

Účinnost úderu SBOL

proti pozemním cílům

Poslední období je charakterizováno stále větší automatizací a stále větším počtem počítačů zařazovaných do oblasti řízení i vlastní výroby. Tato tendence se projevuje i v armádě. Zařazování počítačů do oblasti velení v armádě vytváří předpoklady k širšímu použití matematických metod při přípravě podkladů k rozhodnutí velitele.

Po roce 1945 byla otázkám využití matematických metod v oblasti velení věnována stále větší pozornost. V posledních letech dosahuje proporcionalita řady takových případů vysokého stupně a v odborné literatuře je dnes řada publikací, které umožňují aplikovat některé metody i v oblasti velení frontovému letectvu.

Na druhé straně si musíme uvědomit, že jejich praktické použití často naráží na značné potíže, poněvadž základní propočty, které by měly dát vstupní hodnoty, se zjišťují vžitým způsobem. Tak tomu je i s bombardovacími výpočty při přípravě podkladů letového. Při tom samotné bombardovací výpočty byly a jsou na vysoké úrovni, dosáhly vysokého stupně zpracova-

nosti a můžeme z nich vycházet při řešení nových podkladů, které mohou sloužit jako vstupní parametry při použití matematických metod ve velení.

Zvláštností bombardovacích výpočtů bylo, že hodnotí očekávaný výsledek nebo počet letounů, který zajistí požadovaný výsledek v cíli za předpokladu, že letoun je v prostoru cíle, správně a včas jej určil, takže může úspěšně uskutečnit zteč. Hodnotí tedy jen vlastní zteče jedním nebo větším počtem letounů. Neberou v úvahu celý let, jeho uskutečnění, ztráty za letu. Tím jsou bombardovací výpočty značně omezené, i když z hlediska teorie pravděpodobnosti dosáhly vysoké úrovně.

Toto omezení dává jejich použitelnost.

V článku uvedu možnosti hodnocení účinnosti celého bojového letu stíhacích bombardovacích letounů při bombardovacích úderech. Rozsah příspěvku nedává možnost rozepsat všechny části do plné hloubky, proto ukáži jen na možnosti řešení.

Stanovení ukazatelů účinnosti a modelu operace

Při úderu na pozemní cíl konvenčními pumami nebo atomovou pumou půjde převážně o ničení jednotlivého nebo plošného cíle.

Pod pojmem jednotlivý cíl uvažujeme takový, který bude zničen přímým zásahem nebo dopadne-li puma na určitou vzdálenost od cíle, kterou označíme r_n (poloměr účinku).

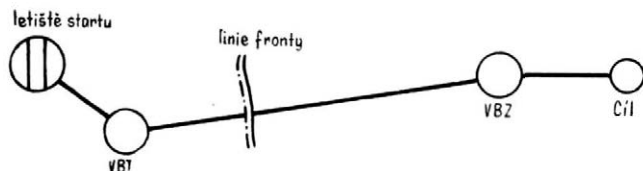
Plošným cílem budeme nazývat takový, kde jedna puma ať konvenční nebo atomová vyřadí zpravidla jen určitou část cíle. Označíme-li S_c

plochu cíle a S_z zničenou plochu cíle, potom bude zpravidla platit, že

$$U = \frac{S_z}{S_c} \leq 1,$$

kde U značí stupeň ničení plošného cíle.

Po rozdělení cílů na jednotlivé a plošné – dělení bude záviset i na zvoleném prostředku



Obr. 1 – Schéma operace

ničení (konvenční, nebo atomová puma) – můžeme přistoupit k volbě ukazatele účinnosti úderu.

Volba ukazatele bude ovlivněna nejen prostředky ničení a cílem, ale hlavně úkolem.

U jednotlivého cíle půjde o jeho zničení (umlčení) a proto jako ukazatele účinnosti použijeme zpravidla pravděpodobnost zničení (umlčení).

U plošného cíle může být úkol rozdílný a to buď dosáhnout co největšího stupně ničení (budeme-li mít omezené prostředky), nebo dosáhnout minimálně určitého stupně ničení (budeme-li mít dostatek prostředků). V prvním případě jako ukazatele můžeme použít střední stupeň ničení (matematickou naději stupně ničení) $M(U)$ a v druhém pravděpodobnost splnění úkolu, čili pravděpodobnost, že dosáhneme požadovaného stupně ničení.

