

Увеличаване на вероятността за откриване на нисколетящи цели

Автор: Полк. инж. к.т.н. Огнян Георгиев

www.novetika.com

2026-08-18

Освен временната обработка на сигналите в приемника, се извършва и оптимална обработка на сигналите в антената на РЛС, така допълнително се постига дълбока режекция на пасивните смущения

Един от сложните проблеми на борбата с нисколетящите цели (НЛЦ) е своевременното им откриване. Ето защо възможностите на противовъздушната отбрана (ПВО) в значителна степен се определят от ефективността на създаваното за тази цел нисковисочинно радиолокационно поле.

При работата на РЛС по НЛЦ специфичните затруднения, свързани с откриването на целите и насочването на конвенционалните и ракетните средства за борба се проявяват от действието на редица фактори, които могат да се сведат до:

- наличие на постилаща за РЛС повърхност;
- екраниращото влияние на местните предмети и земната повърхност;
- физическото състояние на приземния (приводния) слой на атмосферата.

Най-големи възможности за откриване на НЛЦ (по отношение разстоянието на откриване) притежават системите с въздушно базиране (например от типа на AWACS, МиГ-31, Ту-126 и други). Например РЛС на AWACS притежава възможности за откриване на НЛЦ на разстояния 300-400 км. Бойното използване и осигуряването на една такава сложна система не е по силите на държавите, притежаващи сравнително малък военно-икономически потенциал. Ето защо основен път за подобряване на характеристиките на откриване на РЛС при работата им по НЛЦ както за нашата, така и за много други страни, е усъвършенстването на наземните РЛС в съчетание с използването на стройна система от организационно-технически мероприятия.

Една от главните особености на работата на наземните РЛС по НЛЦ се състои в това, че в радиоприемното устройство заедно с отразените сигнали от целта постъпват и сигнали, които са отразени от земната (морската) повърхност. Последните оказват смущаващо влияние върху работата на РЛС и поради много голямата си интензивност (40-70dB) в сравнение с интензивността на вътрешните шумове на радиоприемното устройство, правят невъзможно отделянето на сигналите от целта по пряк път. Освен това, при планински характер на местността в зоните на РЛС за откриване и в зоните на поражение на стрелбовите комплекси се образуват дълбоки провали (брешове), които в крайна сметка обуславят и ниската ефективност на нисковисочинното радиолокационно поле като цяло.

По същество борбата за увеличаване ефективността на откриване на НЛЦ от РЛС в значителна степен се свежда до борба с неорганизираните пасивни смущения, които се създават при отражението на електромагнитните вълни (ЕМВ) от обемно или повърхностно – разпределени физически образувания. Прилагането на тактиката от противниковите средства за въздушно нападение – полет на малки височини в съвременните бойни действия, неминуемо се съпровожда от постоянното използване на

организираните активни смущения. Затова решаването на актуалната задача за борбата с НЛЦ не бива да се откъсва от решаването на задачата за откриването на целите на фона на организираните от противника активни смущения.

РЛС – пространствен и времеви канал

Представянето на структурата на РЛС като пространствено-временно типово звено, очертава два канала – пространствен и времеви. Първият включва антенната система на РЛС, а вторият – радиоприемното устройство.

В нашата и задграничната литература процесите, извършващи се в РЛС се разглеждат като функции на времето и пространството, а методите за борба със смущенията се основават изключително на времевите и пространствените различия в характеристиките на целта и смущенията.

Сравнително пълно разработената теория, основаваща се на времево разглеждане на процесите в РЛС, дава много добри резултати, когато откриването на целите се осъществява на фона на вътрешните шумове на радиоприемното устройство или на фона на стационарните времево корелирани външни пасивни смущения. Използваните антенни системи с плътна апертура, формиращи диаграми на насоченост (ДН) с различна форма (косекансна, модифицирана косекансна или със стръмен спад при малките ъгли на място, иглообразна, многолистова и с компенсация на страничните листа), заемат определено място при решаването на задачите на радиолокацията на НЛЦ. Антенните системи с плътна апертура, осъществяващи съгласувана филтрация (равномерно сумиране на сигналите от определена посока) или по определен закон не позволяват реализирането на оптимална обработка на радиолокационните сигнали на фона на външните смущения. При търсенето, съпровождането и обстрела на НЛЦ смущенията проникват както през страничните листа, така и през главния лист на ДН и в крайна сметка съгласуваната филтрация се оказва недостатъчна за съвременната радиолокация.

