Metodika hodnocení bojových možností svazků PVOS

Plukovník Karel Cedrych

Při řešení otázek nejvýhodnějších bojových sestav, rozpracovávání základních bojových dokumentů, plánů bojového použití svazků PVOS atd. narážíme na potřebu vyhodnocení bojvých možností svazků PVOS a číselného stanovení poměru sil prostředků vzdušného napadení a prostředků PVO. K osvětlení a ujednocení těchto veličin je určen tento článek, který jednak *ukazuje možný způsob uceleného číselného vyjádření bojových možností svazků PVOS, jednak umožňuje matematicky vyhodnotit účinnost řešené protivzdušné obrany.*

Pod dojmem bojových možností svazků PVOS chápeme v širším měřítku souhrn číselných ukazatelů, které charakterizují schopnost svazku plnit stanovený bojový úkol. Takových číselných ukazatelů může být celá řada, nejdůležitější však budou ukazatele, které charakterizují:

— možnost vytvoření prostorů bojové činnosti jednotlivých druhů vojsk svazků PVOS (protiletadlového raketového vojska – PLRV, stíhacího letectva – SL, radiotechnického vojska – RTV a protiradiotechnických jednotek);
— informační možnosti svazku v uvědomování o vzdušném nepříteli;
— schopnosti manévru jednotlivých druhů vojsk;
— bojové úsilí jednotlivých druhů vojsk;
— možnost zničení prostředků vzdušného napadení.

V praxi jsou všeobecně používány dvě číselné charakteristiky, vyjadřující možnost zničení vzdušných cílů. Při střelbě na jednotlivý cíl je pravděpodobnost zničení cíle P_i a při střelbě na skupinový cíl nebo na řadu jednotlivých cílů je to matematická naděje počtu sestřelených cílů $M(c)_i$ při působení daného prostředku PVO.

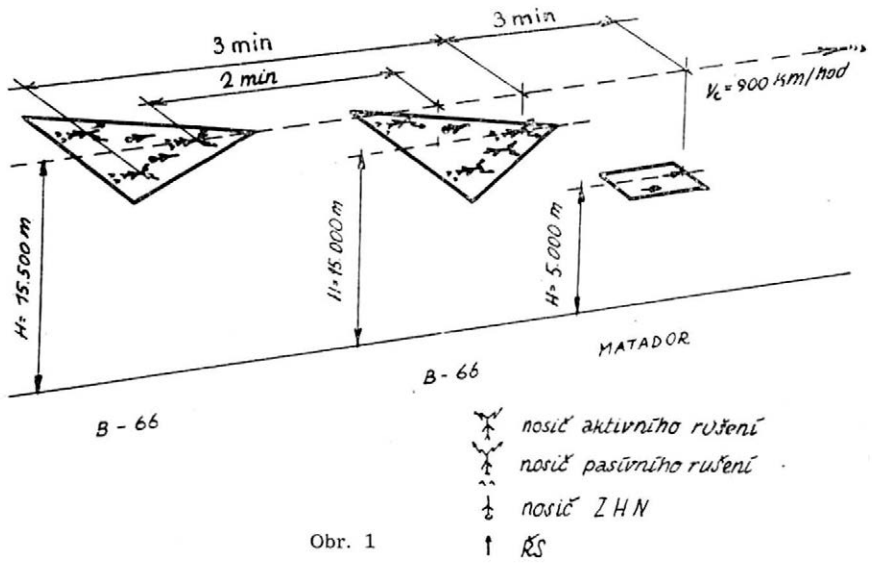
Tyto dvě charakteristiky umožňují nejnázorněji vyjádřit schopnost jednotlivých druhů zbraní. Celkové možnosti svazku PVOS zničení prostředků vzdušného napadení se budou skládat z možností zničení prostředků vzdušného napadení PLRV a SL.

Vzhledem k tomu, že vyhodnocení možností zničení vzdušného nepřítele bude se obyčejně vztahovat k možnému počtu zničených cílů a ne pouze k pravděpodobnosti zničení jednoho cíle, můžeme za základní charakteristiku možností zničení prostředků vzdušného napadení svazkem PVOS považovat celkovou matematickou naději počtu sestřelených cílů $M(c)_{celk.}$

Při výpočtu je možné při stanovení $M(c)_{celk.}$ vycházet ze dvou hledisek: stanovení matematické naděje počtu zničených cílů při odrážení určitého náletu a stanovení největší možné matematické naděje počtu sestřelených cílů při vyčerpání všech možností PLRV (vystřelení všech raket) a vyčerpání možného úsilí SL.

V prvním případě $M(c)_{celk.}$ můžeme pokládat za konkrétní možnosti. Při výpočtech je třeba vycházet z pravděpodobné činnosti nepřítele. K tomu, aby bylo dosaženo nejnázornější vyjádření předpokládané činnosti je účelné setrojit

tzv. model náletu. Model náletu je grafické znázornění pravděpodobné struktury náletu, ze kterého je patrna bojová sestava prostředků vzdušného napadení při náletu, vzdálenosti a intervaly mezi skupinami, výšky, umístění nosičů rušení a trať letu k objektu úderu. Příklad jednoduchého modelu náletu viz obr. 1. Vyhodnocujeme-li možnosti v průběhu bojové činnosti, pak modelem již nebude pravděpodobná struktura náletu, ale reálná situace.



Obr. 1

Ve druhém případě $M(c)_{celk.}$ můžeme pokládat za potenciální možnosti, tj. největší možnosti jaké mohou být dosaženy. Např. kolik by bylo možno teoreticky zničit letounů nepřítele při jednom vzletu všech vlastních letounů SL, nebo kolik letounů může být zničeno vystřílením všech raket PLRF. Výpočet těchto možností obyčejně nevztahujeme k určitému konkrétnímu náletu, nebudou proto používány pro vyhodnocení možností v průběhu bojové činnosti. Potenciální možnosti slouží pro celkové vyhodnocení bojových možností a učinností svazku PVOS ve srovnání s celkovou možností nepřítele, bez konkretizace za jakých podmínek budou tyto možnosti vyčerpány.

Rozebereme způsob vyhodnocování možností zničení vzdušného nepřítele podle druhů vojsk.

VYHODNOCENÍ MOŽNOSTÍ ZNIČENÍ VZDUŠNÉHO NEPŘÍTELE PLRV

Matematická naděje počtu sestřelených cílů PLRV $M(c)_{PLRV}$ bude záviset na:

— počtu střeleb, kterým může PLRV odrazit nálet ($N_{STŘ}$). Bereme-li v úvahu, že na jeden cíl povede současně palbu pouze jeden komplex, pak můžeme počtem střeleb charakterizovat i počet ostřelovaných cílů;

Podplukovník Karel Cedrych

— pravděpodobnosti zničení cíle provedou střelbou (P_{ZC});
— pravděpodobnosti spolehlivosti řízení palby čili pravděpodobnost toho, že systém řízení palby PLRV zabezpečí provedení střelby (P_{ST}).

Matematicky tyto závislosti vyjadřuje vzorec:

$$M(c)_{PLRV} = N_{STŘ}\, P_{ZC}\, P_{SŘ} \tag{1}$$

Rozebereme jednotlivé veličiny uvedené ve vzorci:

Počet střeleb, které může PLRV provést ($N_{STŘ}$) závisí v podstatě na podmínkách, za jakých je vedena střelba (délka trvání náletu, rychlost, výška a parametr cíle, použití rušení atd.) a možnosti zásobování protiletadlových raketových oddílů (*plro*) raketami.

