

RADIOELEKTRONICKÁ OCHRANA U PVOS

Elektronika stále více proniká do výzbroje všech armád a je integrovanou součástí zbraňových systémů. Radioelektronickými prostředky se zlepšují parametry palebných prostředků a zpětně zvyšují bojové možnosti vojsk. Správná funkce radioelektronických zařízení může v některých fázích vedení boje ovlivnit jeho další průběh a nepřímo i jeho výsledek. Radioelektronický boj je proto jedním z důležitých druhů operačního (bojového) zabezpečení. Jde v podstatě o souhrn opatření a činností vzájemně sladěných co do cílů, místa a času tak, aby s využitím momentu překvapení znemožnil nebo alespoň snížil správnou činnost důležitých radioelektronických zařízení nepřítele a současně zabezpečil spolehlivý provoz analogických prostředků vlastních vojsk.

Jednotlivé jeho oblasti mají proměnnou důležitost u druhů vojsk i v průběhu etap vedení bojové činnosti.

Vojska PVOS budou v protivzdušných operacích odrážet hromadné úderů nepřátelských prostředků vzdušného napadení, které mohou působit na široké či úzké frontě buď s využitím momentu překvapení, nebo se zjevnými přípra-

vami k zahájení ozbrojeného konfliktu. Při působení na objekty PVOS budou vojenské letouny států NATO využívat ve velkém rozsahu všech možností radioelektronického boje.

Vzhledem k velkému množství zasazených jednotlivých radioelektronických prostředků i k jejich bojovému určení, nabývá proto u PVOS na významu radioelektronická ochrana. Jejím úkolem je mimo jiné zabezpečit spolehlivou a nepřetržitou činnost radiolokačních stanic tak, aby mohly plynule vést bojovou činnost aktivní prostředky PVO v plném rozsahu a v celém potřebném prostoru. Je to úkol velmi složitý, neboť velení taktického letectva NATO považuje radioelektronický boj za nedílnou součást svých vzdušných operací. V odborné vojenské literatuře kapitalistických armád se začíná používat termín „radiolokační blokáda“ a používá se při vytváření koridorů v systému PVO k zabezpečení průletu velkého množství letounů. Tím se zvyšuje potřeba prohloubit znalosti všech příslušníků vojsk PVOS o účincích rušení na vlastní systém a na základě toho pak uvažovat o nových způsobech radioelektronické ochrany.

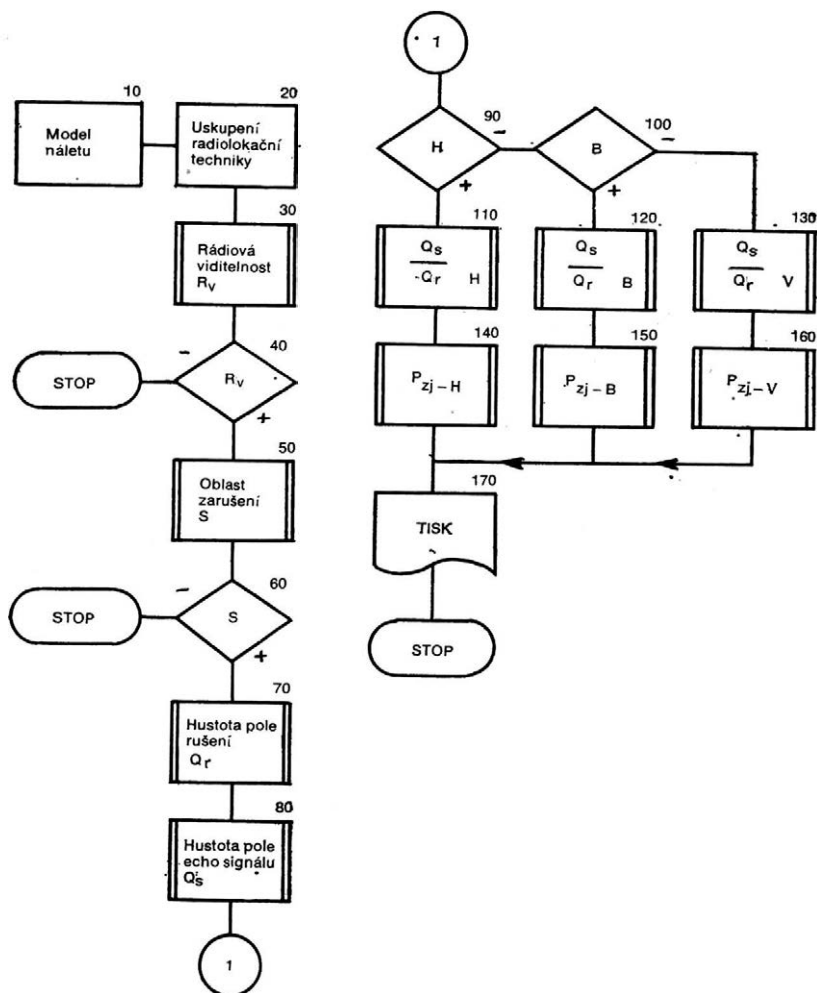
Zhodnocení dosavadních způsobů určování účinků radiolokačního rušení

