

**ИЗСЛЕДВАНЕ ШУМОУСТОЙЧИВОСТТА  
НА МОНОИМПУЛСНА СИСТЕМА ЗА ПОЛУАКТИВНО  
САМОНАСОЧВАНЕ**

**Георги Сотиров, Слави Славов**

*Институт за космически изследвания – БАН, ул. Московска №6, 1000 София*  
[gsotirov@space.bas.bg](mailto:gsotirov@space.bas.bg)  
*Институт по металознание – БАН, бул. Шипченски проход № 67, 1574 София*  
[sslavov@ims.bas.bg](mailto:sslavov@ims.bas.bg)

**JAMMING RESISTANCE STUDY OF MONOPULSE SEMIACTIVE  
GUIDANCE SYSTEM**

**Georgi Sotirov, Slavi Slavov**

*Space Research Institute- BAS, 6 Moskovska Str., 1000 Sofia*  
[gsotirov@space.bas.bg](mailto:gsotirov@space.bas.bg)  
*Institute for Metal Science- BAS, 67 Shipchenski prochod Blvd., 1574 Sofia*  
[sslavov@ims.bas.bg](mailto:sslavov@ims.bas.bg)

**Key words:** *jamming resistance, mathematical model, mono-pulse system, semi-active guidance, semi-active missile*

**Abstract:**

*Evaluation of jamming resistance of monopulse semiactive guidance system on base of developed mathematical model is considered. In paper are presented analysis and given data from investigation of jamming resistance against different types jamming signal.*

На настоящия етап от развитието на техниката, бойните възможности на авиацията и системите и средствата за противовъздушна отбрана (ПВО) основно се определят от характеристиките на влизащите в тях радиоелектронни средства (РЕС) и успешното изпълнение на бойните задачи е немислимо без използването на радио-електронно противодействие (РЕП) [1-3, 5-7, 9-12].

Анализът на съвременното състояние на системите и средствата за ПВО показват, че те непрекъснато се усъвършенстват и притежават високи тактико-технически показатели. Намиращите се на въоръжение зенитно-ракетни комплекси (ЗРК) с полуактивно самонасочване осигуряват възможност за стрелба на големи дистанции и имат висока точност по скоростни и маневрени цели [3,4,8].

В резултат на широкото внедряване на цифровата техника значително се повишиха оперативно-тактически и тактико-технически характеристики на съвременните ЗРК с полуактивно самонасочване като възможност за прехват на целите, увеличаване на вероятността за поразяване, по-висока шумозащитеност, мобилност, възможност за функциониране при всякакви метеорологични условия и др., което налага необходимостта да търсят нови по-високо ефективни методи и средства за РЕП на ЗРК от този тип.

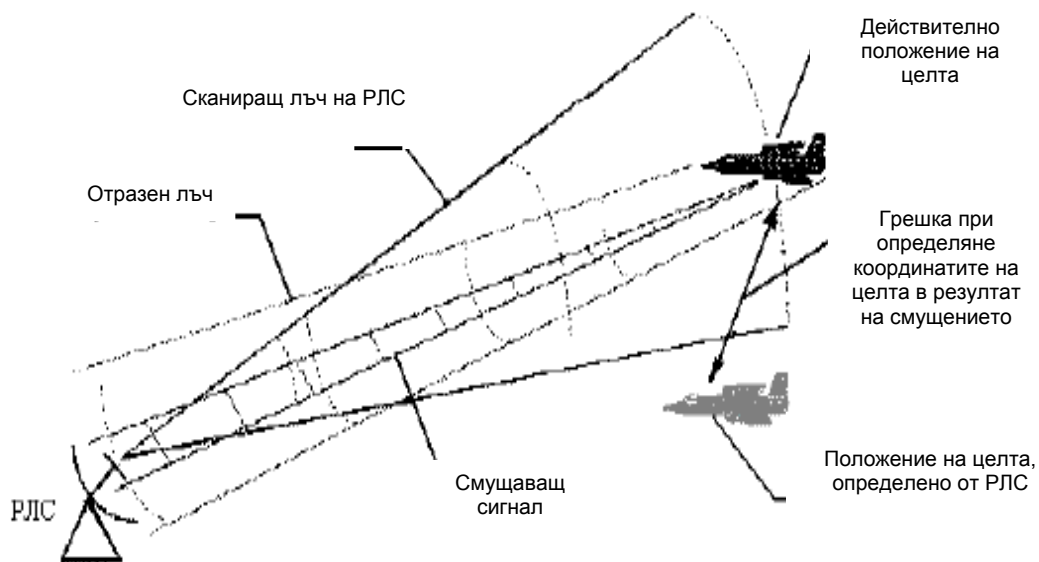
В системите за насочване и автоматично съпровождане на ЗРК широко приложение е намерил моноимпулсният метод.