Подобряването на характеристиките на откриване на РЛС при решаващата роля на външните неизотропни смущения е особено актуален и доведе до изискването статистическата теория на системите за откриване да се разглежда от пространствено-времева гледна точка. Това като следствие предполага разглеждането на приеманите от антенната система сигнали като пространствено-времени и включването на **антенната система на РЛС** в единна система за обработка на радиолокационните сигнали. Потенциалните възможности при откриване на полезните сигнали на фона на външните смущения могат да се постигнат на базата на системи, извършващи съвместно пространствено-времева обработка на радиолокационните сигнали. Големите затруднения от математическо естество, срещани при синтеза на системите от указания вид и необичайно високата цена при практическа реализация обикновено ги правят почти неприложими в намиращите се на въоръжение РЛС. На практика се търсят условия при изпълнението, на които е възможно разделното извършване на оптималната пространствена и оптималната времева обработка, т.е. условия, опростяващи математическия синтез и позволяващи независимото оптимизиране на антенната система и на радиоприемното устройство.

За осъществяване на ефективно потискане на смущенията е необходимо да се осъществи ъглова режежия (провали) в ДН на антенната система, съгласувана с характеристиките на смущенията. Последното е възможно в антенни системи

дискретен тип, извършващи оптимална или близка до оптималната (квазиоптимална) пространствена обработка на радиолокационните сигнали. Създаването на провали в ДН на антенната система, съгласувани с характеристиките на смущенията, изисква разделно управление на амплитудите и фазите на токовете на възбуждане във всяка точка от апертурата, което предполага наличието на съответни устройства за решаване на тази задача. Ето защо антенните системи, осигуряващи оптимална (от гледна точка на съвкупност показатели на качеството) пространствена обработка на радиолокационните сигнали се строят на базата на антени с дискретна апертура, т.е. фазирани антенни решетки (ФАР).

Постановка на задачата за синтез на оптимална антенна система (линейна ФАР)

При откриването на импулсни радиолокационни сигнали на фона на смущенията, създавани от съсредоточени и повърхностно-разпределени обекти, полезните сигнали и смущенията имат случаен характер в апертурата на антенната система. Решават се следните задачи:

- предлага се изследване на възможностите за синтез на структурата на оптимална антенна система (ФАР) за пространствена обработка при откриването на импулсни радиолокационни сигнали на фона на смущенията, създавани от съсредоточени и повърхностно-разпределени обекти, при случаен характер на полезните сигнали в апертурата на системата. Критерий за оптималност-максимум на вероятността за правилно откриване на целта;
- определят се оптималните числови стойности на амплитудите и фазите на токовете на възбуждане в апертурата на синтезираната антенна система и се построяват съответните ДН за случаите, когато откриването на целта се осъществява на фона на смущенията, създавани от съсредоточени и повърхностно-разпределени обекти;
- провежда се математическо моделиране за проверка на някои теоретически постановки за синтез на структурата на антенна система за оптимална пространствена обработка на сигналите на фона на смущенията, създавани от съсредоточени и повърхностно-разпределени обекти.

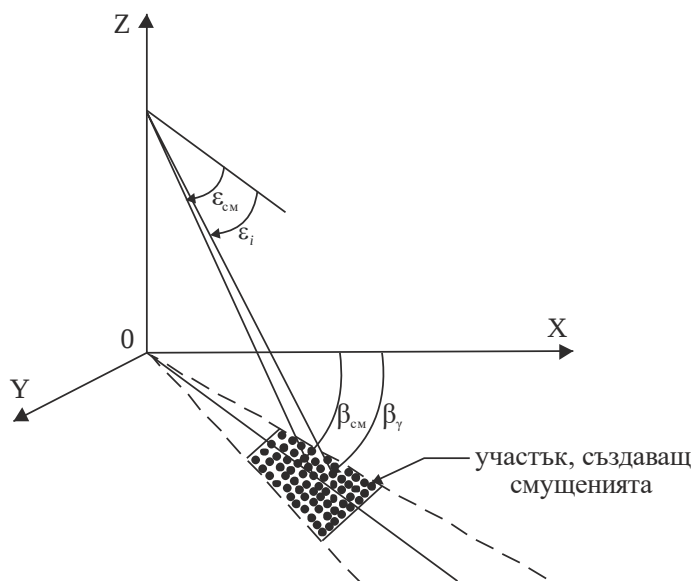
Подобряването на характеристиките на откриване на РЛС при наличие на смущения от земната (морската) повърхност може да се постигне при отчитане на цялата априорна информация за пространствените характеристики на полезните сигнали и смущенията при решаване на задачата на откриването. В общ вид задачата за откриването на пространствено-временен сигнал на фона на гаусови смущения е формулирана и решена. [1] Операциите на оптималната пространствена обработка се определят от отношението на правдоподобие за пространствената смес на полето от сигнал и смущение във фиксиран момент от времето. [1,4] ФАР осъществява дискретна извадка с краен размер от реализацията на полето в ограничена област от пространството. Описването в явен вид на отношението на правдоподобие изисква знанието на вектор-стълба на входната смес, вектор-стълба на сигналите, целта и пространствената корелационна матрица на смущенията, която може да се получи от пространствената корелационна функция (ПКФ), описваща взаимовръзката на смущението в две точки от пространството.

