

**ОЦЕНКА НА ШУМОУСТОЙЧИВОСТТА НА СИСТЕМИТЕ ЗА
УПРАВЛЕНИЕ, НАБЛЮДЕНИЕ И ПРЕДАВАНЕ НА ДАННИ ОТ
БЕЗПИЛОТНИ ЛЕТАТЕЛНИ АПАРАТИ**

Георги Сотиров

Институт за космически изследвания – БАН, ул. Московска №6, 1000 София
gsotirov@space.bas.bg

**EVALUATION OF JAMMING RESISTANCE ON BOARD COMMAND,
OBSERVATION AND DATA TRANSMISSION SYSTEMS
FROM UNMANNED AIR VEHICLES**

Georgi Sotirov

Space Research Institute, 6 Moskovska Str.
gsotirov@space.bas.bg

Key words: *unmanned air vehicles, ECCM capabilities, telemetry system, command system, optical electronic system*

Abstract:

Evaluation of jamming resistance of UAV command, telemetry electro-optical and data transmission systems is considered. In paper are presented analysis and given data from investigation of jamming resistance on board UAV systems.

За управление, наблюдение и предаване на данни от безпилотни летателни апарати (БЛА) се използват различни радиосистеми – телекомандни (ТКС), телеметрични (ТМС), оптико-електронни (ОЕС) и др. [1,2,3]. Отчитайки, че в процеса на работа на БЛА може да бъде оказано въздействие от страна на средствата за радиоелектронно противодействие (РЕП), интерес представлява да бъде изследвана и оценена шумоустойчивостта на изброените по-горе системи в условията на активни смущения.

Ефективността на системите за управление, наблюдение и предаване на данни се определя от достоверността на предаваната информация в пункта за управление и контрол на БЛА във връзка, с което за критерий за оценка е целесъобразно да бъде избрана вероятността за правилно приемане и обработка на данните

(1)
$$P_{\text{ппо}} = P_{\text{пп}} \cdot P_{\text{бр}}(t, T)$$

където: P_{np} е вероятност за правилно приемане без отчитане на надеждността на работа, $P_{бр}$ – вероятност за безотказна работа за времето t в пределите на зададен експлоатационен период T .

Вероятността за безотказна работа на радиоелектронните средства (РЕС) се определя от два основни фактора – експлоатационна и производствена надеждности на радиоелектронните средства

$$(2) \quad P_{бр}(t, T) = P_{бре}(t) \cdot P_{брп}$$

където $P_{бре}(t)$ е вероятността за безотказна работа с отчет на експлоатационните фактори, а $P_{брп}$ – вероятността за безотказна работа с отчет на производствените фактори.

Съгласно [4]

$$(3) \quad P_{бре}(t) = e^{-\Lambda t}$$

където $\Lambda = \sum Ni/\chi_i$, N_i – брой на елементите в РЕС, χ_i – интензивност на отказите, а

$$(4) \quad P_{брп} = \prod_j P_j$$

където P_j – вероятност за безотказна работа на един елемент с отчет на производствените разходи.

Интензивността на отказите за интегралните елементи е $\chi_{ин} = 10^{-7} \div 10^{-8}$, а за дискретни елементи $\chi_{ид} = 10^{-4} \div 10^{-5}$ [4]. Съгласно приведения в [1] анализ вероятността за безотказна работа на ТМС, ТКС е от порядъка $P_{брп} = 0.95 \div 0.96$, където горната и долна граници зависят от наличието на резервиране и условията на експлоатация. При използването на ОЕС вероятността за безотказна работа може да се приеме, че е от порядъка на ТКС и, ТМС.

За ТМС, ТКС вероятността за правилно приемане на информацията се определя от вероятността за грешка при приемане $P_{гр}$ и вероятността за правилна синхронизация на системата – $P_{схр}$

$$(5) \quad P_{np} = (1 - P_{гр})(1 - P_{схр})$$

Вероятността за грешка при приемане се определя от зависимостта

$$(6) \quad P_{гр} = 1 - (1 - p_o)^n$$

където p_o – вероятност за възникване на пакет от грешки, а n – брой на каналните думи на ТКС, ТМС. На практика $p_o \ll 1$ и от (6) следва, че

$$(7) \quad P_{гр} = n \cdot p_o$$

Вероятността за възникване на пакет от грешки зависи от вероятността за единична грешка p [1]

$$(8) \quad p_o = p \left\{ 1 + F(1) \sum_{mj=2}^m C_n^{mj} / n [1 - F(1)^{mj-1}] \right\}$$

където $F(1) = 0.83$, m_j – брой на грешките в пакета. Съгласно [1] средноста-
 тистическият брой на грешките в пакета е $m = 12$, в резултат на което от (8) при $n = 10$ се
 получава

$$(9) \quad p_0 = 2 \cdot p$$

Ако приемем, че броят на каналите на ТМС, ТКС $N_{ткс} = N_{тмс} = 10$, то от (7) и (9)
 следва, че

$$(10) \quad P_{гр} = 20p$$

При честотна модулация в радиоканалите на ТКС, ТМС

$$(11) \quad p = 0.5 \exp(-h^2/2)$$

където h^2 е отношение сигнал-шум по мощност на входа на приемното
 устройство [5,7].

