

*Todor G. Peshev,*

## **RADAR SYSTEM WITH SYNTHESIZED ANTENNA APERTURE**

**Todor G. Peshev**

*Faculty of Artillery, Air Defense and Communication and Information Systems,  
National Military University, Shumen, Bulgaria, [iviv58@abv.bg](mailto:iviv58@abv.bg)*

**Abstract:** *The report addresses the problems of radar with a synthesized antenna aperture in the arbitrary motion of the aircraft under turbulent atmospheres and the presence of trajectory instabilities and elastic oscillations of the structure. Methods are proposed to compensate for these effects and to improve the quality of the radar image.*

**Key Words:** *synthesized antenna aperture, trajectory instabilities, elastic oscillations of the structure.*

## **РАДИОЛОКАЦИОННА СИСТЕМА СЪС СИНТЕЗИРАНА АПЕРТУРА НА АНТЕНАТА**

**Тодор Г. Пешев**

*Факултет „Артилерия, ПВО и КИС”  
Национален военен университет „В. Левски”, Шумен, България, [iviv58@abv.bg](mailto:iviv58@abv.bg)*

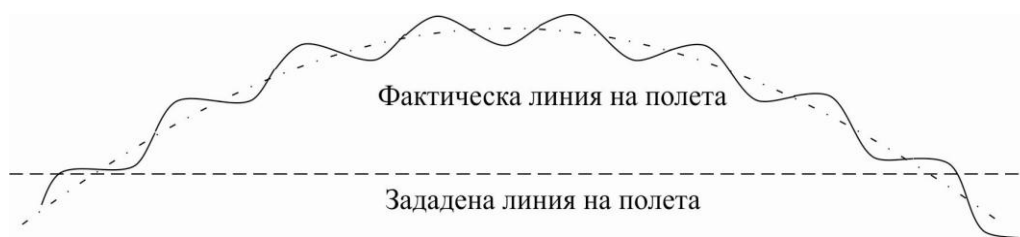
### **Въведение**

При формиране на радиолокационното изображение (РЛИ) в радара със синтезирана апертура на антената се извършва управление както на реалната така и на синтезираната диаграма на насочено действие. Законите за управление се определят от зададения вид на обзор на земната повърхност при това сканирането на синтезираната диаграма на насочено действие (СДНД) се извършва посредством използването на специфични опорни функции. Независимо от вида за обзор на земната повърхност характера и параметрите на сигналите за управление се диктуват или от наличните априорни данни за режима на полет или по измерените параметри за движение на ЛА. Ако вида на фазовия център на антената (опорната траектория на полет на ЛА) е фиксиран и известен то опорната функция за синтезиране на ДНД може да се въведе предварително в паметта на системата за обработка на сигнала и получаване на РЛИ. При произволна траектория на движение на ЛА, когато тя се изменя от един интервал на синтезиране към следващ то следва опорната функция за обработка да се изчислява за всеки интервал на синтезиране по време на полета на основата на измерване на параметрите за движение на ЛА.

В качеството на фиксирана траектория обикновено се използва праволинейна траектория с постоянна скорост на движение на ЛА. При страничен обзор на земната повърхност в простия случай за получаването на РЛИ по принцип се изисква да се измерва само пътната скорост  $V_n$  на ЛА. На практика обаче нито един вид ЛА не може да лети равномерно и праволинейно в строгия смисъл на думата и особено това важи за най-разпространения носител на РСА – самолета. Това се дължи на факта, че полета на самолета в атмосферата се получава непрекъснато изменение на

посоката и скоростта навътъра, атмосферното налягане, плътността на въздуха и други подобни в резултат на което възникват случайни отклонения на режима на полета от зададения. Системата за управление на самолета от една страна не винаги успява да реагира на тези изменения и да поддържа автоматично зададения режим на полет на ЛА, но от друга страна самата тя въвежда елементи на случайност в движението му. Най-ярък пример в това отношение се явяват грешките на пилотирането от страна на летеца. Всички случайни отклонения от зададения режим на полет е прието да се наричат **траекторни нестабилности** (ТН). По важни от тях са: отклонение на ЛА от зададената траектория на полета; неговите ъглови колебания; случайното изменение на величината и посоката на вектора на скоростта и други.