Определяне на пространствената корелационна функция на смущенията

Ще построим математически модел на смущенията, създавани от повърхностно-разпределени радиолокационни обекти.

Към класа на смущенията, създавани от повърхностно-разпределени обекти, спадат пасивните смущения, които се създават при отражението на електромагнитните вълни (ЕМВ) от земната и морската повърхност. Независимо от различията във физическата природа земната и морската повърхност притежават общи свойства като [3, 5]: създаваните смущения както от земната, така и от морската повърхност, представляват случаен процес с шумоподобен характер и се характеризират с нормален закон на разпределение на вероятностите; възможност за представяне структурата на земната и морската повърхност във вид на значителен брой статистически независими и приблизително еднакви по размери отражатели. Тези общи свойства позволяват разглеждането на смущенията от земната и морската повърхност от обща гледна точка.

За получаването на математически изрази, описващи отразения сигнал от повърхностно-разпределен обект, ще използваме следната постановка: отражението на ЕМВ се осъществява от значителен брой статистически независими отражатели, приблизително еднакви по размери (фацетен модел) [3]; диаграмата на насоченост (ДН) на неподвижна РЛС е отклонена от нормалата т.е. участъкът създаващ смущенията, се ограничава от ширината на ДН (фиг. 1); участъкът, създаващ смущенията, е плосък и разположен в зоната на Фраунхофер (далечната зона на антената). Използването на такъв модел на базата на централната гранична теорема на Ляпунов гарантира нормален закон на разпределение на вероятностите на отразените сигнали.



Фиг. 1 Участъкът създаващ смущенията, се ограничава от ширината на ДН

Ако разбием отфилтрираното от ДН пространство на елементарни телесни ъгли така, че във всеки един елементарен телесен ъгъл да попада по един статистически независим

отражател, то даден отражател ще се визира под ъгли β_γ, ϵ_i . За определяне вида на пространствено-временната корелационна функция (ПВКФ) на смущенията от повърхностно-разпределен обект ще бъде използвана класическата постановка [4,5]

при изпълнение на условията за мултипликативно представяне на отразените сигнали (това се осъществява при теснолентови отразени сигнали), т.е.

$$R_{kl}(t_1, t_2; k, l) = \overline{N_k^{cm}(t_1, k) N_l^{*cm}(t_2, l)} = R_{kl}(t_1, t_2; k, l) = \overline{N_k^{cm}(t_1, t_2)} \overline{N^{cm}(k, l)}, \quad (1)$$

където: N_l^{cm} – напрежение на смущенията в l -тия елемент на ФАР N_k^{cm} – напрежение на смущенията в k -тия елемент на ФАР. След отчитане статистическата независимост на отделните отражатели и вида на отразените сигнали за ПВКФ на смущенията, приемани в k -тия и l -тия елемент на ФАР, пренебрегване закъснението на обвиващата (при теснолентовост) на отразените сигнали по апертурата на ФАР (антената е с неголеми геометрични размери, например до 10 м), ПВКФ е мултипликативно отделима и може да се представи във вида:

$$R_{kl}(t_1, t_2; k, l) = 2\sigma_{cm}^2 r(\tau') \rho_{kl}(\beta) \rho_{kl}(\varepsilon), \quad (2)$$

където: $2\sigma_{cm}^2$ – пълна мощност на смущенията; $r(\tau')$ – коефициент на временна корелация; $\rho_{kl}(\beta)$, $\rho_{kl}(\varepsilon)$ – коефициенти на пространствена корелация в равнините β и ε .