Všimneme si určení pravděpodobnosti zničení jednotlivého cíle a středního stupně ničení plošného cíle. Nebudeme řešit výpočet pravděpodobnosti, že dosáhneme požadovaného stupně ničení, neboť tato úloha je odvozena od předcházející.

Již v úvodu jsem uvedl, že ukazatel účinnosti má charakterizovat splnění úkolu jako celku, to znamená, že v našem případě musí hodnotit celý let, až do splnění úkolu (do uskutečnění úderu). Celou tuto činnost budeme – jak je to běžné ve výzkumu operací – nazývat operací. Naše operace zahrnuje řadu činností a etap. Abychom mohli hodnotit, musíme si stanovit určité schéma celé operace – model operace, v němž potlačíme ty činnosti a etapy, které budou ovlivňovat konečné hodnocení jen

nepatrně. Vyjdeme-li z této skutečnosti, pak za různých podmínek, při různém cíli hodnocení, může být model téže operace různý.

Sestavme model rozebíraného úderu na pozemní cíl.

Postup plnění takové operace bude tento:

- po obdržení rozkazu následuje příprava osádky a bojové techniky,
- start a let do VBT (výchozího bodu trati),
- nalétnutí trati a let nad vlastním územím,
- přelet linie fronty a let do VBZ (výchozího bodu zteče),
- manévry na zteč,
- zteč zakončená ničením cíle.

Taková operace je schematicky znázorněna na obr. 1.

Jednotlivé etapy můžeme dále dělit, bude-li to nutné nebo účelné.

Při vlastním hodnocení velmi často nemusíme uvažovat jako samostatné etapy přípravu k letu a někdy i start a let do VBT, poněvadž pravděpodobnost jejich úspěšného splnění při využití záloh se bude velmi blížit jedné a konečné hodnocení proto ovlivní jen nepatrně. Potom model operace bude mít tyto etapy:

- přelet linie fronty a navedení do VBZ,
- manévry na zteč spojený s upřesněním cíle až do okamžiku zahájení zteče (mířeného bombardování),
- zteč spojená s hodnocením ničivého účinku v cíli.

Kromě těchto etap je nutné vzít v úvahu některé další činnosti:

- překonání PVO nepřítele a
- spolehlivost letounu a použité techniky.

Výpočet ukazatele účinnosti

Ukazatelem účinnosti při úderu na jednotlivý cíl bude pravděpodobnost zničení cíle. Přitom si musíme uvědomit, že k úspěšnému zničení cíle může dojít, bude-li celá operace, úspěšná, tj. všechny její etapy.

Potom, jak známe z teorie pravděpodobnosti, bude pro jednotlivý letoun platit, že

$$W = P_{nav} \cdot P_{zj} \cdot P_{pf} \cdot P(t) \cdot P_z$$

a pro n letounů

$$W_n = 1 - (1 - W)^n,$$

kde:

W_n = pravděpodobnost zničení jednotlivého cíle při úderu n letouny;

W = pravděpodobnost zničení jednotlivého cíle jedním letounem;

P_{nav} = pravděpodobnost navedení letounu do VBZ;

P_{zj} = pravděpodobnost zjištění cíle po průletu VBZ;

P_{pf} = pravděpodobnost překonání PVO nepřítele;

$P(t)$ = spolehlivost letounu jako celku tj. pravděpodobnost, že letoun jako celek bude pracovat bez takové závady, která by znemožnila další plnění úkolu;

P_z = pravděpodobnost zničení cíle při realizaci zteče.

Podobně určíme střední stupeň ničení cíle s přihlédnutím k celému letu. Ten bude

$$W_u = P_{nav} \cdot P_{zj} \cdot P_{pi} \cdot P(t) \cdot M(U)$$

a pro n letounů

$$W_{un} = 1 - (1 - W_u)^n,$$

kde:

W_u = střední stupeň ničení pro jednotlivý letoun;

W_{un} = střední stupeň ničení pro n letounů.

Nyní můžeme přistoupit k určení jednotlivých pravděpodobností.

a) Určení pravděpodobnosti navedení letounu do VBZ.

V dané etapě jde o úspěšné splnění letu po trati a navedení stíhacího bombardovacího letounu do VBZ.