Траекторните нестабилности са реакция на самолета като твърдо тяло на въздействието на турбулентната атмосфера и шумовете на системата за управление. Наред с това следва да се има предвид и факта, че конструкцията на самолета е гъвкава (еластична). Еластичните колебания на елементите от конструкцията на самолета под действието на аеродинамическите сили при полета в турбулентна атмосфера се наричат **еластични колебания на конструкцията** (ЕКК). В реални условия на полета ТН и ЕКК се проявяват едновременно и предизвикват случайни отклонения на траекторията на фазовия център на антената от зададената. Това е представено на фиг. 1, където с прекъснатата линия е показана зададената линия на полета (ЗЛП), а с пунктирна линия – отклонението от нея в следствие на ТН, а с непрекъснатата линия – фактическата линия на полета (ФЛП) с отчитане на ТН и ЕКК.

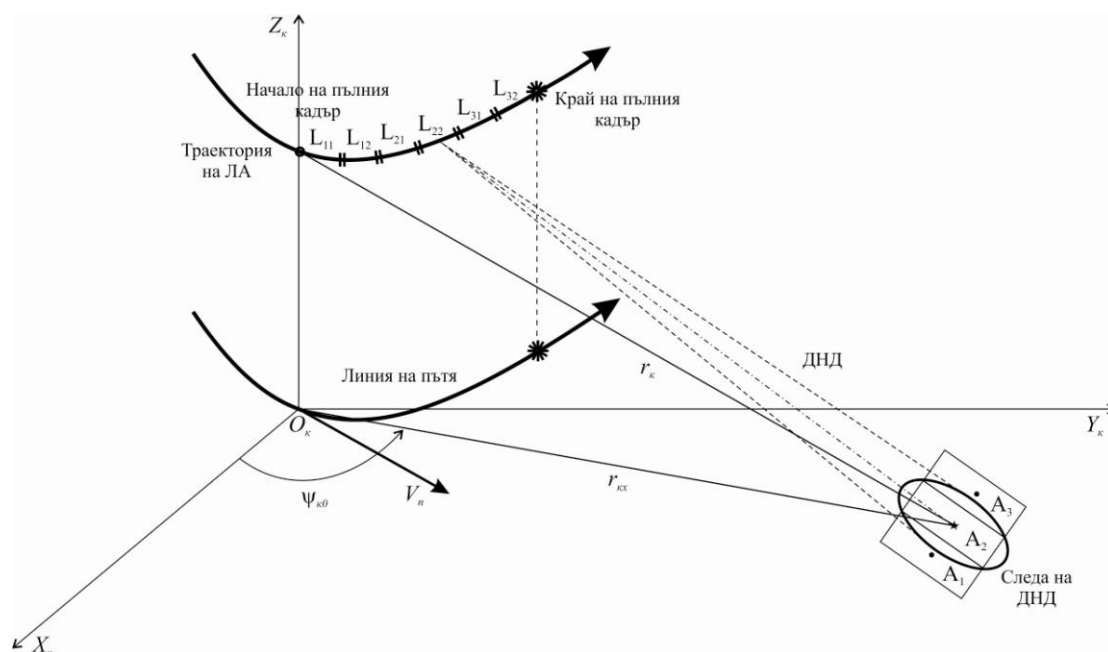


**Фигура 1.** Вид на зададената и фактическата линия на полета.

При фиксирана опорна траектория ТН и ЕКК предизвикват амплитудни и фазови изкривявания на отразените сигнали в РСА, които се наричат траекторни изкривявания. В резултат на тези изкривявания оптималността в обработката на сигналите в РСА се нарушава. С увеличаване интензивността на тези изкривявания се влошава разделителната способност на РСА по азимут, увеличават се грешките в определянето на местоположението на обектите, свива се динамическия диапазон на сигнала на РЛИ. В някои случаи РЛИ може напълно да се разруши [6, 2]. В резултат на теоретическите [5] и експериментални [3] изследвания, а така също и от цифровото моделиране [6] е доказана невъзможността да се осигури устойчиво РЛИ без прилагането на специални мерки по отношение на ТН и ЕКК. В тази връзка възниква проблема за тяхната компенсация. Възможен вариант за решаването на този проблем е постоянното измерване на параметрите на движение на ЛА и изчисляването на тяхна база на отклонението на фазовия център на антената от опорната траектория и корекция на отразения сигнал с отчитане на това отклонение. На свой ред възниква въпросът за състава, структурата и характеристиките на измерителя на параметрите на движение (ИПД) на ЛА. За да се покаже ролята и мястото на ИПД при формирането на пълния кадър на РЛИ ще се разгледа работата на РСА при страничен обзор в случай на некохерентно натрупване на сигнала на РЛИ в парциалните кадри.