По-нататък ще се ограничим до синтеза на оптимална ФАР само в ъгломестна равнина, т.е. в равнина ε . При синтеза на структурата на оптималните антенни системи, осъществяващи пространствена обработка на сигналите на фона на смущенията от повърхностно-разпределени обекти особено значение има вида на (ПКФ) на смущенията. Последната може да се получи от общия израз за ПВКФ (2), разглеждайки

процесите в РЛС във фиксиран момент от времето t_0 при следните условия: ДН на антенната система е тясна ($5^\circ \div 6^\circ$); използват се пространствените честоти, ограничаващи по ъгъл на място участъка, създаващ смущенията; видът на ПКФ се определя в апертурата на линейна АР. При тези условия, като се има предвид, че на практика мощността на смущенията от повърхностно-разпределени обекти се определя не като сума от мощностите на отделните елементарни отражатели, а като мощност на смущение, което се създава от единичен отражател, но с определена ЕОП, за коефициента на пространствена корелация на смущенията по ъгъл на място се подхождаме по следният начин: Сигналят от смущението в елемент с координата z_1 има вида:

$$n(z_1) = 2\sigma_{cm}^2 e^{-j \frac{\omega_0}{c} z_1 \sin(\varepsilon_{cm})};$$

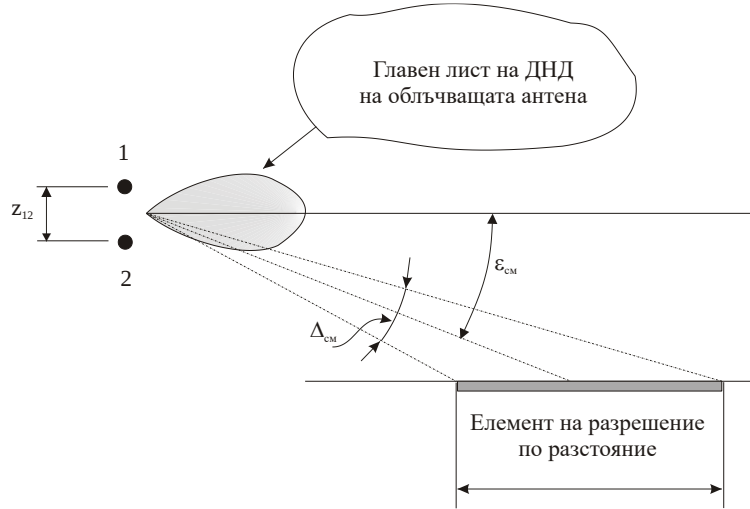
сигналят от смущението в елемент с координата z_2 има вида:

$$n(z_2) = 2\sigma_{cm}^2 e^{-j \frac{\omega_0}{c} z_2 \sin(\varepsilon_{cm})}.$$

Тогава за ПКФ при отчитане на ширината на участъка (фиг.1), създаващ смущенията (интересуваме се само от крайните пространствени честоти) получаваме израз:

$$R_{12}(\varepsilon) = 2\sigma_{cm}^2 \left(e^{-j\frac{\omega_0}{c} z_{12} \sin(\varepsilon_{cm} - \Delta_{cm})} + e^{-j\frac{\omega_0}{c} z_{12} \sin(\varepsilon_{cm} + \Delta_{cm})} \right), \quad (3)$$

където: ε_{cm} – ъгъл, под който се визира центърът на участъка, създаващ смущенията;
 Δ_{cm} – ширина на участъка, създаващ смущението. Изразът (3) е валиден за физическата постановка, заложена във фиг. 2. При откриването на НЛЦ, както е известно, същите се визират под ъгли на място $1^\circ \div 3^\circ$, а смущенията под около -0.5° [5]. Физическата постановка за разглеждания случай (откриване на НЛЦ) има вида от фиг. 2.