Тъй като в моноимпулсните системи пеленгацията се осъществява по един импулс, то амплитудните флуктуации на отразения сигнал не оказват забележимо влияние на точността на измерване на ъгловите координати и следва, че ъгломерният канал е слабо чувствителен към смущения с амплитудна модулация. Напротив, амплитудно-модулираното смущение, притежавайки определено превишение по мощност над отразения сигнал, облекчава работата на моноимпулсния ъгломерен канал, тъй като увеличава ефективната отразяваща повърхност на целта и по такъв начин разширява диапазона по далечина, в който е възможно нормално следене на целта.

Това е справедливо не само за амплитудно-модулирани смущения, но също и за смущения с други видове модулация, излъчвани от една точка на пространството, например честотно-модулирани и фазомодулирани смущения.

Ако оценяваме шумоустойчивостта на моноимпулсната система за самонасочване, трябва да се отчита, че моноимпулсният метод се използва само за ъгловите координати. Що се касае до въздействието на смущения върху системите за селекция по скорост и далечина в моноимпулсните системи за самонасочване (СС), то те са еднакви както за системите с последователно сравнение на сигнала. Затова има приемственост във видовете смущения и методите за защита от тях за системите за селекция по скорост и далечина както за едноканалните така и за многоканалните координатори на зенитните управляеми ракети (ЗУР).

Непосредственият резултат от въздействието на радиосмущенията върху ЗРК се явява намаляване на точността на насочване на ЗУР на целта в следствие на което се изменя ефективността на използване на средствата за ПВО (фиг.1) Това довежда до необходимостта да се определят критерии за оценка ефективността на използваните средства за РЕП, за да може да бъде сравнено действието на различни видове смущаващи сигнали.



фиг.1

За разглеждания случай в качеството на критерий за оценка оценка ефективността на средствата за РЕП върху ЗРК е избрано минимално отклонение  $\Delta$  на което преминава ЗУР от целта [1,6,7] .

Значението на текущото отклонение е свързано с ъгъла  $\mu$  между вектора на относителната скорост и линията на визиране ракета - цел със следната зависимост

$$(1) \quad h = \sin\mu D_{рц} ,$$

където -  $D_{рц}$  е текущото значение на разстоянието ракета – цел.

Обикновено времето за неуправляем полет на ракетата след свив на самонасочването до срещата с целта е равно на части от секундата, което практически изключва възможността за маневриране на целта. Затова текущото отклонение може да се счита равно на действителното (резултантно) отклонение -  $\Delta$ . Ако в резултат от действието на РЕП значението на резултантното отклонение стане по-голямо от радиуса на по-разяване на ЗУР, то атаката се счита за ус-пешна.

Значението на резултантното отклонение  $\Delta$  може още да бъде определено със зависимостта [1,6-7]

$$(2) \quad \Delta = 0.5L(\cos q - j_{\max}L\cos^2 q/\Delta\theta_p^2 V_{отн}^2)$$

където:  $L$  – база между източниците;  $q$  – ъгъл на ракурс;  $j_{\max}$  – максимално претоварване на ракетата;  $\Delta\theta_p$  – ъгъл на разрешение на целите;  $V_{отн}$  – относителна скорост на ракетата с целта.