Při vyhodnocování zkušeností bojové činnosti vojsk PVOS VDR v podmínkách rušení můžeme využít těchto poznatků jen pro orientační odhady při sestavování možných variant bojové činnosti. Tyto poznatky umožňují vytvořit si jen hrubou představu o účincích rušení v rámci svazku PVOS. Vzhledem ke geografické poloze naší republiky nemůžeme uskutečnit vojskové zkoušky a cvičení v podmínkách plného výkonu rušičů. Proto byla postupně

zpracována metoda matematická a graficko-analytická. Obě tyto metody jsou založeny na řešení tzv. protiradiolokačních rovnic a umožňují teoretický výpočet účinků rušení na jeden radiolokátor. I při využití výpočetní techniky při řešení modelu náletu je výsledné řešení velmi obsáhlé a nemůžeme je prakticky zakreslit na pracovní mapu. Navíc pro vstupní veličiny nejsou k dispozici některé základní údaje. Z těchto důvodů účinky radiolokačního rušení stanoví-

me pouze při některých štábních cvičeních a to ještě jen hrubým odhadem. Při řešení proti-radiolokační rovnice jsou obvykle neznámé funkce popisující normovaný směrový diagram antény radiolokátoru a rušiče, ekvivalentní výkon rušiče a pásmo propustnosti rušiče. Proto výsledky výpočtu mají pouze informativní cenu

a vyžadují výpočet několika variant modelu. Pro praktické výpočty byly sestaveny různé grafy a další pomůcky. Jejich používání u vojsk při cvičeních je však ojedinělé. Program pro počítač nebyl dosud doveden do prakticky použitelné podoby.



Obr. 1

Řešení úkolu metodou stanovení oblastí rušení

Nevýhodou všech dosavadních způsobů určení účinků rušení je tzv. bodové řešení, které představuje výsledek platný pro jednu polohu rušiče a radiolokátoru. Souhrn několika výsledků nebyl dosud uspokojivě na mapě zobrazen.

Jiná možnost řešení je:

Při řešení protiradiolokační rovnice můžeme dosazovat spektrální výkonovou hustotu rušení (q_r) nebo signálu (q_s), přičemž platí:

$$q_r = \frac{P_r \cdot G_r}{\Delta f_r} \text{ nebo } q_s = \frac{P_s \cdot G_s}{\Delta f_s} \text{ [WMHz}^{-1}\text{]},$$

kde: P_r, G_r – ekvivalentní výkon rušiče,

P_s, G_s – ekvivalentní výkon radiolokátoru,

Δf_r – pásmo propustnosti rušiče,

Δf_s – pásmo propustnosti radiolokátoru.

Pro výpočet můžeme využít maximálních a minimálních hodnot q_r , které jsou v literatuře uváděny.

Hodnoty q jsou proměnné se vzdáleností a v oblasti úhlu otevření vyznačovacího diagramu antény vytváří v prostoru pole hustoty signálu nebo rušení. Postup celého řešení úlohy – viz **obr. 1**.

Rádiová viditelnost je základní podmínkou pro možnost radioelektronického rušení na velmi krátkých vlnách. Obvykle se stanoví podle vztahu:

$$R_v = 4,12 (\sqrt{H_c} + \sqrt{H_A}),$$

kde: R_v – rádiová viditelnost (km),

H_c – výška letu cíle nebo rušiče (m),

H_A – výška antény (m).