Фиг. 2 Физическата постановка за синтез на ФАР при откриване на НЛЦ

Нека представим получената ПКФ във вида:

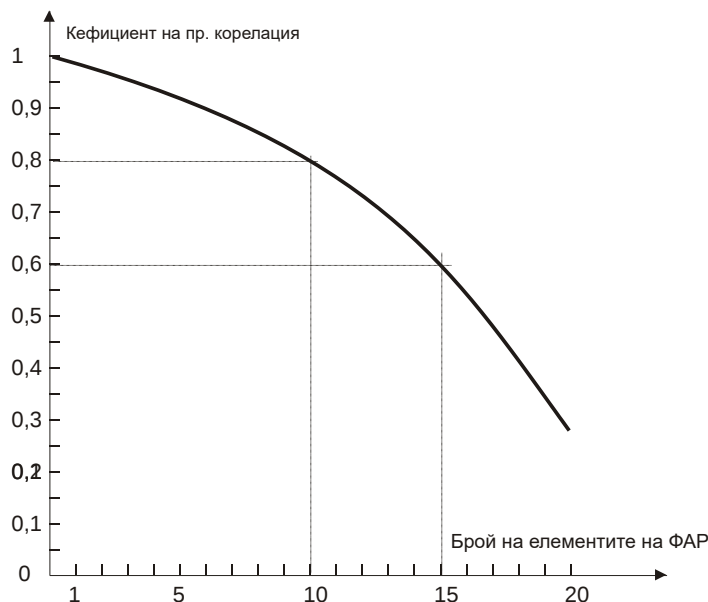
$$R_{12}(\varepsilon) = 2\sigma_{cm}^2 \left(e^{-j\frac{\omega_0}{c} z_{12} [\sin \varepsilon_{cm} \cos \Delta_{cm} - \cos \varepsilon_{cm} \sin \Delta_{cm}]} + e^{-j\frac{\omega_0}{c} z_{12} [\sin \varepsilon_{cm} \cos \Delta_{cm} + \cos \varepsilon_{cm} \sin \Delta_{cm}]} \right) \quad (4).$$

При отчитане, че $\Delta_{cm} \ll$, то $\sin \Delta_{cm} \approx \Delta_{cm}$. Тогава получаваме следният израз за ПКФ:

$$R_{12}(\varepsilon) = \sigma_{cm}^2 \cos \left(\frac{\omega_0}{c} z_{12} \Delta_{cm} \cos \varepsilon_{cm} \right) e^{-j\frac{\omega_0}{c} z_{12} \sin \varepsilon_{cm}} \quad (5).$$

Коефициентът на пространствена корелация в ъгломестна равнина се описва от изказа:

$$\rho_{12}(\varepsilon) = \cos \left(\frac{\omega_0}{c} z_{12} \Delta_{cm} \cos \varepsilon_{cm} \right) e^{-j\frac{\omega_0}{c} z_{12} \sin \varepsilon_{cm}} \quad (6).$$



Фиг. 3 Вид на коефициент на пространствена корелация на смущение с ширина $\Delta\text{см} = 0.02$ [rad], $\lambda = 0.03$ [m] и разстояние между елементите на ФАР $d = 0.015$ [m]

Така полученият израз за ПКФ (и представен графически на фиг. 3) съвпада с резултата, даден в [4], но включва наклона на антената и участъка, създаващ смущенията.

Изводи:

- при използване на теснолентови сондиращи сигнали ПВКФ на сигналите е мултипликативно отделима;
- отразените (излъчени) сигнали от съсредоточен обект се характеризират със силна пространствена корелация в елементите на приемната АР и по аналогия с временната теория на разглеждане процесите в РЛС могат да се наричат бавно флукутиращи в апертурата на АР;
- при използването на теснолентови сондиращи сигнали ПВКФ на смущенията от повърхностно-разпределени обекти може да се представи във вид на произведение от временната корелационна функция и пространствените корелационни функции в ъгломестна и азимутална равнина;
- ПКФ функция на смущенията от повърхностно-разпределени обекти се намира в обратна зависимост от ъгловата ширината на смущението и ъгъла на неговото визиране спрямо нормалата;
- на базата на условията за разделяне на пространствено-временната обработка на сигналите е възможно синтезирането на оптимална антенна система за откриване на полезни сигнали на фона на смущения с произволни корелационни свойства, позволяваща независимото използване на временните методи за борба със смущенията (например СДЦ, ВАРУ, МАРУ и други).

Решаването на задачата за синтез на оптимална антенна система за пространствена обработка на сигналите, предназначена за откриване на НЛЦ, може да бъде сведена до

решаването на задачата за откриване на полезен пространствен сигнал на фона на смущения, които се характеризират с произволна пространствена корелация.

За решаването на задачата от указания вид, най-удобна е обобщената теория на статистическата пространствено-временна филтрация, предполагаща, че качеството на решението се оценява от единствения показател – максимум на вероятността за правилно откриване.