Jako VBZ volíme význačný orientační bod v takové blízkosti cíle, aby bylo zajištěno vyhledání cíle, jeho upřesnění a zteč.

Zatím nebudeme uvažovat činnost PVO nepřítel, kterou budeme hodnotit samostatně.

Kvalita zvoleného orientačního bodu je dána poloměrem zjištění R_{zj} , tj. vzdáleností, která za daných konkrétních podmínek umožňuje zjistit a identifikovat VBZ. K jeho bližšímu určení budeme potřebovat určitou dobu t_{zj} , která bude řádově několik vteřin.

Za dobu t_{zj} uletí letoun trať $W \cdot t_{zj}$, což na obr. 2 odpovídá úsečce SS_1 , kde bod S je náš VBZ.

Při omezeném pozorování ze stíhacího bombardovacího letounu má osádka stranové možnosti, které na schématu jsou vyjádřeny úhly Θ_1 a Θ_2 , přičemž zpravidla platí, že $\Theta_1 = \Theta_2$.

Máme-li dán směr letu na VBZ (na obrázku bod S), potom maximálně povolená stranová odchylka (x_1 ; x_2) může být taková, aby zajišťovala možnost sledovat výchozí bod na trati rovně Wt_{zj} , což odpovídá vzdálenosti bodu 1 a 2.

Stanovme hodnotu x_1 .

Z trojúhelníka 12 S platí, že $\gamma_1 = \Theta_1 - \beta_1$

$$\sin \beta_1 = \frac{Wt_{zj}}{R_{zj}} \sin \Theta_1.$$

Z obrázku dále platí, že $x_1 = R_{zj} \cdot \sin \gamma_1$.

Stejným způsobem můžeme určit i x_2 , ale poněvadž většinou bude $\Theta_1 = \Theta_2$, tedy i $x_2 = x_1$.

Známe-li maximálně dovolené stranové odchylky, můžeme určit pravděpodobnost navedení, neboť

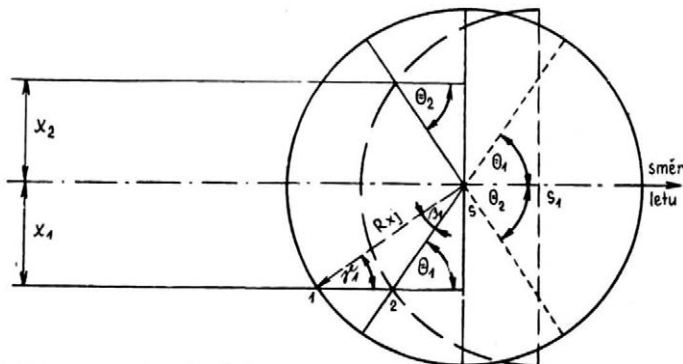
$$P_{nav} = P(x_1 < X < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx,$$

kde $f(x)$ je zákon rozložení četností. V našem případě jde o normální zákon rozložení a tak k výpočtu P_{nav} můžeme použít tabulky Laplaceovy funkce nebo upravené Laplaceovy funkce. Použijeme-li upravenou Laplaceovu funkci, bude

$$P_{nav} = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{x_1}{E} \right) - \Phi \left(\frac{x_2}{E} \right) \right]$$

a bude-li $x_2 = x_1$, potom

$$P_{nav} = \Phi \left(\frac{x_1}{E} \right),$$



Obr. 2 - Schéma navedení do VBZ

kde:

$$\delta \left(\frac{x_1}{E} \right) = \text{upravená funkce Laplaceova pro argument } \frac{x_1}{E};$$

E = pravděpodobná úchylna stranové chyby navedení, která je pro různé prostředky navedení známa.

Podobným způsobem můžeme určit P_{nav} i pro případy složitější, jako je navedení na VBZ s určitou zvolenou stranovou odchylkou a nebo případ, kdy budeme uvažovat i vliv nedodržení kursu, čili úhlovou chybu.

Tyto případy nebudu zde rozebírat, neboť jde o speciální letovodské výpočty, které zajišťují poměrně úzký okruh čtenářů. Připomínám však, že dosud je poměrně málo údajů o R_{zj} a pravděpodobné úchylnce stranové chyby navedení a že k určení těchto hodnot můžeme získat mnoho statistických údajů již v míru při běžném plnění navigačních úloh za letu.

b) Určení pravděpodobnosti zjištění cíle.