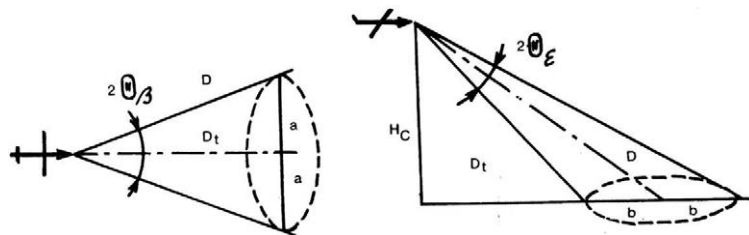
Výpočet obdržíme hodnoty – viz **tabulku 1**.

Tabulka 1

H_c (m) \ H_A (m)	100	300	500	1000	6000	10 000	20 000
4	49,3	79,5	100,2	137	328	415	585
30	63,5	94,3	114	162	342	430	605

Dálka rádiové viditelnosti vymezuje největší možnou vzdálenost, do které můžeme zahájit rušení. Z grafu je zřejmé, že vzdálenost je přímo úměrná výšce letu rušiče. Můžeme tedy předpokládat, že letouny rušiče budou působit převážně ve velkých a středních výškách.

Oblast rušení vymezuje otevření ústí antény rušiče a udává se šířkou vyznačovacího diagramu. Ze sporných údajů v literatuře můžeme soudit, že úhlové hodnoty se budou pohybovat v rozmezí desítek stupňů. Vzájemnou souvislost – viz **obr. 2**.



Obr. 2

Pro zjednodušení výpočtu můžeme uvažovat tvar oblasti zarušení buď kruhový ($\varepsilon_\beta = \varepsilon_\varepsilon$), nebo eliptický ($\varepsilon_\beta \neq \varepsilon_\varepsilon$). Velikost oblasti zarušení S je dána vztahem:

$$S = \pi a^2 \dots \text{(kruhová oblast),}$$

$$S = \pi a \cdot b \dots \text{(eliptická oblast).}$$

Výpočet obdržíme hodnoty:

a) **kruhová oblast** (viz **tabulku 2 a 3**),

b) **eliptická oblast** (viz **tabulku 4, 5, 6 a 7**).

Tabulka 2

$2 \Xi = 10^\circ$ (minimální varianta)					
D_t (km)	25	50	100	200	400
S (km ²)	15	60	240	960	3850

Tabulka 3

$2 \Xi = 70^\circ$ (maximální varianta)					
D_t (km)	25	50	100	200	400
S (km ²)	962	3850	15 400	61 500	$> 10^5$

Tabulka 4

$H_c = 500$ m		$2 = 10^\circ$		$2 = 70^\circ$
D_t (km)	25	50	100	
S (km ²)	753	1510	3020	

Tabulka 5

$H_c = 500$ m		$2\Xi\beta = 120^\circ$	$2\Xi\varepsilon = 10^\circ$
D_t (km)	25	50	100
S (km ²)	14 870	29 900	59 860

Tabulka 6

$H_c = 10\,000\text{ m}$		$2\Xi\beta = 10^\circ$		$2\Xi\varepsilon = 70^\circ$	
D_t (km)	25	50	100	200	400
S (km ²)	284	2042	15 940	$> 10^5$	$> 10^5$

Tabulka 7

$H_c = 10\,000\text{ m}$		$2\Xi_\beta = 120^\circ$		$2\Xi_\varepsilon = 10^\circ$	
D_t (km)	25	50	100	200	400
S (km ²)	857	6145	47 900	$> 10^5$	$> 10^5$

Je zřejmé, že oblast rušení prudce narůstá při zvětšování úhlu vyzařování. Při úhlech, které se blíží hodnotám 90° a více, nastává možnost rušení celého radiolokačního systému na daném kmitočtu.

Pole rušení je prostor, do kterého je vyzařován rušivý signál. Hustota pole rušení (spektrální měrný výkon) je dána vztahem:

$$Q_r = \frac{q_r}{4\pi D^2} = \frac{q_r}{4\pi D_t^2} \text{ [WMHz}^{-1}\text{m}^{-2}\text{]}$$

Pro mezní podmínky $q_{r \min} = 1 \text{ WMHz}^{-1}$ a $q_{r \max} = 200 \text{ WMHz}^{-1}$ hodnoty hustoty podle rušení – viz **tabulku 8 a 9**.