Освен това, за да се осъществи синтезът на оптималната антенна система е необходимо да се наложи следната съвкупност от ограничения и условия за работа на системата: полезният сигнал, външните смущения и вътрешните шумове на антенните елементи да образуват адитивна смес; антенната система да бъде настроена на необходимата поляризация; смущенията от земната повърхност се олицетворяват от т.н. фацетен модел.

Успехът както на синтеза, така и на анализа на каквато и да е система в значителна степен зависи от избрания математически модел, описващ условията за работа и протичащите процеси в самата система. Към математическите модели се предявяват противоречиви изисквания. От една страна, моделите трябва да отразяват колкото е възможно по-пълно условията за работа и процесите в системите, а от друга страна моделите трябва да притежават простота на математическото изложение. Математичен модел на сигнала от съсредоточени в пространството радиолокационни обекти (цели).

Определяне на пространствената корелационна функция на целта

При определяне вида на отразения сигнал от подвижен съсредоточен обект, приеман в апертурата на линейна ФАР, ще се изхожда от обобщения израз [5]:

$$M(x, y, z, t) = M(t - \tau) \exp[-j(\omega_0 - \Omega_D)t] \exp\left[j \frac{\omega_0}{c} (x \cos \beta_u + y \sin \beta_u + z \sin \varepsilon_u)\right], \quad (7)$$

при изпълнение на предположението $x = y = 0$. Тогава за сигнала от съсредоточен подвижен обект приеман в апертурата на линейна ФАР се получават изразите:

$$\begin{aligned} S(t) &= S(t - \tau) e^{-j(\omega_0 - \Omega_D)t} \\ S(z) &= S e^{j \frac{\omega_0}{c} z \sin \varepsilon_u} \end{aligned}, \quad (8)$$

където: Ω_D – доплерова честота, получаваща се вследствие движението на целта.

За определяне вида на ПКФ на отразения (излъчен) сигнал от подвижен съсредоточен обект (цел) ще се използва класическата постановка, при изпълнение на условията за мултипликативно представяне на сигнала, и отчитане на факта, че обектът (целта) има много малки ъглови размери т.е. $\Delta z \ll$. Тогава, използвайки полученият резултат за ПКФ (коефициента на корелация) на смущенията от повърхностно-разпределен обект (6), т.е.

$$\rho_{12}(\varepsilon) = \cos\left(\frac{\omega_0}{c} z_{12} \Delta z \cos \varepsilon_{cm}\right) e^{-j \frac{\omega_0}{c} z_{12} \sin \varepsilon_{cm}}, \quad \text{при } \Delta z \ll \text{ получаваме:}$$

$$\rho_{12u}(\varepsilon) = 1.e^{-j\frac{\omega_0}{c}z_{12}\sin\varepsilon_{cm}}, \text{ (сигналите от целта са силно корелирани).}$$

Структура на оптимална антенна система за пространствена обработка

Структурата на оптимална антенна система за пространствена обработка при произволни корелационни свойства на полезните сигнали и смущенията може да се определи на базата на отношението на правдоподобие, разпространено върху пространственото поле на входната смес, състояща се от полезни сигнали, външни смущения и шумовете на антенните елементи [1,5]. След отчитане монотонния характер на отношението на правдоподобие то се определя от израза [1,5]:

$$\ln \Lambda(\|Y\|) = -\|Y\|^T \|R^{-1}\| \|S\| - \frac{1}{2} \|S\|^T \|R^{-1}\| \|S\|, \quad (9)$$

Тук са обозначени:

$\ln \Lambda(\|Y\|)$ – *логаритъм на натураленна отношението на правдоподобие*,
 $\|Y\|^T$ – *транспониран вектор – стълб на входната смес от полезен сигнал, смущения и вътрешен шум на приемника*,
 $\|R^{-1}\|$ – *обратна корелационна матрица на смущението*,
 $\|S\|$ – *вектор – стълб на полезния сигнал*.

Следователно, определянето на структурата на оптималната антенна система на базата на отношението на правдоподобие, което представлява математическо олицетворение на системата за оптимална пространствена обработка.

В случай на гаусово смущение отношението на правдоподобие се описва във вида:

$$\ln \Lambda(\|Y\|) = -\|Y\|^T \|R^{-1}\| \|S\| - \frac{1}{2} \|S\|^T \|R^{-1}\| \|S\|, \quad (10)$$

Т.е. оптималната обработка е линейна и се свежда до корелационна. В израз (10) всички компоненти в дясната част са комплексни величини. Обозначено е: $\|Y\| = \|S\| + \|n\|$;

$\|n\|$ – *вектор-стълб на смущението, включващ външното смущение и собствените шумове на приемника*, $\|n\| = \|n_{cm}\| + \|n_{ш}\|$;

$\|S\|$ – *вектор-стълб на очаквания сигнал, чийто елемент* $S_i = S_0 e^{j\frac{\omega_0}{c}z_i \sin\varepsilon_{u_i}}$.