Vycházíme-li z předpokladu, že útvar je plynule zásobován raketami, pak počet střeleb každého oddílu můžeme určit ze závislosti:

$$N'_{STŘ} = \frac{t_n + T_s}{T_{cykl}} + 1, \tag{2}$$

kde: t_n — doba náletu cíle v minutách;
T_s — doba setrvání cíle v rozsahu účinné působnosti palebného oddílu v minutách;
T_{cykl} — cykl střelby v minutách.

Celkový počet střeleb celé sestavy PLRV (útvaru) bude roven součtu střeleb všech oddílů

$$N_{STŘ} = \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{t_n + T_s}{T_{cykl}} + 1 \right), \tag{3}$$

kde, kromě již vysvětlených veličin, „m" je počet oddílů, které se mohou zúčastnit střelby na cíl, tj. počet oddílů, které se nachází v pásmu bojové činnosti šířkou $2P_{max}$ (viz obr. 2). Počet střeleb nemůže být pochopitelně větší, než kolik jich může provést PLRV s ohledem na počet raket, které jsou k dispozici.

Ve vzorci (3) jsou prakticky všechny veličiny neměnné, kromě veličiny T_s. V závislosti na rychlostech, výšce a parametru cíle se doba T_s mění ve značných rozmezích a může dosahovat např. do 130 vteřin. Při výpočtech se proto tato proměnná veličina může zaměnit za střední hodnotu T'_s.

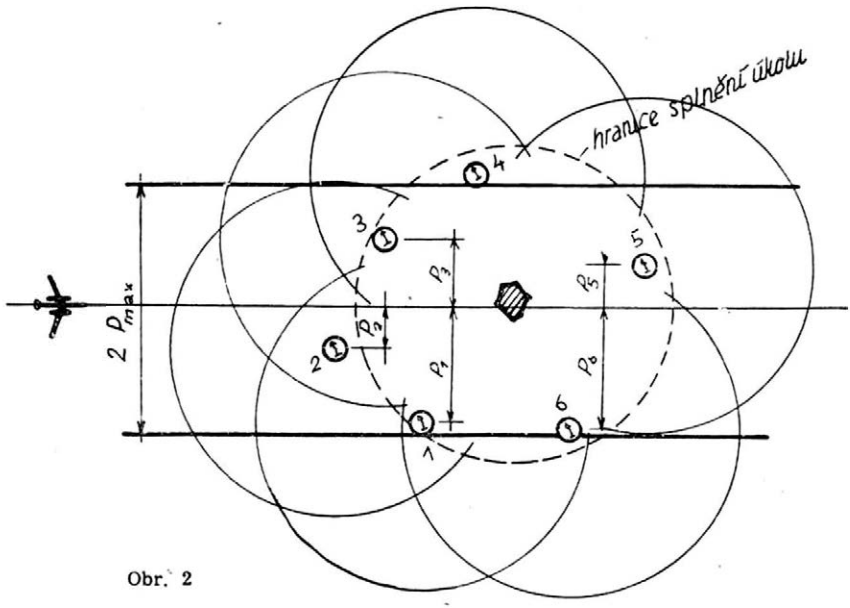
T'_s odpovídá střednímu parametru cíle všech oddílů, které se zúčastní v odrážení náletu. Střední parametr se rovná součtu parametrů střílejících oddílů dělený jejich počtem:

$$P' = \frac{P_1 + P_2 + P_3 \ldots P_m}{m},$$

kde m je počet *plro*.

Podle tohoto parametru najdeme dobu setrvání cíle v rozsahu účinné působnosti oddílů a výpočet počtu střeleb bojovou sestavou může být zjednodušen:

$$N_{STŘ} = m \left(\frac{t_n + T'_s}{T_{cykl}} + 1 \right). \tag{4}$$



Obr. 2

Cykl střelby závisí v podstatě na podmínkách střelby a počtu raket určených ke zničení cíle. Může se pohybovat např. kolem 2 minut při přípravě střelby podle SNR a 1,5 minuty při přípravě podle ŘRL.

Konkrétní údaje, nutné pro výpočet, je možné zjistit v pravidlech střelby a v jiných pomůckách (toto se bude dále týkat i *SL*).

Dobu náletu t_n je možné stanovit na základě rozboru předpokládané činnosti nepřítele buď přímým promodelováním předpokládaného náletu na objekt nebo předběžným stanovením doby činnosti nepřítele.

Při výpočtu počtu střeleb $N_{STŘ}$, třeba brát v úvahu, že hustota náletu by měla být taková, aby oddíly nemusely vyčkávat na přílet dalšího cíle do prostoru účinné působnosti po skončení jedné střelby, tj. po uvolnění kanálu sledování cíle.

Při určení doby náletu musíme tedy zmenšit dobu skutečného náletu T_n o vzdálenosti, které jsou větší než doba jednoho cyklu, ovšem s úvahou, že kanál sledování cíle je zaneprázdněn ještě po dobu setrvání cíle v prostoru odpálení.

O tuto dobu nutno větší vzdálenost zmenšit. Výsledná doba náletu se bude rovnat

$$t_n = T_n - \sum_{i-1}^{k} (t_i - T_s), \tag{5}$$

kde k — počet intervalů odpovídající podmínce $t_i > T_{cykl}$ (intervaly jsou větší než cykl střelby);

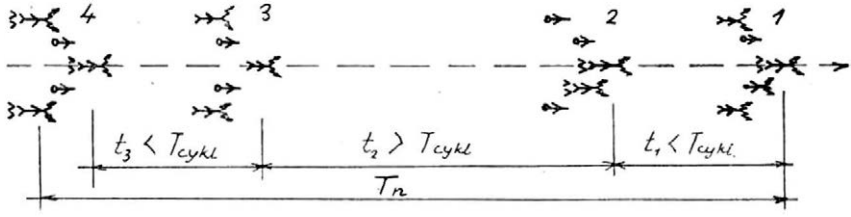
t_i — vzdálenost mezi skupinami v minutách.

Podplukovník Karel Cedrych

Na obr. 3 je znázorněn nálet čtyř skupin letounů, u nichž vzdálenost mezi druhou a třetí skupinou je větší než cykl střelby. Celková doba náletu bude:

$$t_n = T_n - (t_{i_2} - T_s). \tag{6}$$

Pravděpodobnost zničení cíle P_{zc} provedenou střelbou se bude měnit podle podmínek, za kterých je vedena střelba (výška a manévr cíle) a počtu vystřelených raket.



Obr. 3

Rozsah účinné působnosti komplexu PLRV si rozdělíme prostorově podle výšky a parametru letu cíle na dvě části, ve kterých pokládáme pravděpodobnost za neměnnou.

Je třeba však mít na zřeteli, že za použití nepřátelských rušicích prostředků se pravděpodobnost zničení cíle značně snižuje.

Při střelbě více raketami pravděpodobnost zničení cíle se zvyšuje s počtem vypálených raket podle závislosti:

$$P_n = 1 - (1 - P_i)^n, \tag{7}$$

kde P_n — pravděpodobnost zničení cíle při n vypuštěných raketách;
n — počet vypuštěných raket,
P_i — pravděpodobnost zničení cíle jednou raketou.

Tato závislost je graficky znázorněna na určité hodnoty P_i na obr. 4.