В условията на активни смущения обект на въздействие се явява основно при-
 емното устройство на борда на БЛА. Тогава отчитайки разстоянията между пункта за
 управление D_c и източника на смущение $D_{см}$ до БЛА за мощностите на полезния P_c и
 смущаващия сигнали $P_{см}$ на входа на приемното устройство съгласно [5,6,7] ще имаме

$$(12) \quad P_c = P_{пс} \cdot G_{пс} \cdot G_{прс} \cdot \lambda^2 \eta_1 / 4\pi \cdot D_c^2$$

$$(13) \quad P_{см} = P_{смс} \cdot G_{смс} \cdot G_{прсм} \cdot \Delta f \cdot \lambda^2 \cdot \gamma \cdot \eta_2 / 4\pi \cdot \Delta f_{см} \cdot D_{см}^2$$

където $P_{пс}$ и $P_{смс}$ - мощности съответно на предавателя на сигнала и предавателя на
 смущението, $G_{пс}$ и $G_{прс}$ – коефициенти на насочено действие на предавателната и
 приемна антени за полезния сигнал, $G_{смс}$ и $G_{прсм}$ – коефициенти на насочено действие
 на антената на предавателя на смущение и приемното устройство по отношение на
 смущението, Δf – ширина на лентата на пропускане на приемното устройство, $\Delta f_{см}$ –
 ширина на спектъра на смущението, η_1 и η_2 – коефициенти отчитащи загубите във
 високочестотния тракт, γ – коефициент отчитащ разликата в поляризацията на сигнала
 и смущението.

От (12) и (13) следва, че отношението сигнал/шум на входа на приемното
 устройство на ТКС, ТМС при условие, че $\eta_2 \cdot \gamma / \eta_1 = 1$ ще бъде

$$(14) \quad h^2 = (P_{смс} \cdot G_{смс} \cdot G_{прсм} \cdot \Delta f / 4\pi \cdot \Delta f_{см} \cdot D_{см}^2 / P_{пс} \cdot G_{пс} \cdot G_{прс} \cdot D_c^2)^{-1}$$

Съгласно приведения в [1] анализ вероятността за правилна синхронизация на
 ТКС, ТМС, $P_{схр} = 0.56 \cdot 10^{-7}$, а за ОЕС – $P_{схр} = 0.2 \cdot 10^{-4}$.

Получените за ТКС, ТМС зависимости могат да бъдат използвани за опре-
 деляне на шумоустойчивостта, в случаите, че се използва ОЕС на борда на БЛА.
 Тогава в качеството на критерий за пропуск на обект е целесъобразно да бъде избрана
 съответната за цифров код минимална информация, съответстваща на най-малкия
 откриваем от ОЕС обект. Ако допуснем, че последният има площ $S_c = 15 \text{ m}^2$ броят на

разрешаващите линейни елементи по вертикала и хоризонтала е $S = 600 \times 600$, а линейните размери на наблюдаваната площ са $L = 1000 \times 1000$, то за площта на разрешавания равнинен елемент ще получим

$$S_p = L/S = 2.5 \text{ m}^2$$

Броят на елементите от изображението, съответстващи на обект с площ $S_{\text{ц}}$ ще бъде

$$N_{\text{ОЕС}} = S_{\text{ц}}/S_p = 6$$

Използувайки (8) при $N_{\text{ОЕС}} = 6$ и $m = 12$ при пакетен характер на грешките ще имаме $\rho_0 = 1.75\rho$. Тогава съответствие с полученото значение от (7) получаваме