Изразът в (10)

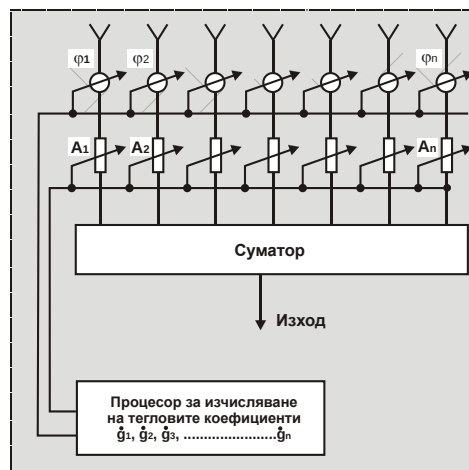
$q = \|Y\|^T \|R^{-1}\| \|S\|$ (11) определя вида на обработката, а

$\mu = \|S\|^T \|R^{-1}\| \|S\|$ (12) – представлява отношението сигнал/смущение на изхода на ФАР.

Системата за оптимална обработка осъществява умножение на векторът на входният сигнал с вектора на оптималните теглови коефициенти на обработката, определящи се от израза:

$$\|G\| = \|R^{-1}\| \|S\|, \quad (13)$$

По същество, разглежданият подход при определяне на оптималните теглови коефициенти е широко известният Редово-стълбов алгоритъм, използван в американската система за ПВО ЗРС PATRIOT-PAC 3 (РЛС AN/MPQ-53). В ЗРС С-300 ПМУ е заложен последователен алгоритъм. Векторът на тегловите коефициенти на оптималната пространствена обработка е оптималното амплитудно-фазово разпределение в апертурата на ФАР, определящо оптималната диаграма на насоченост (ДН) на антената. Оптималността на амплитудно-фазовото разпределение в апертурата на ФАР и нейната ДН, т.е. пространствената обработка, осъществявана от такава антена на фона на смущенията следва от това, че те са получени по критерия на максимума на отношението на правдоподобие [1, 2, 4].



Фиг. 4 ФАР за оптимална пространствена обработка на сигналите на фона на смущения с произволна пространствена корелация

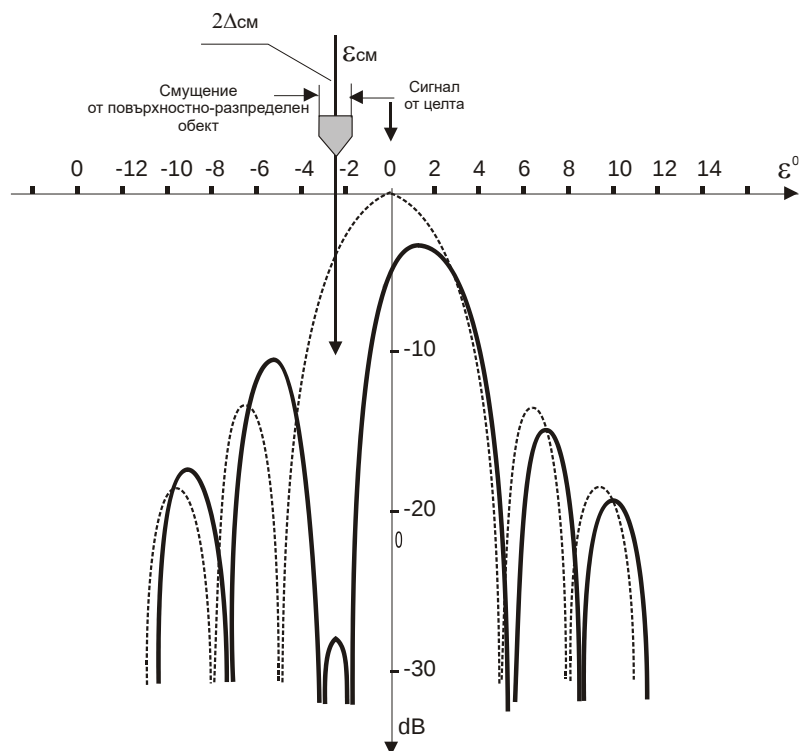
Трябва да отчетем, че коефициентите на оптималната теглова обработка са комплексни величини, затова те могат да се реализират чрез последователно свързване на атенюатор (усилвател) и фазорегулатор. По-нататък ще се използват при синтеза атенюатори. По такъв начин в структурата на ФАР с фазово управление трябва да се добави атенюатор, което не е трудност. Следователно ФАР за оптимална пространствена обработка на сигналите на фона на смущения с произволна пространствена корелация придобива вида от фиг. 4.