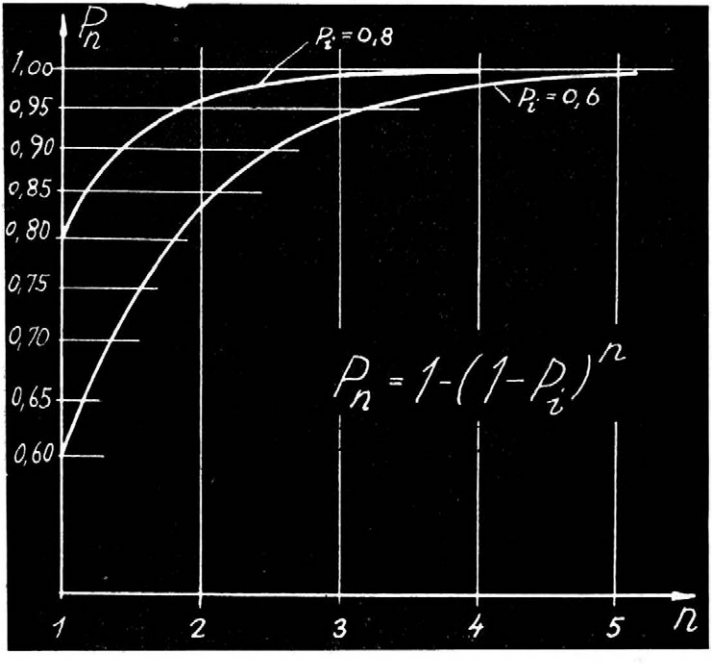
Pravděpodobnost provedení střelby ($P_{SŘ}$ – pravděpodobná spolehlivost řízení) v podstatě závisí na podmínkách, za kterých je vedena střelba, v první řadě na nepřátelském rušení. Např. při střelbě za jednoduché vzdušné situace a bez rušení $P_{SŘ} = 0{,}95$, použije-li nepřítel jeden typ rušení $P_{SŘ} = 0{,}8$ a za kombinovaného rušení $P_{SŘ} = 0{,}65$.

Pro snažší výpočty neuvažujeme obě pravděpodobnosti odděleně, ale současně jednou pravděpodobností, která je vlastně součinem pravděpodobností $P_{ZC}P_{SŘ}$, např.

— při střelbě za jednoduché situace 0,9;
— při střelbě za rušení jednoho typu 0,6;
— při střelbě za kombinovaného rušení 0,5.

Vzorec (1) bude platit při některých středních podmínkách odrážení náletů, tj. nebude-li se měnit součin $P_{ZC}\,P_{S\check{R}}$. Bude to obyčejně při vyhodnocení možností jedné bojové sestavy. Při vyhodnocování konkrétní situace a vyhodnocení celého uskupení PLRV bude často nutné vyčíslit zprvu možnosti každé střelby a pak výsledky sečíst:

$$M(c)_{PLRV} = \sum_{i=1}^{N_{STŘ}} P_{ZC}\,P_{SŘ} \tag{8}$$



Obr. 4

Někdy při menším počtu raket, které jsou k dispozici, nebo při určení potenciálních možností PLRV je možné matematickou naději počtu sestřelených cílů vypočítat jednodušeji ze závislosti:

$$M(c)_{PLRV} = mK_{BP}\frac{N_r}{n_r}P_{ZC}\,P_{SŘ}, \tag{9}$$

kde m — počet oddílů;
N_r — počet raket, které jsou v jednom oddíle k dispozici (nebo plánovány);
K_{BP} — koeficient bojové připravenosti oddílů (0,75);
n_r — počet raket určených pro střelbu na jeden cíl (kalkulačně je nutno brát nejméně dvě);

Podplukovník Karel Cedrych

P_{CZ} — pravděpodobnost zničení cíle počtem raket určených ke zničení cíle;

$P_{SŘ}$ — spolehlivost systému řízení.

Často nás bude zajímat i minimální doba, během které je možno potenciální palebné možnosti PLRV realizovat. Při současné střelbě všemi oddíly bude tato doba rovna:

$$T_{\text{realizace}} = \frac{N_r}{T_{\text{cykl}} \cdot n_r} 1{,}25, \qquad (10)$$

kde, kromě výše vysvětlených pojmů, hodnota 1,25 je koeficient vyjadřující spolehlivost střelby. Vzorec platí jen tehdy, není-li třeba v oddílech opětovné nabíjet odpalovací zařízení raketami.

VYHODNOCENÍ MOŽNOSTÍ ZNIČENÍ VZDUŠNÉHO NEPŘÍTELE SL

Při vysvětlení způsobu vyhodnocení možností SL budou dále použity některé pojmy spojené s navedením SL částečně odlišné od vysvětlení v „Pomůcce pro výcvik letovodů" z r. 1958. Čára střetnutí definovaná v „Pomůcce" vzhledem k rozvoji letecké techniky, vybavení SL raketami, zvýšení rychlostí atd. vyžaduje upřesnění. K vyloučení nedorozumění vyžadují podstatnějšího vysvětlení tři pojmy:

— čára zasazení SL do boje;

— čára střetnutí;

— oblast navedení SL.

Čára zasazení SL do boje je čára, na které stíhač přechází do zteče.

Čára střetnutí je čára, na které je cíl stíhačem ničen.

Čára zasazení může být stanovena z hlediska potřeby splnění úkolu stíhacím letectvem. Stanovené čáry zasazení SL je možné jen při dostatečné hloubce radiolokačního průzkumu. U SL rozmístěného v příhraničním pásmu bude nás častěji zajímat rozmístění první možné čáry zasazení SL do boje. Protože při hodnocení bojových možností vycházíme z nepříznivější situace, budeme předpokládat, že první čára zasazení stíhače nebude dána, ale že je ji třeba stanovit.

Vzdálenosti čar zasazení do boje a střetnutí od letiště můžeme určit ze známé hloubky radiolokačního průzkumu (výchozí dálky zjištění cíle S_v), rychlosti cíle (v_c) a stíhače (v_s), doby potřebné ke vzletu a doby potřebné ke zteči.

Postup výpočtu vysvětlíme na obr. 5.

a) výchozí dálku zjištění cíle S_v můžeme odměřit na mapě. Je to vzdálenost od letiště k hranici zjištění cíle RTV pro danou výšku;

b) zjistíme pasivní dobu, tj. dobu během které se cíl přibližuje k hranici splnění svého úkolu, avšak stíhač se připravuje k plnění úkolu, nebo provádí manévr. Tato doba se skládá z doby potřebné:

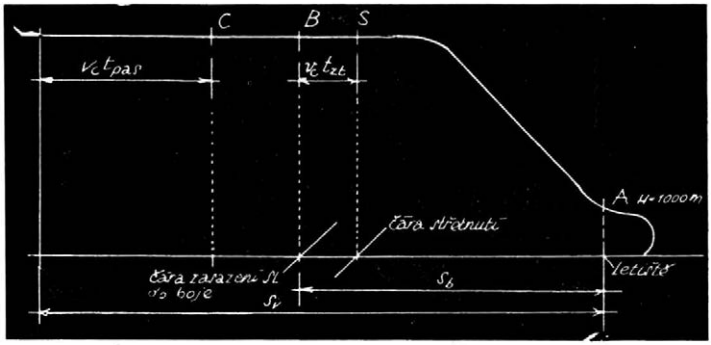
— k proniknutí uvědomování o cíli, můžeme ji označit jako dobu zpoždění $t_{zp} = 2 - 2'$;

— ke startu letounu a nastupování do výšky 1000 m, tuto dobu můžeme nazvat dobou vzletu $t_{vzl} = 5 - 6'$;

— na manévru pro zaujetí výchozí polohy ke zteči ze zadní polosféry $t_z = 2$ — — 3′ při výškách nad 16 km do 6 minut.