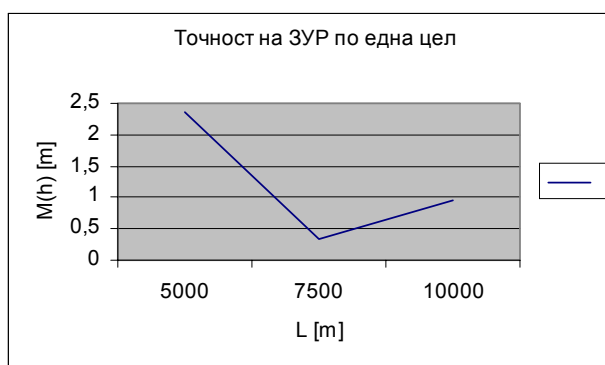
С отчитане на (2) максималното значение на отклонението ще бъде

$$(3) \quad \Delta_{\max} = \Delta\theta_p^2 V_{\text{отн}}^2 / 8j_{\max}$$

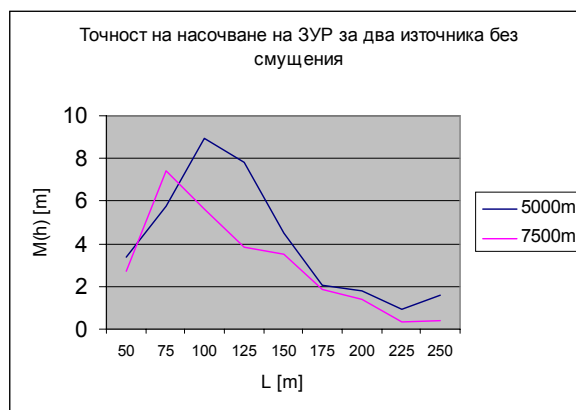
Използването на този критерий се явява универсално, тъй като чрез него може както аналитично, така и чрез моделиране да се определи резултатното отклонение, което позволява да се сравнят резултатите получени чрез различни методи на изследване.

За изследване шумоустойчивостта на полуактивен ЗРК с моноимпулсна СС е разработен пространствено – временен цифров модел [8]. Предложеният модел позволява да се моделира процесът на насочване на ракетата на цел по избрания критерий за оценка – отклонението на ЗУР от целта и дава възможност да се контролира състоянието на системата във всеки момент от време и във всяка точка на модела. Пускът на ракетата може да се осъществява при различни тактически ситуации и реализации на смущаващите сигнали и вътрешни шумове, което позволява статистическа обработка на резултатите и оценка ефективността на използваните средства за РЕП.

Възможностите и точността на модела са представени резултатите от симулирането стрелбата със ЗУР по една цел за различни дистанции (фиг.2) и по две цели (фиг.3) без използване на средства за РЕП. Получените резултати за математичното очакване на отклонението на ракетата от целта (целите)  $M(h)$  в зависимост от дистанцията на стрелба и разстоянието между целите  $L$  показват, че ЗРК има висока точност на попадение, тъй като максималните значения на резултатното отклонение не надвишават 6-8 м.



фиг 2



фиг.3

Съгласно приведенети по-горе съображения върху ъгломерния канал на моноимпулсните СС на ЗУР може ефективно да се въздейства само със смущения, създавани от няколко източника с изключение на смущение на кросполяризация, което може да се създава и от една точка [1,6-7].

#### Смущение на крос-поляризация:

Принципът на създаване на такива смущения е основан на несъвършенството на антенните системи, които наред с излъчването на сигнали на основна честота имат паразитно излъчване с ортогонална поляризация, наричана още крос – поляризация [6].

Обикновено нивото на диаграмата на крос поляризация е от порядъка на (10-20) dB относно главния максимум на основната диаграма и не оказва значително влияние на работата на пеленгационните средства и системи [].

При въздействие на смущаващи сигнали с поляризация, съвпадаща с нейната крос-поляризация, влиянието на крос-поляризацията се увеличава, в резултат на което се изменя резултантната диаграма на антената и се изкривява пеленгационната характеристика на системата, както и се влошава точността на пеленгация.

Отчитайки начина на въздействие смущението на крос-поляризация е ефективно за ъгломерните устройства от всеки тип и затова то се явява универсално.

Към смущенията на ЗУР, създавани от няколко точки се отнасят:

- некохерентни смущения;
- кохерентни смущения;
- мигащи смущения.

### Некохерентни смущения:

Те се създават с помощта на два или повече предавателя и се характеризират с това, че излъчваните немодулирани или модулирани високочестотни колебания не са свързани по фаза.