В момента на начало на формиране на пълният кадър на РЛИ в наземната свързана координатна система (НЗСК),  $Y_k, O_k, X_k, Z_k$  (фиг. 2) наречена система на координатите на кадъра се задава азимуталния ъгъл на кадъра  $\psi_{k0}$  и хоризонталното  $r_{kx}$  или наклоненото  $r_k$  разстояние до центъра на участъка от местността, съответстващ на пълния кадър (т.  $A_2$  на фиг. 2). Зададените така също разделителна способност по разстояние и азимут се поддържат постоянни за цялото време на формиране на кадъра  $T_k$ . Постоянството в разделителната способност по азимут се постига посредством изменение на интервала за синтезиране при различни ъгли на наблюдение. По нататък

пълният кадър на РЛИ се разделя на парциални кадри и се изчисляват координатите на центровете на всеки парциален кадър. На фиг. 2 са показани три парциални кадъра с центрове  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$ . След това ДНД се установява на линията  $ЛА - A_1$  и се извършва запис на отразения сигнал. Управлението на ДНД се осъществява по такъв начин, че за цялото време на интервала на синтезиране (ИС) да се извършва облъчване на участъка от местността съответстващ на парциалния кадър. За да се осъществи следене на изменението на разстоянието от ЛА до центъра на парциалния кадър се изчислява пътя на ЛА в НЗСК  $Y_k, O_k, X_k, Z_k$ . Едновременно със записа на отразения сигнал по данните от ИПД се извършва и изчисление на опорната функция за обработка на сигнала в РСА. След което по избрания алгоритъм за обработка се формира сигнала на РЛИ на парциалния кадър. На следващия етап процесът на формиране на сигнала на РЛИ се повтаря или за същия парциален кадър, осигурявайки некохерентно натрупване или за следващия парциален кадър.



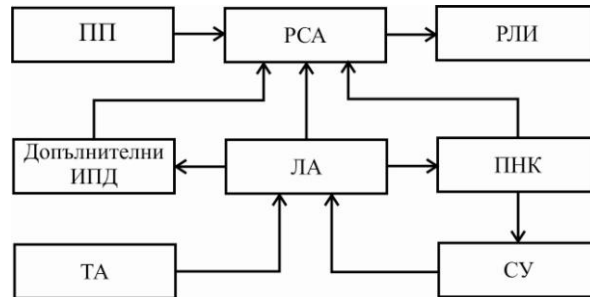
**Фигура 2.** Схема за формиране на пълния кадър при секторен обзор.

Общият брой на формираните в РСА парциални кадри  $N_{нк}$  зависи от броя на некохерентни натрупвания  $N_n$  и броя парциални кадри в пълния кадър на РЛИ  $N_k$  т.е.  $N_{нк} = N_k N_n$ . Обикновено в практиката за увеличаване на вероятността за откриване и намаляване петнитостта на изображението се извършва три или четирикратно некохерентно натрупване ( $N_n = 3 - 4$ ). На фиг. 2 е представен случай на двукратно натрупване  $N_n = 2$ , броя на парциалните кадри е  $N_k = 3$  то общия брой на парциалните кадри  $N_{нк} = 6$ . Необходимо е да се добави и факта, че следенето за изменението на разстоянието до центъра на пълния кадър се извършва за времето на формиране му, а до центъра на парциалния кадър – за времето на некохерентното натрупване  $T_n$ .