Celkem pasivní doba bude rovna

$$t_{pas} = t_{zp} + t_{vzl} + t_z$$



Obr. 5

Všechny uvedené hodnoty platí pro letoun typu MiG–19;

c) za pasivní dobu uletěl cíl úsek $S_c = v_c\, t_{pas}$ a nachází se v bodě C, vlastní stíhač se nachází v bodě A. Zjednodušíme výpočet a budeme pokládat rychlost horizontálního a stoupavého letu stejnou. Podle obrázku je zřejmé, že úsek $AC^1 = S_v - v_c\, t_{pas}$. Na tomto úseku poletí cíl a stíhač prakticky proti sobě na vstřícném kurzu, cíl rychlostí v_c, stíhač v_s. Úsek AC_1 bude oběma překonán za dobu

$$t = \frac{AC_1}{v_c + v_s} = \frac{S_v - v_c\, t_{pas}}{v_c + v_s}$$

a oba se setkají v bodě B, tj. na čáře, kde musí stíhač přejít do zteče, aby byl cíl zničen. Tuto čáru nazýváme *čarou zasazení do boje.*

Pro stíhače bude čára zasazení do boje vzdálena od letiště

$$S_b = v_s \cdot t = \frac{S_v - v_c\, t_{pas}}{v_c + v_s}. \tag{11}$$

Je-li rychlost cíle a stíhače přibližně stejná, pak můžeme vzorec (11) zjednodušit:

$$S_b = 0{,}5\, S_v - v_c t_{pas}; \tag{12}$$

d) po zamíření a navedení raket musí být cíl zničen na čáře střetnutí. Vzdálenost této čáry od čáry zasazení stíhače do boje závisí na rychlosti cíle a doby potřebné k provedení vlastní zteče t_{zt}. Při výhodných podmínkách t_{zt} může být do 2 minut, tj.

$$S_{STŘ} = v_c t_{zt}. \tag{13}$$

Podplukovník Karel Cedrych

Vzdálenost čáry střetnutí od čáry zasazení SL do boje nám však sama o sobě nemůže plně charakterizovat zničení cíle navedeným stíhačem. Tento proces trvá dobu, která začíná zjištěním cíle stíhačem a končí vyvedením stíhače z boje po splnění úkolu. Během této doby stíhač proletí určitou dráhu (dráhu přepadu), jejíž veličinu můžeme určit např. pro letoun vyzbrojený raketami ze vzdálenosti:

$$S_{př} = \frac{(D_{žc} - D_{or})\, v_c}{v_s - v_c} + t_{sl}\, v_c + \Delta_s,$$

kde D_{zc} — dálka zjištění cíle letounu (podle palubního radiolokátoru);
D_{or} — dálka odpálení raket;
t_{sl} — doba sledování cíle po odpálení raket nutná pro jejich navedení;
Δ_s — veličina, která vylučuje chybu manévru stíhače a manévr cíle.

Pro letoun vyzbrojený raketami mohou být uvedené veličiny např.

$D_{zcl} = 10$ km $\quad D_{or} = 2$ km
$t_{sl} = 15''$ $\quad \Delta_s = 60$ km.

Příklad pro rychlost cíle 700 km/hod. (11,7 km/min.), stíhače 1000 km/hod. (15 km/min.):

$$S_{př} = \frac{(10 - 2)\, 11{,}7}{15 - 11{,}7} + 0{,}25 \cdot 11{,}7 + 40 = 30 + 3 + 40 = 73 \text{ km}.$$

Prakticky to bude znamenat, že je možné počítat pouze s jedním navedením stíhače.

Oblastí navedení a přepadu SL rozumíme oblast, ve které je možné provést zteč při stanoveném letišti a naváděcím stanovišti.

Oblast navedení SL je omezena prakticky doletem stíhače, dosahem spojovacích prostředků a dosahem radiolokátoru určeného k navádění. Při navádění na středních a strafosférických výškách určující bude dosah radiolokátoru. Při navádění na malých výškách může být oblast navedení omezena i dosahem spojovacích prostředků.

Postup sestrojení oblasti navedení a přepadu SL vysvětlíme na obr. 6. Pro stanovenou výšku letu cíle určíme dosah naváděcího radiolokátoru D_{ZC} a opíšeme kružnici tímto poloměrem. Směrem od nepřítele odečteme veličinu S, která při navádění SL z prostoru vyčkávání ve vzduchu bude rovna

$$S = v_c\,(t_{uk} + t_z), \tag{14}$$

kde v_c — rychlost cíle v km/min.,
t_{uk} — doba potřebná pro upřesnění kursu letounu určeného pro provedení přepadu (při navádění podle IKO asi 3 minuty);
t_z — doba manévru (doba zatáčky) – střední hodnota 3 minuty.

Tím jsme zjistili vlastně první čáru zasazení SL do boje. První čára střetnutí je od této čáry vzdálena na veličinu $S_{STŘ} = v_c t_{zt}$.

Po tomto vysvětlení přistoupíme k rozboru možnosti zničení prostředků vzdušného napadení SL.

V zásadě budou možnosti zničení vzdušného nepřítele stíhacím letectvem záviset na počtu letounů, které mohou být zvednuty na přepad cílů a pravděpodobnosti splnění úkolu zvednutými stíhači. Matematické vyjádření této závislosti může být zapsáno vzorcem:

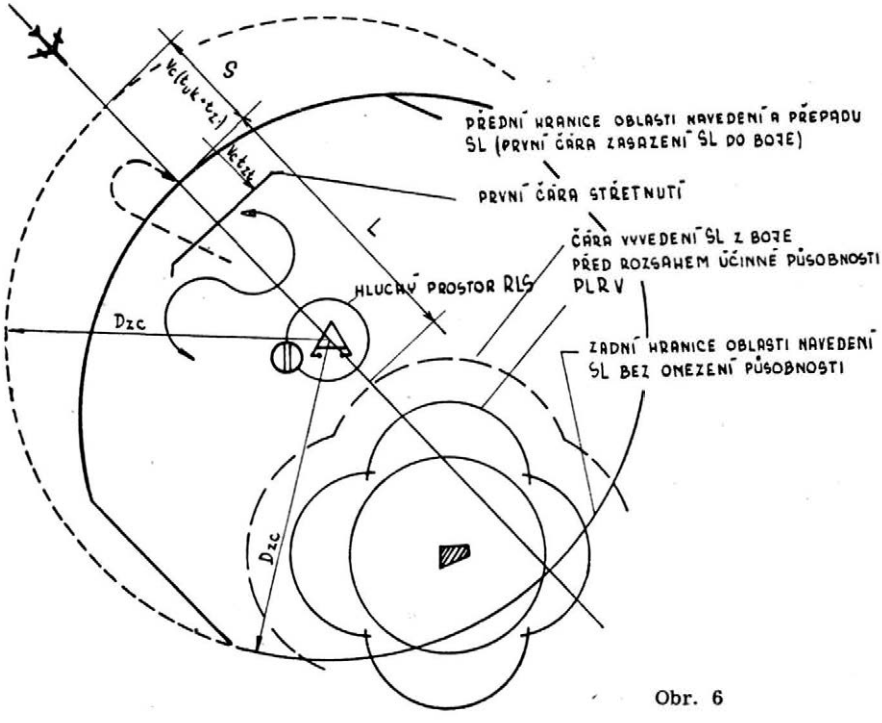
$$M(c)_{SL} = \sum_{i=1}^{N_{SL}} P_{nSLi}. \tag{15}$$

kde N_{SL} — počet letounů, který může být zvednut k provedení přepadu;
P_{nSLi} — pravděpodobnost splnění úkolu navedenými stíhači.