Po průletu VBZ musíme přesně určit cíl, abychom mohli úspěšně realizovat zteč.

Ke zjištění a upřesnění cíle potřebujeme určitou dobu, kterou můžeme vyjádřit vzdáleností. Pro cíl to bude rozdíl $R_{max} - R_{min}$, kde R_{max} je maximální dálka, na kterou můžeme cíl zjistit a R_{min} opět minimální vzdálenost určení cíle. Budeme předpokládat, že uvedený rozdíl zajišťuje bezpečné zjištění cíle. My však potřebujeme cíl zjistit a identifikovat již na vzdálenosti, která zpravidla bude podstatně větší než R_{min} , která nám zajistí vlastní zteč. Označme tuto vzdálenost R_{zj} . Budeme-li dále předpokládat, že v tomto případě platí zákon stejné hustoty pravděpodobnosti, potom pravděpodobnost zjištění cíle P_{zj} bude dána poměrem vzdálenosti, kterou máme ke zjištění k dispozici ($R_{max} - R_{zj}$) ke vzdálenosti potřebné k bezpečnému zjištění ($R_{max} - R_{min}$), čili

$$P_{zj} = \frac{R_{max} - R_{zj}}{R_{max} - R_{min}}.$$

Hodnoty R_{zj} jsou pro jednotlivé způsoby bombardování známy. Hodnoty R_{max} a R_{min} jsou uváděny v různé literatuře. Ale i tu jde o hodnoty, které můžeme získávat u celé řady cílů již v mírových podmínkách. Proto bude výhodné věnovat jejich zjištění potřebnou péči.

c) Určení pravděpodobnosti překonání nepřátelské PVO.

Při stanovení pravděpodobnosti překonání nepřátelské PVO musíme vzít v úvahu, že během letu k cíli může vlastní letoun být napaden stíhacím letectvem, protiletadlovými řízenými střelami a střelbou z protiletadlových kanónů.

Za války nám pomohou při určení této pravděpodobnosti statistické údaje ztrát. Při rozvahách v mírovém období je řešení této

otázky velmi obtížné a výsledek má vždy charakter značně přibližných hodnot.

Vycházíme ze známé pravděpodobnosti zničení vlastního letounu za daných podmínek letu, přičemž musíme přihlídnout k celému rozsahu činnosti od zjištění cíle až po jeho zničení a to vždy samostatně pro jednotlivé prostředky PVO, které za daného letu může nepřítel použít. Výpočet těchto pravděpodobností je obdobný jako při řešení pro stíhací bombardovací letoun, takže můžeme předpokládat, že je známe. Potom platí, že

$$P_{pf} = (1 - P_{st})^{\frac{n_{st}}{N}} \cdot (1 - P_R)^{\frac{n_R}{N}} \cdot (1 - P_K)^{\frac{n_K}{N}},$$

kde:

P_{pf} = pravděpodobnost překonání nepřátelské PVO,

P_{st} = pravděpodobnost zničení vlastního letounu nepřátelským stíhačem,

P_R = pravděpodobnost zničení vlastního letounu nepřátelskými ŘS,

P_K = pravděpodobnost zničení vlastního letounu nepřátelskými PLK,

n_{st} ; n_R ; n_K = počet stíhacích letounů (ŘS, kanónů), které mohou být použity proti naší skupině uskutečňující úder,

N = počet vlastních letounů ve skupině.

Z tohoto vztahu je patrné, že přesnost určení P_{pf} bude záviset na přesnosti určení jednotlivých pravděpodobností zničení (P_{st} , P_R , P_K) a exponentů, které určují počet jednotlivých prostředků použitých proti jednomu vlastnímu letounu. Přesnost určení exponentů bude určena znalostí rozmístění nepřátelských prostředků PVO a jejich počtu. Poněvadž to nikdy nebudeme znát přesně, můžeme určit exponent jen přibližně. V boji bude mít proto velký význam využití statistických údajů k upřesnění vlastních rozborů. Při cvičeních v míru mohou podstatně pomoci odborní rozhodci.

d) Určení spolehlivosti letounu.

Spolehlivost letounu rozumíme pravděpodobnost $P(t)$, že za danou dobu letu (t) nevyskytne se taková porucha, která by přerušila plnění daného úkolu.