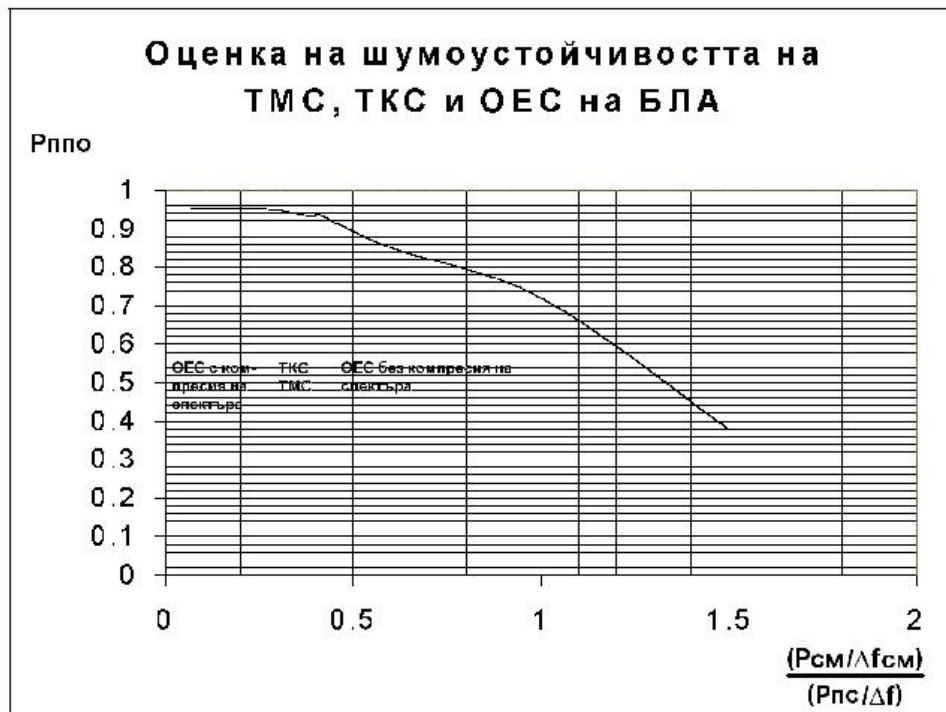
$$(15) \quad P_{\text{гр}} = 10.5\rho$$

В случай на честотна модулация значението на ρ може да се определи в съответствие с (11) и (12).

Тогава използвайки по-горе изложената методика и приведените в [7] значения на спектралната плътност на мощността на заградителите смущения за вероятностите на правилно приемане и обработка на информацията в ТМС, ТКС и ОЕС ще получим резултатите, представени в таблица 1. От получените данни е построена зависимостта на вероятността за правилно приемане и обработка от отношението на спектралните мощности на смущаващия и полезен сигнали.

Таблица 1.

№	Вид система	$P_{\text{см}}/\Delta f_{\text{см}}$	Δf	$G_{\text{пш}} \cdot G_{\text{п}}$	$G_{\text{пш}} \cdot G_{\text{пш}}$	$P_{\text{пс}}$	$h_{\rho} = h^2$	$D_{\text{с}}/D_{\text{см}}$	P_0	$P_{\text{гр}}$	$P_{\text{ппо}}$	$P_{\text{см}}/\Delta f_{\text{см}}$ $\Delta f/P_{\text{пс}}$
		W/MHz	kHz	-	-	W	-	-	-	-	-	-
1	ТМС, ТКС	200	20	1	20	10	12.5	2	$2 \cdot 10^{-7}$	0.02	0.93	0.4
2	ТМС, ТКС	200	20	1	20	15	18.5	2	$1 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	0.95	0.27
3	ОЕС с компресия	5	500	1	20	10	20	2	10^{-5}	$3 \cdot 10^{-4}$	0.95	0.25
4	ОЕС с компресия	5	500	1	20	15	30	2	10^{-5}	10^{-4}	0.95	0.17
5	ОЕС с компресия	2	500	1	20	10	50	2	10^{-5}	10^{-4}	0.95	0.1
6	ОЕС с компресия	2	500	1	20	15	75	2	10^{-8}	10^{-7}	0.95	0.07
7	ОЕС без компресия	5	3000	1	20	10	3.3	2	0.1	0.6	0.38	1.5
8	ОЕС без компресия	5	3000	1	20	15	5	2	0.083	0.24	0.72	1
9	ОЕС без компресия	2	3000	1	20	10	8.3	2	0.016	0.1	0.85	0.6
10	ОЕС без компресия	2	3000	1	20	15	12.5	2	0.002	0.012	0.94	0.4



Изводи и резултати:

1. Проведен е анализ на работата на системите за управление, наблюдение и предаване на данни от борда на БЛА в условията на активни смущения.
2. Получени са аналитични зависимости и числени резултати, позволяващи да бъде оценена шумоустойчивостта на ТКС, ТМС и ОЕС на БЛА при въздействие на активни средства за РЕП.

Литература:

1. Сотиров Г.С. Анализ на шумоустойчивостта на системите за управление, наблюдение и предаване на данни от безпилотни летателни апарати. Сборник доклади от Юбилейна научна сесия "90 години авиационно образование в България" Долна Митрополия 22-23 април 2004 г. стр. 140-144
2. Беспилотная воздушная разведка - Зарубежное военное обозрение – 5/2001
3. Беспилотная авиация сухопутных войск Франции – Зарубежное военное обозрение – 9/2000
4. Перунов Ю.М, Фомичев К.И., Юдин Л.М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием, Радиотехника, 2003.
5. S.A.Vakin, L.N.Shustov, Dunwell R.H. Fundamentals of Electronic Warfare, Artech House Radar Library ,UK, 2001.
6. Защита от радиопомех. Под ред. Максимова М.В. М.Сов. радио, 1976
7. Палий А.И. Радиоэлектронная борьба. М.Воениздат 1989