Při stejné pravděpodobnosti splnění úkolu každým letounem

$$M(c)_{SL} = N_{SL} \cdot P_{nSL}, \tag{16}$$

Počet letounů, který může být zvednut a naveden závisí na možném počtu střetnutí v oblasti navedení a přepadu stíhacího letectva a na možném počtu současně navedených stíhačů na každé čáře. Počet současně naváděných letounů je závislý na počtu míst navedení (naváděcích a pomocných naváděcích stanovišť – NS a PNS) a jejich kapacity navedení.



Obr. 6

Podplukovník Karel Cedrych

Možný počet čar střetnutí v prostoru navedení SL jednoho NS při nevelké hloubce náletu a možnosti využití celé oblasti navedení a přepadu se bude rovnat:

$$N_{čs} = \frac{2D_{ZC} - v_c (t_{uk} + t_m)}{v_c t_{cykl}} + 1;$$

jelikož většinou poslední čára střetnutí neumožňuje provedení zteče, vypouštíme 1 a vzorec má tvar:

$$N_{čs} = \frac{2D_{ZC} - v_c (t_{uk} + t_m)}{v_c t_{cykl}}. \tag{17}$$

Často pro jednoduchost můžeme použít i prostého vzorce:

$$N_{čs} = \frac{2D_Z}{v_c t_{cykl}}, \tag{18}$$

kde D_{ZC} — dálka zjištění cíle radiolokátorem, ze kterého je prováděno navádění,

t_{cykl} — střední doba cyklu navedení.
Při $v_c = 15$ km/min. a výšce cíle do 16 000 m počítáme přibližně 10 minut, nad výšku 16 000 m 15 i více minut.

Tato veličina bude záviset na typu letounu. Jestliže nemůže být plně využita oblast navedení i přepadu, pak místo veličiny $2D_{ZC} - v_s (t_{uk} + t_z)$ bereme reálnou veličinu L vypočítanou nebo změřenou pro daný případ.

Od první možné čáry zasazení stíhačů do boje odměříme úsek, ve kterém je možná činnost SL. Počet čar střetnutí obdržíme vydělením tohoto úseku součinem rychlosti cíle a cyklu navedení SL:

$$N_{čs} = \frac{L}{v_c t_{cykl}}. \tag{19}$$

Při větší hloubce náletu počet čar střetnutí může být určen pode vzorce:

$$N_{čs} = \frac{t_n + t_s}{t_{cykl}}, \tag{20}$$

kde t_n — doba náletu, tj. časový úsek od okamžiku dosažení prvním letounem první čáry střetnutí do jejího průletu posledním letounem,

t_s — doba setrvání prostředků vzdušného napadení v oblasti navedení,

t_{cykl} — cykl navedení jednoho letounu (skupiny letounů).

Celkový počet čar střetnutí v prostoru bojové činnosti svazku PVOS bude roven součtu čar střetnutí SL pro každé NS:

$$N_{čs\,celk} = \sum_{i=1}^{n} N_{čs}, \tag{21}$$

kde n — počet NS SL.

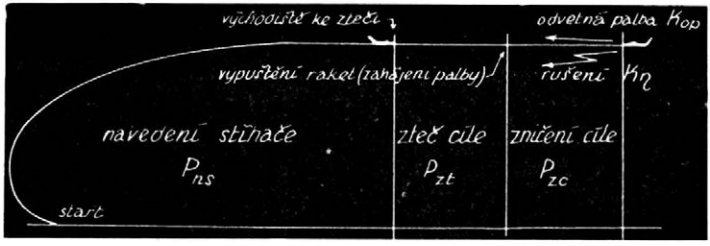
Navádět je možné současně na několik cílů v závislosti od vycvičenosti operátorů, počtu výnosných indikátorů a kapacity spojení. Obyčejně to bude při jednom výnosném indikátoru 2—3 cíle, při dvou výnosných indikátorech 5—6 cílů při náletech z jednoho směru a do 7 cílů při náletech z různých směrů. Celkový počet navedených stíhačů (skupin) bude roven součinu:

$$N_{SL} = N_{\check{c}s\,celk}\, N_{ni}, \tag{22}$$

kde N_{ni} — počet současně možných navedení z jednoho NS.

K zajištění potřebného poměru sil ve vzduchu bude často nutné na jeden cíl navádět i více letounů současně. Pak celkový počet možných navedení letounů bude nutno vynásobit počtem letounů ve skupině m:

$$N'_{SL} = N_{SL}\, m \tag{23}$$



Obr. 7

Pravděpodobnost splnění úkolu SL bude se měnit podle podmínek, za kterých je navádění provedeno, vlastností letounu a činností nepřítele. Bez rozvádění teorie je možné pravděpodobnost zničení cíle SL znázornit graficky v rozvinuté svislé rovině. Na obr. 7 jsou znázorněny etapy procesu splnění úkolu stíhačem a veličiny charakterizující pravděpodobnost uskutečnění každé etapy. Pravděpodobnost splnění úkolu SL se bude rovnat pravděpodobnosti uskutečnění všech etap s opravou na činnost nepřítele:

$$P_{nSL} = P_{ns} P_{zt} P_{zc}\, K\eta\, K_{op}, \tag{24}$$

kde P_{ns} — pravděpodobnost navedení stíhače do východiště ke zteči;
P_{zt} — pravděpodobnost provedení správné zteče navedeným stíhačem;
P_{zc} — pravděpodobnost zničení cíle palbou palubních zbraní letounu nebo vypuštěnými raketami;
$K\eta$ a K_{op} — jsou koeficienty snížení pravděpodobnosti splnění úkolů stíhačem vlivem rušení nepřítele ($K\eta$) a vlivem odvetné palby nepřítele (K_{op}); koeficient K_{op} uvažujeme jen při činnosti stíhačů bez raket. U letounů vyzbrojených raketami je malá pravděpodobnost zničení odvetnou palbou palubních zbraní nepřítele, avšak při střetnutí s letouny vybavenými raketami „vzduch–vzduch" je třeba tento koeficient uvažovat.

Podplukovník Karel Cedrych

Pravděpodobnosti a koeficienty, získané v praxi a teoretickými výpočty, jsou uvedeny v příslušných pomůckách.

V uvedeném postupu jsme nebrali v úvahu počet letounů, které máme k dispozici, nýbrž jen možnosti navedení stíhačů na cíle. Obdobně jako u PLRV nemohou být tyto možnosti větší než ty, které je SL schopno reálně splnit, tj. počet zvednutých stíhačů nemůže být větší než skutečný počet bojeschopných letounů. Proto je třeba rovněž při stanovení možností SL znát potenciální možnosti:

$$M'(c)_{SL} = N_L \cdot P_{nSL} \cdot K_{BP} \qquad (25)$$

kde N_L — celkový počet letounů, který je k dispozici;
P_{nSL} — pravděpodobnost splnění úkolu letounem;
K_{BP} — koeficient bojového použití SL (0,85).

Doba realizace potenciálních možností SL může být určena ze závislosti:

$$T_{realizace} = \frac{C_{BP} \cdot t_{cykl}}{n_{L\,celk}}. \qquad (26)$$

Ve vzorci, kromě výše vysvětlené veličiny t_{cykl} je $n_{L\,celk}$ celkový počet současně možných navedení a C_{BP} je počet bojeschopných letounů.

