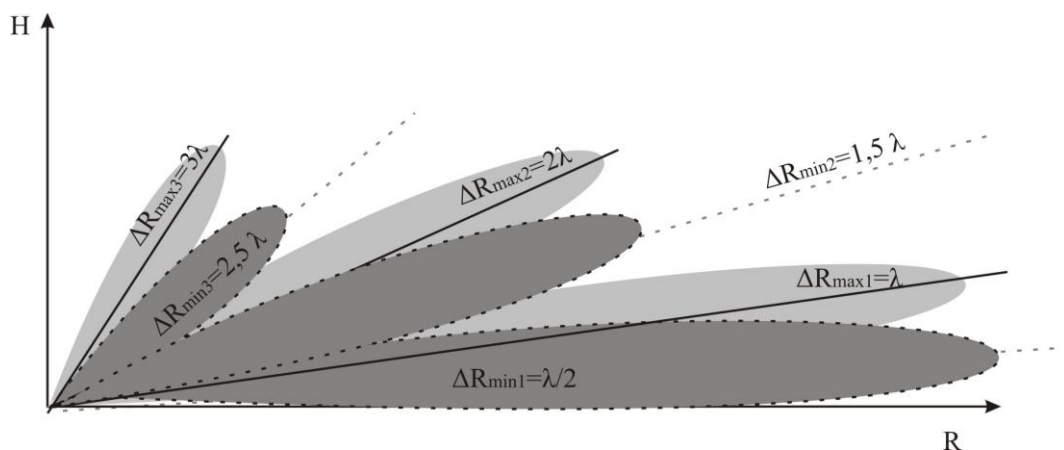
От представеното на фиг. 2 следва, че максимуми имаме в направленията, които отговарят на $\Delta R_{max1} = \lambda_1$, $\Delta R_{max2} = 2 \lambda_1$, $\Delta R_{max3} = 3 \lambda_1$. Минимумите са в посоки, за които $\Delta R_{min1} = 0,5 \lambda_1$, $\Delta R_{min2} = 1,5 \lambda_1$, $\Delta R_{min3} = 2,5 \lambda_1, \dots$

Необходимо е за посока, в която имаме максимум, чрез промяна на λ_1 да получим минимум.



Фиг. 3. Повдигане на ДН

Разглеждаме два случая: ако провалът в ДН след 3 лист при $\Delta R_{\min 4}=3,5 \lambda_1$ се замени с максимум (фиг. 3), т.е. да приеме ново значение $\Delta R_{\max 3}=3\lambda_2$. По този начин ДН се премества по ъгъл на място нагоре и се намалява радиусът на мъртвия конус в зоната на видимост. Тогава за λ_2 се получава: $\lambda_2=1,17 \lambda_1$.



Фиг. 4. Смякване на ДН

Промяната на честотата е в зависимост от това, коя част от зоната на видимост на РЛС искаме да покривем, т.е. в направлението, където имаме провали в ДН и РЛС не наблюдава целта след промяна на честотата да бъде насочен максимум на ДН. Най-достоверно това може да бъде проверено за най-горния и най-долния лист на ДН от фиг. 2.

Във втория случай, когато смякваме първия лист по ъгъл на място, така че да покривем малки височини в зоната на видимост (фиг.4), $\Delta R_{\min 1}=\lambda_1/2$ трябва да приеме значение при $\Delta R_{\max 1}=\lambda_1$. Отношението между дължините на вълните е: $\lambda_2=0,5 \lambda_1$.

В честотно отношение промяната на дължината на вълната (честотата) поставя изисквания към честотната характеристика на антената. В първият разгледан случай разликата между дължините на вълните е по-малка, което допуска (в някакви граници) използването на една и съща антена.

Но за втория случай при намаляването на λ на половина амплитудно-честотната характеристика на антената не може да осигури необходимият коефициент на усилване и формата на ДН в хоризонтална равнина ще се промени, а това води до промяна във формата на зоната на откриване на РЛС.

Заклучение:

Намаляването на радиуса на мъртвия конус изисква промяна на честотата на излъчения сигнал с около 20%, което е практически реализуемо.

Управлението на положението на първия лист на ДН изисква промяна на носещата честота (дължина на вълната) с около 50%, което налага да се анализират параметрите на антенно-фидерната система по отношение на тяхното изменение.

References:

- [1]. Бартон. Д. Радиолокационное сопровождение целей при малых углах места. ТИИЭР, т.52, кн.9, 1976.
- [2]. Буров, Н.И. Маловысотная радиолокация, Москва, Воениздат, 1978.
- [3]. Василев, В.М. Устройство на радиолокационно изделие 1РЛ131, Учебно пособие, НВУ "В. Левски" -2007.
- [4]. Дамянов, Д.Д. Антени устройства. Военно издателство 1978.
- [5]. Дамянов, Д.Д. Разпространение на радиовълните, МНО 1975.
- [6]. Lecture notes from Introduction to RADAR systems, Central Florida Remote Sensing Laboratory, USA, 2003.
- [7]. Prof. David Jenn, Lecture notes from Microwave Devices & Radar, Naval Postgraduate School, 2002.