Проведеният в [1,6-7] анализ показва, че ефективността на въздействието на некохерентните смущения в голяма степен зависи от вида на модулиращото напрежение. Значението на ъгъла на разрешение при използване на некохерентни смущения се определя със съотношението

$$(4) \quad \Delta\theta_p = (0.8 - 0.9) \theta_{0.5}$$

където  $\theta_{0.5}$  е ширина на диаграмата на насоченост на антената по половина мощност, а от там и резултатното отклонение на ЗУР от целите е малко.

При това най-резултатният ефект от използването на тези смущения се получава, когато имаме равенство на мощностите на смущаващия и полезен сигнали. На практика е много трудно да се реализира такова условие и отчитайки, че резултатното отклонение е малко, всичко това прави некохерентните смущения не особено опасни и следователно е ограничено тяхното използване.

### Кохерентни смущения:

Принципът на създаване на тези смущения са заключава в създаването на фазови нееднородности в разтвора на приемната антена на СС по пътя на нейното облъчване с кохерентни сигнали от две или повече точки на пространството. При това е възможно създаването на такъв ефект, при който равносигналното направление на СС може да се ориентира извън пределите на базата на източниците.

Физическата основа на дадения метод за създаване на смущенията подробно се разглежда в [1,6-7]. Установено е, че при въздействие на два или повече кохерентни сигнали, с определени амплитудни и фазови съотношения, се формира изкривен по сравнение с единична цел фазов фронт на вълната, в резултат на което се създават условия за влошаване на точността на пеленгация. При това най-голяма грешка, при съпровождане на кохерентни източници  $\Delta\theta_{\max} = (0.6-0.7)\theta_{0.5}$ , се получава, когато смущаващите сигнали са противо-фазни и при равенство на амплитудите на излъчваните сигнали

Въпреки предимствата на кохерентните смущения, при тяхната реализация възникват редица трудности, които ограничават тяхното използване. Един от недостатъците се явява голямото снижение на ъгловата грешка на съпровождане на източниците на смущение при незначително изменение на фазовите съотношения на кохерентните

сигнали от две точки. За това осигуряването на необходимата ефективност изисква висока точност на фазовите съотношения (до 1%) [6]. Съхраняването на необходимите фази за кратки периоди от време не е трудно, но например за целия процес на насочване на ЗУР към целта е значително сложна задача.

Освен това използването на кохерентни смущения е свързано също и енергетични ограничения. Това се обуславя с факта, че максималният ефект се проявява при противофазност на сигналите, когато по същество смущаващите сигнали се компенсират един друг. За-това за осигуряване на необходимото превишение на резултантния сигнал над отразения сигнал са необходими големи нива на смущаващите сигнали.

### Мигащи смущения:

Мигащите смущения се създават с помощта на два или повече предавателя чрез използването на специална амплитудна модулация, например меандрова и се явяват едни от основните видове имити-раци смущения, използвани за подавяне на моноимпулстни СС. Тях-ното действие се основава на ограничената разрешаваща способност на ъгломерните координатори на СС[1-4, 6-7, 9].

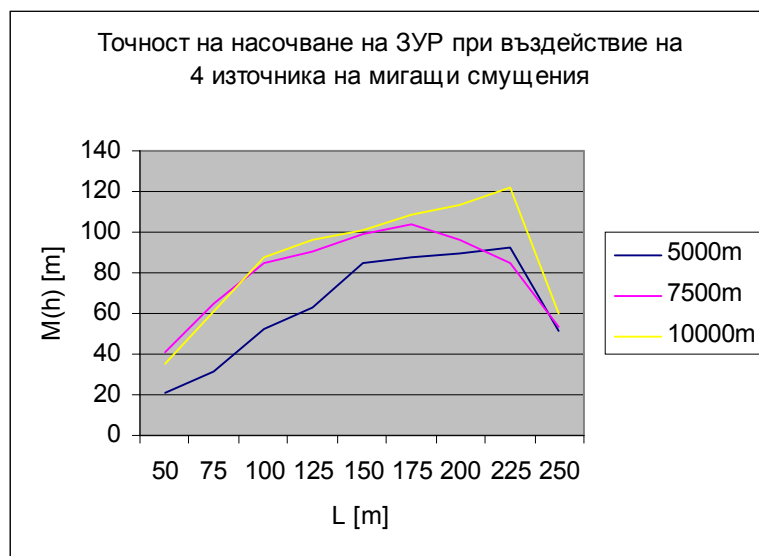
Изследването на въздействието на мигащите смущения върху ЗРК с полуактивно самонасочване проведено с помощта на разработения модел чрез определяне на резултантното отклонение позволява да се оцени ефективността на мигащите смущения, създавани от две точки по избрания критерий за отклонение.