Uvedené hodnoty hustoty pole rušení jsou pro danou vzdálenost konstantní v celém prostoru oblasti zarušení. Za předpokladu ostře ohraničeného prostorového úhlu vyzařování antény rušiče mimo tuto oblast jsou hodnoty Q_r nulové.

Tabulka 8

$q_r = 1 \text{ WMHz}^{-1}$					
$D_t \text{ (km)}$	25	50	100	200	400
$Q_r \left[\frac{\text{W}}{\text{MHz m}^2} \right]$	$1,27 \cdot 10^{-10}$	$3,2 \cdot 10^{-11}$	$7,9 \cdot 10^{-12}$	$2,0 \cdot 10^{-12}$	$5,1 \cdot 10^{-13}$

Tabulka 9

$q_r = 200 \text{ WMHz}^{-1}$					
$D_t \text{ (km)}$	25	50	100	200	400
$Q_r \left[\frac{\text{W}}{\text{MHz m}^2} \right]$	$2,54 \cdot 10^{-8}$	$6,37 \cdot 10^{-9}$	$1,59 \cdot 10^{-9}$	$3,98 \cdot 10^{-10}$	$9,95 \cdot 10^{-11}$

Pole signálu je prostor, v němž se vrací odražený signál (echo). Hustota pole signálu je dána vztahem:

$$Q_s = \frac{q_s \cdot \delta_c}{(4\pi)^2 D_c^4} \text{ [WMHz}^{-1}\text{m}^{-2}\text{]}$$

Za předpokladu, že platí:

$$\Delta f_s = \frac{1}{\delta} \text{ [Hz, s]},$$

kde: δ – délka vysílaného impulsu,

můžeme psát: – minimální varianta parametrů
 RL P-15: $P_s = 210 \text{ kW}$ $G_s = 500$ $\delta = 2 \mu\text{s}$, $q_s = 0,21 \cdot 10^6 \cdot 500 \cdot 2 = 2,1 \cdot 10^8 \text{ WMHz}^{-1}$,
 – maximální varianta parametrů
 RL PRV-11: $P_s = 2 \text{ MW}$ $G_s = 8500$ $\delta = 3 \mu\text{s}$,
 $q_s = 2 \cdot 10^6 \cdot 8500 \cdot 3 = 5,1 \cdot 10^{10} \text{ WMHz}^{-1}$.

Vypočtené hodnoty hustoty pole signálu viz **tabulku 10 a 11**.

Tabulka 10

$q_s = 2,1 \cdot 10^{-8} \text{ WMHz}^{-1}$		$\delta_c = 1 \text{ m}^2$			
$D_c \text{ (km)}$	25	50	100	200	400
$Q_s \left[\frac{\text{W}}{\text{MHz m}^2} \right]$	$2,91 \cdot 10^{-12}$	$2,02 \cdot 10^{-13}$	$1,26 \cdot 10^{-14}$	$7,93 \cdot 10^{-16}$	$4,95 \cdot 10^{-17}$

Tabulka 11

	$q_s = 5,1 \cdot 10^{-10}$			$\delta_c = 1 \text{ m}^2$	
$D_c \text{ (km)}$	25	50	100	200	400
$Q_s \left[\frac{\text{W}}{\text{MHz m}^2} \right]$	$7,43 \cdot 10^{-10}$	$5,16 \cdot 10^{-11}$	$3,35 \cdot 10^{-12}$	$2,02 \cdot 10^{-13}$	$1,26 \cdot 10^{-14}$

Při vhodném grafickém znázornění přímky hustoty pole signálu vymezují přibližně oblast, v níž jsou všechny typy používaných radiolokátorů.

Stanovení koeficientu zjistitelnosti cíle na zarušeném pozadí obrazovky je v operačně taktických výpočtech dosud nezpracovanou oblastí. Proto alespoň orientačně naznačíme postup dalšího výpočtu.