Резултати от численото моделиране

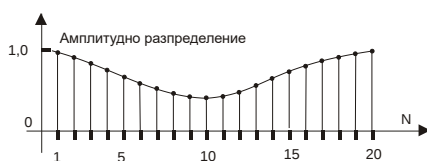
За получаване на числени резултати от синтеза е проведено числено моделиране на РС. При следните данни: дължина на вълната $\lambda=0.03[\text{m}]$; разстояние между елементите на

ФАР $d = \lambda/2 = 0.015[\text{m}]$; брой на елементите на ФАР $N=20$; отношение на мощностите на смущението и шума $=10^4$; ъглова ширина на смущението $2\Delta\epsilon_m = 15\%$. $\theta_{ДН}$ (фиг. 5). На фиг. 5 с плътна линия е представен видът на получената ДН, формирана от синтезираната ФАР. С пунктирна линия е показана ДН на ФАР, оптимална за работа на фона на пространствен шум (без външни смущения), т.е. ФАР с равно-амплитудно и линейно-фазово захранване на елементите (съгласувана ДН, по аналогия на СФ за откриване на сигнал на фона на „бял“ шум). Вижда се че, по посока на смущенията се формира дълбок провал, който осигурява високо отношение сигнал/смущение на изхода на оптималната ФАР. Провалът в ДН по посока на смущенията довежда до изкривяване посоката на максимума на ДН, нарастване нивото на първия страничен лист от -13,2 dB до -10,5dB, а усиляването в главния лист леко спада.

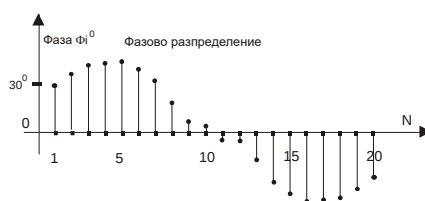
Тези деформации са недостатъци на синтезираната ФАР и са резултат от лошото използване на **разкрива** на антената (виж амплитудното разпределение, което е нарастващо към краищата на антената фиг. 6. Този недостатък се компенсира с полученото много високо отношение сигнал/(смущение+шум) на изхода на антената.



Фиг. 5 Резултат от моделирането на ФАР за оптимална пространствена обработка на полезен сигнал на фона на пространствено-разпределени смущения



Фиг. 6 Амплитудно разпределение в апертурата на ФАР



Фиг. 7 Фазово разпределение в апертурата на ФАР

На фиг. 6 и фиг. 7 са показани изчислените амплитудно и фазово разпределение в апертурата на ФАР. От теорията на антените е известно че, е нарастващо към краищата амплитудно разпределение довежда до нарастване нивото на страничните листа на ДН.

Извод: в резултат на дълбокият провал в ДН на антената смущението претърпява силна режекция, т.е. отношението сигнал/смущение + шум нараства многократно.

Литература

- [1] Фалькович С.Е., Оценка параметров сигнала. М., Сов. радио, 1970;
- [2] Буров Н.И., Маловысотная радиолокация. М., 1977;
- [3] Зубкович С.Г., Статистические характеристики сигналов, отраженных от земной поверхности. М., Сов. радио, 1968;
- [4] Самойленко В.И., Углов О.Д., Оптимальная пространственная обработка сигнала на фоне помех от подстилающей поверхности. Изв. ВУЗОВ СССР сер. Радиоэлектроника, 1979, №2.;
- [5] Георгиев О.К., „Оптимизиране антените на РЛС за откриване на ниско летящи цели”, Дисертация за присъждане на научна степен Доктор София.;
- [6] О. Г. Вендик, „Фазированная антенная решетка-глаза радиотехнической системы” Санкт-Петербургский электротехнический университет, 1997;
- [7] Вендик О. Г., Антенны с немеханическим движением луча: Введение в теорию. М.: Сов. Радио, 1965.