Особено важно е да се подчертае, че при полет на ЛА в турбулентна атмосфера по сложна траектория се увеличават ТН и ЕКК. Ето защо при структурирането (изчисляването) на опорната функция за обработка в РСА на всеки ИС се извършва с отчитане именно на ТН и ЕКК. А това от своя страна очевидно изисква при синтезирането на апертурата на антената и получаването на сигнала на РЛИ постоянно измерване на параметрите за движение. Използването на щатното пилотно-навигационно оборудване на ЛА, но повечето случаи то не е проектирано за съвместна работа с РСА [1]. Възниква въпроса за допълнителни измерители и тяхното съвместяване с щатните. По този начин РСА се оказва част от сложна радиолокационна система [4] със синтезирана апертюра на антената. Блоквата схема на такава сложна радиолокационна система е показана на фиг. 3.

Основната задача на РСА е преобразуването на подстилащата повърхност (ПП) в РЛИ, показана с връзката ПП-РСА-РЛИ. На ЛА в общия случай му въздействат както системата за управле-

ние (СУ) така и турбулентната атмосфера (ТА). Информация за параметрите на движение на ЛА постъпват от щатния пилотажно-навигационен комплекс (ПНК), но и от допълнителните ИПД. Посоченият модел на сложна радиолокационна система със синтезирана апертура на антената позволява използването на системния подход за изследвания, разработка и изпитания на РСА. Това е възможно само при условия, че са известни моделите на елементите на тази система и особено на самата РСА, на летателния апарат, на измерителите и техните грешки [2].



**Фигура 3.** Блокова схема на модела на РЛС със синтезирана апертура.

Моделът за движение на всяка точка от ЛА може да се получи посредством обединяване на зададената траектория и случайните отклонение от нея, като ТН и ЕКК в частност на първо приближение може да се приемат като стационарен случаен процес с нулево математическо очакване и съответната корелационна функция на линейните и ъглови отклонения съгласно израза [6]:

$$R_i(\tau) \approx D_i \exp\left\{-\frac{\tau^2}{T_i^2}\right\} \cos\left(\frac{\pi\tau}{2\tau_i}\right),$$

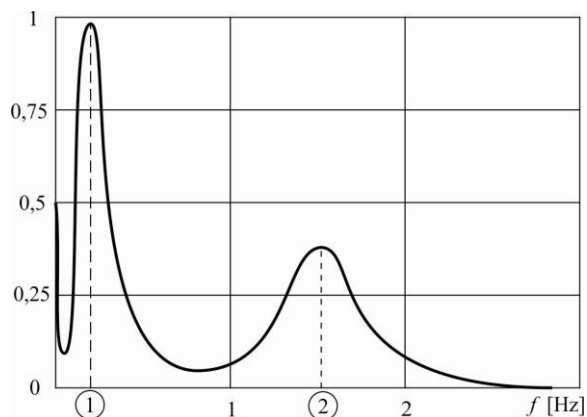
където:  $D_i$  – дисперсия на линейното или ъглово отклонение;

$T_i, \tau_i$  – параметри на функцията на корелация, където  $T_i \gg \tau_i$ .

Средно-квадратичните стойности на линейните отклонения предизвикани от ТН са в порядъка на от единици до десетки метри, ъгловите отклонения по крен и курс са в границите на  $1^0 - 2^0$  (по тангаж са от 3-5 пъти по-малки), а за еластичните колебания - десетки части от милиметъра до няколко сантиметра в зависимост от еластичността на конструкцията и положението на самолета. Разбира се конкретните параметри на ТН и ЕКК зависят от типа на самолета.