Ze známých hodnot Q_s a Q_r stanovíme hodnotu K_z . Tuto hodnotu s ohledem na směrové vlastnosti antén rozlišíme dle směru příjmu rušícího signálu, což odpovídá možnostem a směrem rušení používaných letectvem USA při vzdušných úderech. Obvykle rozlišujeme:

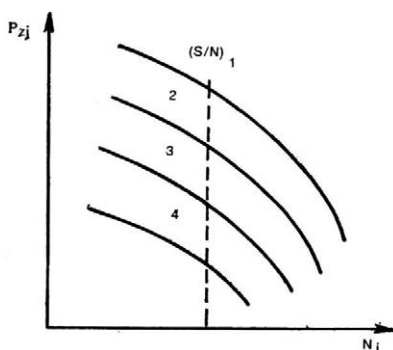
– Rušení do **hlavní smyčky**, které vzniká, jestliže letoun-rušič letí v úderné skupině stíhačích bombardovacích letounů. Tento případ je běžný pro přehledové radiolokátory, které působí na náletovém směru, a pro naváděcí radiolokátory palběných oddílů. Předpokládáme, že rušení při tomto způsobu bude obvykle laděné

úzkopásmové. Na **obr. 1** je tento případ označen jako $Q_s/Q_r [H]$.

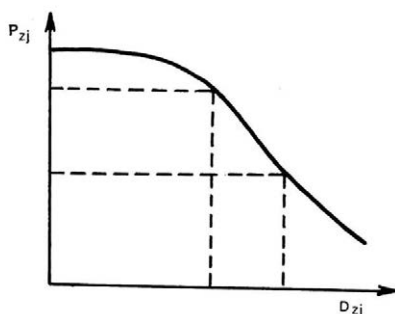
– Rušení do **bočních smyček**, které vzniká, jestliže letoun-rušič působí v prostoru přehrazování. Podle vyhodnocených dosavadních způsobů vedení radioelektronického boje k rušení používají speciálních letounů. Předpokládá se, že tento způsob rušení bude přehradný širokopásmový. Bude běžný pro radiolokátory, které působí bočně vůči náletovému směru. Na **obr. 1** je označen jako $Q_s/Q_r [B]$.

– Rušení **všesměrové**, které vzniká na válčiči pro všechny radioelektronické prostředky pracující v rušeném kmitočtovém pásmu. Je pochopitelně slabé a málo účinné, ale ze vzdálenosti 50–300 km rovněž ovlivňuje pravděpodobnost a dálku zjištění cíle. Na **obr. 1** je tento případ označen jako $Q_s/Q_r [V]$.

Z teorie příjmu radiolokačních signálů známe, že pravděpodobnost zjištění cíle je závislá na poměru S/N (resp. S/I). Závislost se znázorňuje grafy, jejichž informativní průběh – viz **obr. 3**.



Obr. 3



Obr. 4

P_{zj} – pravděpodobnost zjištění cíle;
 N_i – počet odražených impulsů od cíle.
 Parametr $[S/N]_i$ označuje různé stupně rušení.

Z teorie rovněž známe, že dálka zjištění cíle a pravděpodobnost tohoto zjištění jsou v nepřímé závislosti, všeobecně určené – viz **obr. 4**.

Znalost těchto reálných závislostí (grafů) jednotlivých typů radiolokátorů je pro operačně taktické výpočty velmi potřebná. Na jejím základě můžeme vypočítat radiolokační zabezpečení bojové činnosti SL a PLRV v podmínkách rušení.

Z uvedeného rozboru můžeme zobecnit některé závěry pro práci v oblasti radioelektronické ochrany, kterých můžeme využít ve štábech útvarů a svazků PVOS:

- doplnit chybějící parametry radioelektronických prostředků a procvičovat jejich používání,

- u zpravodajských orgánů vypěstovat návyky pro vyhodnocování možností nepřítele v oblasti radioelektronického boje,

- na operačních odděleních hodnotit radioelektronický boj také z hledisek radioelektronické ochrany a výsledky graficky vyjadřovat na mapách,

- u velitelů všech stupňů vypěstovat návyky na reálné hodnocení radioelektronické situace při vzdušných úderech a na řízení bojové činnosti za těchto podmínek.

Závěrem chci připomenout, že současné úkoly vojsk PVOS v protivzdušných operacích jsou zaměřeny na zvyšování možností ničení vzdušného nepřítele ve vzdálenostech větších, než je délka odpálení protizemních řízených střel. S tím souvisí otázka zjišťování vzdušných cílů ve velkých vzdálenostech a jejich plynulé vedení v podmínkách rušení.