POSTUP PŘI ŘEŠENÍ ÚLOHY VÝPOČTU BOJOVÝCH MOŽNOSTÍ SVAZKU PVOS

Jak bylo řečeno, možnosti svazku PVOS se skládají z možností PLRV a SL.

Bojové vlastnosti PLRV a SL však neumožňují vždy současné působení proti cílům v celém prostoru bojové činnosti svazku, rozsahu výšek možné činnosti nepřítele, za všech povětrnostních podmínek apod. Je ptoto účelné vyhodnocovat bojové možnosti tak, aby byly patrny jak celkové možnosti svazku PVOS, tak i dílčí možnosti PLRV a SL. Pro názornost uvádím rozdělení výšek, které se ovšem může měnit podle druhu bojové techniky a jejích vlastností. Podle mého názoru je účelné vyhodnocovat možnosti svazku PVOS pro čtyři rozsahy výšek:

200—2000 m na těchto výškách bude působit převážně SL,

2000—19 000 m na těchto výškách bude současně působit PLRV, a SL. Tento rozsah můžeme rozdělit ještě na dva, např. do 15 000 m a nad 15 000 m nad 19 000 m kde bude výhodné působit PLRV.

Podle možnosti a času je možné v každém pásmu výšek počítat možnosti pro nepříznivější podmínky a pro střední podmínky.

Jinak bereme buď nejpříznivější podmínky nebo výšky pravděpodobné činnosti nepřítele. Rozdělení podle výšek však při řešení konkrétních náletů nebude možné vždy dodržet. Při předpokládaném náletu, členěném podle výšek, počítáme možnosti odrážení náletů současně na všech výškách. Kromě toho je možné uvažovat ještě varianty činnosti SL podle povětrnostních podmínek.

Bojové možnosti svazku PVOS vyhodnocujeme ze dvou hledisek:

1. možnosti nedopustit údery prostředků vzdušného napadení na bráněné objekty a prostory;
2. možnosti dosažení maximálního počtu zničených cílů při průletu prostředků vzdušného napadení prostorem bojové činnosti svazku PVOS.

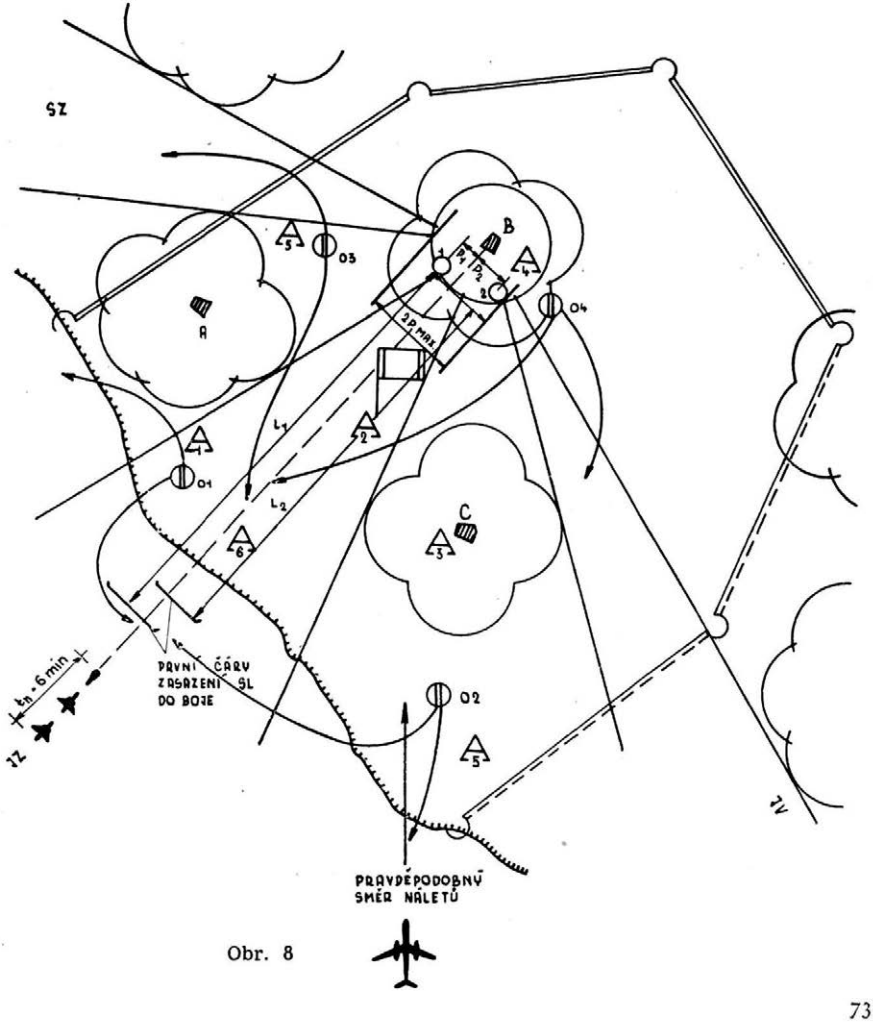
Řešení obou úloh je nejúčelnější provádět přímo na mapě. Přístup k vyhodnocení bojových možností je pro všechny varianty stejný. Jako příklad rozebereme výpočet bojových možností pro výšku 15 000 m:

1 *Vyhodnocení možnosti zničení prostředků vzdušného napadení při úderech na bráněné objekty (prostory)* – viz schéma (obr. 8).

Při výpočtu je možno postupovat následujícím způsobem:

a) stanovit pravděpodobné směry náletů prostředků vzdušného napadení. V našem případě zvolíme jižní směr;

b) na tomto směru určit pravděpodobné sektory náletů na jednotlivé objekty. Na obrázku jsou znázorněny, pro jednoduchost a názornost, pouze sektory ná-



Obr. 8

Podplukovník Karel Cedrych

letů na objekt *B* v hloubce prostoru bojové činnosti svazku. Údery budou prováděny pravděpodobně tak, aby nepřítel měl co nejmenší ztráty, tj. budou vedeny pravděpodobně v mezerách mezi bojovými sestavami PLRV, nebo v místě nejslabší PVO. V každém sektoru si určíme jednu, nejvíce však dvě „trati" náletů prostředků vzdušného napadení na objekt, pro který provádíme výpočty (v našem případě směr jihozápadní). Výsledky vypočítáváme jen do pravděpodobné hranice splnění úkolu (většinou je znám nepřesný termín pravděpodobná hranice bombardování), metodou výpočtu potenciálních možností, nebo možností zničení nepřítele podle modelu náletu.

Pro příklad je vzat model náletu obr. 1, tj. na objekt bude uskutečněn nálet v trvání 6 minut. ŘS MATADOR, i když působí podle modelu na výšce 5000 m zahrneme do výpočtu. Rychlost cíle je $v_c = 900$ km/hod.;

c) stanovit matematickou naději počtu sestřelených cílů PLRV $(M/c)_{PLRV}$.

V prostoru účinné působnosti PLRV u objektu B naneseme pásmo bojové činnosti $(2P_{max})$ pro zvolenou náletovou trať. Pro zvolenou výšku 15 000 m vezmeme např. $P_{max} = 23$ km. Odrážení náletu se mohou zúčastnit všechny palebné oddíly, které se nacházejí v pásmu bojové činnosti. Pro náš případ do hranice splnění úkolu mohou působit dva palebné oddíly. Stanovíme počet střeleb podle vzorce (4) $N_{STŘ}$ a vypočítáme matematickou naději počtu sestřelených cílů PLRV podle vzorce (1). Výpočet provádíme podle výše uvedeného postupu a vzorců. Pro přehlednost zapisujeme postup do tabulky (viz tabulka I.)