Самолетът може да се разглежда като филтър на входа на който постъпва случаен сигнал във вид на въздействие вследствие наличието на турбулентна атмосфера. В този случай самолетът като носител на РСА може статистически да се опише посредством АЧХ по отклоненията на фактическата траектория на полета от зададената. Пример на нормирана АЧХ на хипотетично тежък самолет е представена на фиг. 4. На фигурата с цифрата 1 е отбелязана честотата на колебания на самолета като твърдо тяло (ТН), а с цифрата 2 – честотата на еластичните деформации (ЕКК) с нисък тон.

Щатните навигационни системи (ИНС и ДИСС) за предназначени за решаването на основната задача на навигацията – определяне с минимална грешка местоположението на ЛА в географската (или ортодромичната) система от координати. ТН и ЕКК водят само до влошаване на точността на работа на тези системи. В тази връзка обикновено лентата на пропускане на тези системи се избира достатъчно тясна и е изчислена за пропускане само на нискочестотните отклонения на ЛА, което осигурява по-висока точност на навигацията. Тези системи сами по себе си имат постоянни и нискочестотни грешки, което води до това, че и допълнителните ИПД по отношение на РСА също притежават постоянни, нискочестотни и теснолентови грешки.



**Фигура 4.** АЧХ по отклоненията на хипотетично тежък самолет.

При определяне на състава и характеристиките на допълнителните измерители на параметрите за движение следва да се отчита и факта, че юатните навигационни системи се разполагат на самолета близо до центъра на масата му, а антената на РСА често е изнесена далеч от тях напред. Параметрите за движение на антената поради тази причина може значително да се различават от параметрите за движение на центъра на масата поради ъгловите и еластичните колебания на ЛА. В тази връзка закрепването на антената на РСА се прави на сечения с възможно най-малки еластични колебания, а допълнителните измерители се разполагат по възможност близо до самата антена на РСА.

### **Заклучение**

Следва да се отбележи, че неточното отчитане на траекторията за движение на ЛА се явява не единственият източник за изкривяване на сигнала на РЛИ. В изкривяването му свой принос имат атмосферните нееднородности (тропосферните флукуации на амплитудата и фазата), приемо-предавателната част на РСА (апаратурните флукуации), а така също и самите облъчвани обекти (флукуации на преотражението). Средно-квадратичната грешка от изкривяването на фазата поради действието на тези източници може да достигне до няколко градуса, а средно-квадратичната грешка от изкривяването на фазата поради действието на ТН, ЕКК и грешката на датчиците да достигне до десетки или стотици градуси, което е значителна грешка [3]. Във връзка с това при изследванията и разработката на РСА една от главните задачи пред конструкторите е намаляване на средно-квадратичната грешка при измерване траекторията на фазовия център на антената до нивото на средно-квадратичната грешка на другите източници на изкривявания в сложната радиолокационна система със синтезирана апертура на антената.

### **References**

1. Ахметьянов В.Р., Пасмуров А.Я., Пономаренко А.П., Цифровые методы получения изображений с помощью космических радиолокационных станций с синтезированной апертурой, Зарубежная радиоэлектроника, бр.5 1995.
2. Белоцерковский С.М., Толстов Е.Ф., Системный подход к исследованиям РЛС с синтезированной апертурой, Радиотехника, т.37 1992.
3. Богачев А.С., Толстов Е.Ф., Компенсация траекторных искажений сигналов в радиолокационных станциях с синтезированной апертурой антенны, Зарубежная радиоэлектроника, бр. 3 1991.
4. Михалевич В.С., Волкович В.Л., Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем, М, Наука, 1992.
5. Радиолокационные станции обзора земли. Под ред. Кондратенкова Г.С., М, Радио и связь, 1993.

6. Титов М.П., Толстов Е.Ф., Фомкин Б.А., Синтезирование апертуры антенны при полете самолета в турбулентной атмосфере, М, Вопросы кибернетики, 1993.