На фиг. 4 е снета зависимостта на математическото очакване на отклонението на ЗУР  $M(h)$  при стрелба по две цели с използване на мигащите смущения с период 1s при различни дистанции в зависимост от базата  $L$  между източниците. Както се вижда от получените резултати, отклонението нараства на (60-80) метра и съответства на значения на базата (125 -250) метра.



фиг. 4

Проведените с модела изследвания показват, че с увеличаване на количеството на мигащите източници се влошава точността на пеленгация на СС. Резултатите от моделирането въздействието на четири цели върху точността на ЗУР с мигащи смущения с период 1s за различни дистанции на стрелба в зависимост от базата между тях са представени на фиг. 5.



фиг.5

Макар и оптималната база L да остава както и при две цели 125-250 метра, значението на отклонението е по-голямо - 80-100 метра. Това потвърждава извода, че създаването на мигащи смущения от няколко източника осигурява по-голяма ефективност на РЕП.

### Изводи и резултати:

1. Изследвана е шумоустойчивостта на моноимпулсна система за полуактивно самонасочване при въздействие на активни смущения.
2. Установено е, че в резултат на увеличаването на броя на излъчващите смущаващи източници, точността на пеленгация се влошава и се увеличава и резултантното отклонение.
3. Резултатите от моделирането на процеса на насочване на ракетата на целта показват, че максималният ефект на подавяне се осигурява при синхронни мигания и за два източника, математичното очакване на резултантното отклонение е равно на 60-80 метра, а за четири източника – 80-100 метра.



## Литература:

1. Вакин С.А., Шустов Л.Н., Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки, М.: Советское радио, 1968.
2. Перунов Ю.М., Фомичев К.И., Юдин Л.М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием, М.Радиотехника, 2003.
3. S.A.Vakin, L.N.Shustov, Dunwell R.H. Fundamentals of Electronic Warfare, Artech House Radar Library, UK, 2001.
4. Сотиров Г.С. Анализ на ефективността на мигащите смущения при въздействие върху моноимпулсни системи за самонасочване. Сборник доклади от Юбилейната научна сесия, посветена на 45 години ВНВВУ "Г.Бенковски" Секция "Радиолокация, Антени и СВЧ-техника" Долна Митрополия 21-23 Май 1990 г. стр.72-79
5. Цветнов В.В., Демин В.П., Куприянов А.И., Радиоэлектронная борьба: радиомаскировка и помехозащита. – М.: МАИ, 1999.
6. Максимов М.В., Защита от радиопомех. – М.: Советское радио, 1976 г.
7. Вакин С.А., Шустов Л.Н., Основы радиоэлектронной борьбы. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского 1998.
8. Сотиров Г.С. Математичен модел на моноимпулсна система за полуактивно самонасочване. Сборник трудове на Научна конференция с международно участие "Космос, Екология, Сигурност – SES' 2005" 10-13 юни 2005 г. Варна, стр. 398-408.
9. Сотиров Г.С. Оценка въздействието на мигащите смущения върху моноимпулсна система за полуактивно самонасочване. Сборник доклади от Юбилейната научна сесия 2006 "130 години Априлско въстание" Секция "Радиотехника" Авиационен факултет - Долна Митрополия 20-21 Април 2006 г. (под печат)
10. Ван Брант Л.Б., Справочник по методам радиоэлектронного подавления и помехозащиты систем с радиолокационным управлением / Перевод № 432 под ред. Лядкина Ю.С., 1987.
11. Палий А.И., Радиоэлектронная борьба. – М.: Воениздат, 1989.
12. Меркулов В.И., Чернов В.С. и др., Защита радиолокационных систем от помех. Состояние и тенденции развития / под ред. Канащенкова А.И., Меркулова В.И. – М.: Радиотехника, 2003.