Výpočet:

$$N_{STŘ} = m\left(\frac{t_n + T'_s}{T_{cykl}} + 1\right).$$

V našem případě je doba náletu $t_n = 6$ minut, počet oddílů $m = 2$ a $T_{cykl} = 2'$. Střední dobu setrvání v rozsahu účinné působnosti T'_s vypočítáme ze středního parametru P'. Pro první plro je parametr 6 km, pro druhý 22 km. $P' = \frac{6 + 22}{2} = 14$. Pro tento parametr, výšku 15 km a rychlost 250 m/vt. najdeme v pravidlech střelby T_s (např. 1,1 minuty). Rozdílnou dobu setrvání pro ŘS MATADOR (letící podle modelu na výšce 5000 m) pro zjednodušení výpočtu neuvažujeme. Vzniklá chyba je zanedbatelná.

$$N_{STŘ} = 2\left(\frac{6 + 1{,}1}{2} + 1\right) = 9.$$

— Součin pravděpodobnosti zničení cíle jednou střelbou a pravděpodobná spolehlivost systému řízení $P_{ZC} P_{SŘ}$ pro výšku 15 000 m vezmeme např. 0,45.

— Matematická naděje počtu sestřelených cílů oběma oddíly bude $9 \cdot 0{,}45 = 4$ letouny (ŘS);

d) stanovit možné oblasti navedení pro naváděcí stanoviště, která mohou navádět stíhací letectvo na zvoleném náletovém směru za předpokladu, že nepřítel bude provádět údery na jednotlivé objekty současně. Jestliže jsme mohli pro PLRV počítat s možností celé sestavy PLRV, nebo prakticky všech oddílů, které se nacházejí v pásmu bojové činnosti na příletu k objektu, pak síly SL musíme již předem rozdělit pro působení na příletu ke všem objektům. V našem případě předpokládáme, že na jz. směru můžeme počítat se dvěma naváděcími stanovišti

1 a 2. Z těchto NS například NS–1 je schopné současně navést na šest cílů a NS–2 na tři cíle. K dispozici jsou např. letouny s pravděpodobností splnění úkolů $P_{nSL} = 0{,}47$;

e) stanovit první čáru zasazení stíhačů do boje (S_b) z každého NS podle situace buď pro předpoklad, že se SL nachází ve střehu ve vzduchu nebo v bojové pohotovosti číslo jedna na letišti.

Předpokládáme-li, že se letouny nacházejí ve vzduchu a dálka uvědomování S_v pro první NS bude 280 km a pro druhé NS 320 km, pak pro NS–1 bude podle vzorce (12):

$S_{b1} = 0{,}5\,(S_v - v_c\,t_{pas}) = 0{,}5/280 - 15.10) = 0{,}5 \cdot 130 = 65$ km a pro NS–2 bude

$S_{b2} = 0{,}5\,(320 - 15 \cdot 10) = 0{,}5 \cdot 170 = 85$ km.

Při předpokladu společné bojová činnosti SL a PLRV v jednom prostoru bojové činnosti bude možná hloubka působení SL od prvních čar zasazení stíhače do boje, změřeno z mapy, pro NS–1 $L_1 = 180$ km a pro NS–2 $L_2 = 160$ km.

Počet čar střetnutí pro naváděcí stanoviště bude podle vzorce (19)

$$N_{čs} = \frac{L}{v_c \cdot t_{cykl}};$$

pro NS–1 $$N_{cn1} = \frac{180}{15 \cdot 10} = 1{,}2$$ zaokrouhlíme na 1

pro NS–2 $$N_{cn2} = \frac{160}{15 \cdot 10} = 1$$

Počet navedení z NS–1 bude $1 \cdot 6 = 6$ cílů a z NS–2 $1 \cdot 3 = 3$ cíle.

Celkový počet navedení z obou NS bude $6 + 3 = 9$ cílů.

Matematická naděje počtu sestřelených cílů SL navedených z obou NS bude rovna, podle vzorce (16):

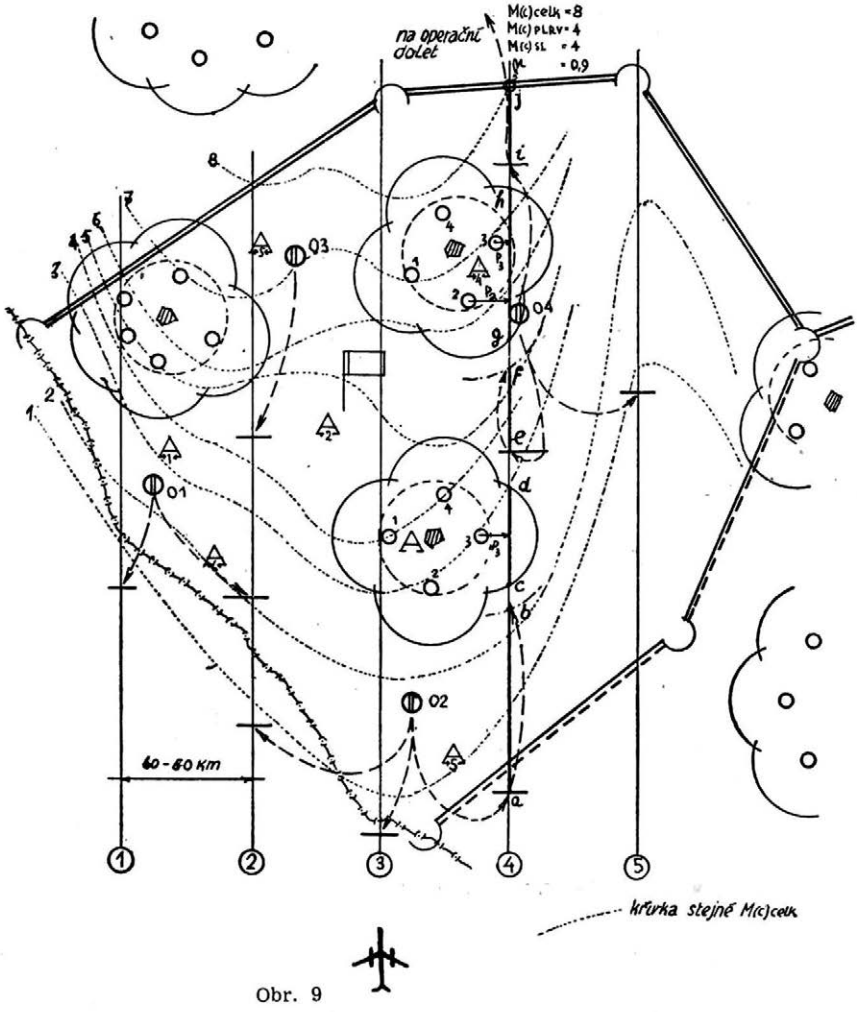
$$M(c)_{SL} = N_{SL} \cdot P_{nSL} = 9 \cdot 0{,}47 = 4 \text{ letouny.}$$

2 *Vyhodnocení možností zničení prostředků vzdušného napadení při průletu prostorem bojové činnosti svazku PVOS* (viz schéma obr. 9).

Přístup k řešení tohoto úkolu je obdobný jako při vyhodnocení možností odrážení náletů na objekty. Při vyhodnocení však vycházíme v podstatě z potenciálních možností PLRV a SL, jelikož to usnadňuje výpočty při dostatečné přesnosti.

Vycházíme opět z nepříznivé situace, tj. současného náletu prostředků vzdušného napadení na široké frontě. Pro dostatečné přesné vyjádření možností PVOS rozdělíme prostor bojové činnosti ve vyhodnocovaném náletovém směru „tratěmi" letu cíle ve vzdálenostech 40—50 km. Na „tratích" počítáme možnosti obdobně jak bylo popsáno ve způsobu vyhodnocování bojových možností při odrážení náletu na objekty. Možnosti však vyhodnocujeme od první čáry uvedení SL do boje až po hranici prostoru bojové činnosti svazku. Např. podle našeho

Podplukovník Karel Cedrych



Obr. 9

schématu na „trati" 4 od bodu „a" až po bod „j". Opět vyhodnotíme matematickou naději počtu sestřelených cílů PLRV tj. možnosti PLRV při průletu prostředků vzdušného napadení bojovou sestavou na úsecích „c – d" a g – h". Dále pak matematickou naději počtu sestřelených cílů SL za předpokladu, že stíhači z letiště 02 působí n úseku „a – b" a z letiště 04 na úsecích „e – f" a „i – j".

V místě opuštění „trati" prostoru bojové činnosti svazku vpisují se dílčí i výsledné hodnoty matematické naděje počtu sestřelených cílů. Pro snazší a pře-

hlednější výpočet postup výpočtu zapisujeme do obdobné tabulky jako při výpočtu bojových možností při náletech na objekty.

Během výpočtu je možné sledovat na jednotlivých „tratích" narůstání celkové matematické naděje počtu sestřelených cílů, označit místa, kde matematická naděje dosahuje celého čísla, jak je vidět z obrázku. Spojnice míst o stejné matematické naději názorně graficky vyjadřují kvalitu protivzdušné obrany.

BOJOVÁ ÚČINNOST PVOS

Matematická naděje počtu sestřelených cílů nám charakterizovala možnosti vlastního SL a PLRV zničení prostředků vzdušného napadení, ale nevyjadřuje zda svazek je schopen splnit stanovený úkol – nedopustit průzkum a údery prostředků vzdušného napadení na objekty a nedopustit průlet vzdušného nepřítele do hloubky státního území. Závěrem vyhodnocení bojových možností svazku PVOS je proto matematické vyjádření bojové účinnosti svazku.

Chápeme-li pod pojmem bojová účinnost svazku vyjádření stupně nakolik je systém protivzdušné obrany svazku PVOS schopen odrazit údery prostředků zvdušného napadení, pak můžeme matematicky bojovou účinnost zapsat jako poměr možného počtu prostředků vzdušného napadení (N_c), který se zúčastní náletu, k matematické naději počtu sestřelených cílů svazkem PVOS $(M/c)_{celk}$):

$$\mu = \frac{M(c)_{celk}}{N_c}$$

Je-li počet možných prostředků vzdušného napadení větší než celková matematická naděje počtu sestřelených cílů, pak $\mu < 1$. Při úderu na objekt v rozebíraném příkladu tab. I. bylo dosaženo $M(c)_{celk} = 8$, předpokládaný počet prostředků napadení N_c byl 12, pak $\mu = \frac{8}{12} = 0{,}67$; je-li předpokládaný počet prostředků vzdušného napadení stejný jako matematická naděje počtu sestřelených cílů, pak $\mu = 1$ a při takovém poměru můžeme říci, že protivzdušná obrana je dostatečně spolehlivá; je-li matematická naděje počtu sestřelených cílů větší než předpokládaný počet prostředků vzdušného napadení, pak matematicky bojová účinnost je $\mu > 1$, což prakticky již charakterizuje jen narůstání kvality PVOS nad účelnou míru a proto se obyčejně již nevyjadřuje a i v tomto případě pro kalkulaci bojová účinnost je pokládána za rovnu 1, $\mu = 1$.

Závěr

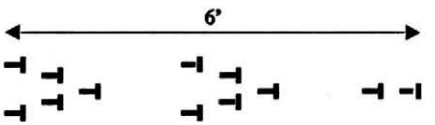
Bojové možnosti a účinnost svazku PVOS jsou nejdůležitějšími charakteristikami, které nám umožňují ohodnotit kvalitu protivzdušné obrany. Tyto charakteristiky budou proto nejčastěji používány při zpracování plánů bojového použití svazku PVOS a při vyhodnocení účinnosti v průběhu bojové činnosti při odrážení úderů prostředků vzdušného napadení.

Uvedený způsob výpočtu bojových možností svazku PVOS nemohl být pro omezenost článku rozebrán podrobněji. Byla úmyslně dopuštěna celá řada zjednodušení problému, která však nemají podstatný vliv na přesnost vyhodnocení bojových možností. Článek uka-

Tabulka 1

H = 15 000 m
V_c = 900 km/hod

model náletu:
N_c = 12



Objekt	Náletový směr / Postup výpočtu	PLRV oddíl	PLRV P	PLRV P'	PLRV T'_s	PLRV m	PLRV t_n	PLRV $\left(N_{STŘ}=m\frac{t_n+T'_s}{T_{cyhl}}+1\right)$	PLRV $P_{ZC}\cdot P_{SŘ}$	PLRV $M(c)_{PLRV}$	SL navádělcí stanoviště	SL S_v	SL t_{pas}	SL $S_b=0{,}5(S_v-V_c t_{pas})$	SL L	SL $v_c t_{cyhl}$	SL $N_{CS}=\frac{L}{V_c\cdot t_{cyhl}}$	SL n	SL N_n	SL $N_{n\,celk}$	SL P_{nSL}	SL $M(c)_{SL}$	$M(c)_{celk}$	μ
	jednotka		km	km	min.	odd.	min.			let.		km	min.	km	km	km		cílů	let.	let.		let.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
B	S–Z	1																						
		4																						
	J–Z	1	6	14	11	2	6	9	0,45	4	1	280	10	65	180	150	1	6	6	9	0,47	4	8	0,67
		2	22								2	320	10	85	160	150	1	3	3					
	J–V	2																						
		3																						

zuje jen možný způsob přístupu k řešení stanovené úlohy. Určení bojových možností a účinnosti svazku bude při praktické činnosti štábů spojeno s výpočty pro velký počet variant činnosti nepřítele a vlastních vojsk. Čím více bude těchto variant, tím názornější, úplnější a přesnější bude matematické vyjádření bojových možností svazku PVOS. Již ze zběžného seznámení se s problematikou stanovení bojových možností je zřejmé, že výpočty o větším rozsahu jsou možné jen s použitím automatických počítacích strojů. Vybavení štábů svazků a svazů strojně početními stanicemi a dalšími prvky automatizace velení umožní použít uvedenou metodu i při vyhodnocení možností svazku v průběhu bojové činnosti, což usnadní správné rozhodování při použití jednotlivých druhů vojsk PVOS a tím i k zvýšení účinnosti celého systému PVOS.

Tam, kde dosud není zavedena automatická výpočetní technika, může být uvedený způsob výpočtů proveden i ručně. Může být však uplatněn pouze při rozpracovávání základních bojových dokumentů řešení nejvýhodnějších bojových sestav a ohodnocení stávající sestavy svazku PVOS, před zahájením bojové činnosti, nikoli však v průběhu bojové činnosti.