Jde tedy o problém provozní. Při výpočtu vycházíme nejčastěji z teorie hromadné obsluhy a předpokládáme-li exponenciální funkci rozložení pravděpodobnosti poruchy, potom bude

$$P(t) = e^{-\lambda t},$$

kde:

e = základ přirozených logaritmů,

t = doba trvání letu až do uskutečnění úderu,

λ = hustota (intenzita) výskytu poruch (střední počet poruch za jednotku doby trvání letu).

Hodnotu λ určíme ve spolupráci s techniky, neboť o poruchách tohoto druhu vedou evidenci, z níž určíme střední dobu bezporuchového chodu T a potom

$$\lambda = \frac{1}{T}.$$

Při určování hodnoty λ je účelné vzít v úvahu u letounu resurs.

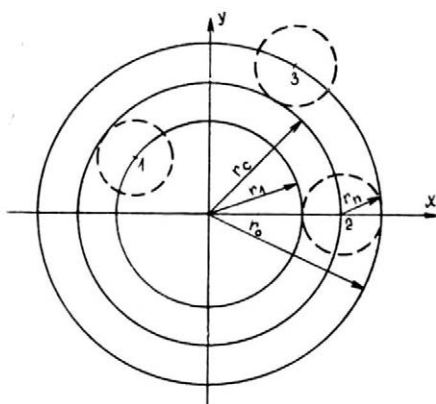
Hodnota $P(t)$ při správném provozu a dodržování prohlídek bude blízká jedné a mnohdy ji nebudeme muset ani uvažovat.

e) Určení pravděpodobnosti a středního stupně zničení cíle.

Pravděpodobnost zničení jednotlivého cíle můžeme definovat jako pravděpodobnost zásahu plochy, která bude dána plochou cíle zvětšenou ve všech směrech o poloměr účinku pumy at konvenční nebo atomové.

Poněvadž výpočet pravděpodobnosti zásahu libovolné plochy je všeobecně známý, nebudu tuto otázku dále rozepisovat.

Určité potíže vznikají při určení středního stupně zničení $M(U)$ při bombardování plošného cíle.



Obr. 3 – Schéma změny stupně ničení

Na obr. 3 je znázorněn kruhový cíl o poloměru r_c a tři kruhové plochy ničení pumy (nebo letounu) o poloměru r_c . Stupeň ničení U je dán vztahem $U = \frac{S_z}{S_c}$, v našem případě bude $S_z = \pi r_n^2$ a $S_c = \pi r_c^2$.

Z obrázku je patrné, že v případě, kdy puma dopadne vně největší kružnice (mezní případ je bod 3), potom stupeň ničení bude nulový. Pravděpodobnost $P(U = 0)$ bude dána pravdě-

podobností zásahu oblasti vně kružnice o poloměru r_p a určíme ji ze vztahu

$$P(u = 0) = e^{-\left(\varrho \frac{r_o}{E}\right)^2}$$

kde:

ϱ = konstanta ($\varrho = 0,4769$),

r_o = poloměr vnější kružnice ($r_o = r_c + r_n$),

E = pravděpodobná úchylna pro daný způsob bombardování.

Podobně určíme i pravděpodobnost, že stupeň ničení bude dosahovat své maximální hodnoty $P(u = u_{\max})$, neboť je dána pravděpodobností zásahu kruhu o poloměru r_1 , kde $r_1 = r_c - r_n$.

Potom platí, že

$$P(U = u_{\max}) = 1 - e^{-\left(\varrho \frac{r_1}{E}\right)^2}$$

kde význam jednotlivých označení známe.

Bude-li zásah uvnitř mezikruží daného kružnicemi o poloměrech r_o a r_1 , bude platit, že

$$0 \leq u \leq u_{\max},$$

přičemž se může plynule měnit.

Stupeň ničení je tedy v našem případě veličina přetržitá v bodech 0 a $u_{\max}$ a spojitá v rozmezí od 0 do $u_{\max}$. Je přirozené, že stejně i funkce rozložení bude v uvedených bodech přetržitá a uvnitř intervalu spojitá.

Pro body 0 a $u_{\max}$ funkci rozložení $F(u)$ určíme lehce, neboť platí, že

$$F(0) = P(U = 0)$$

a

$$F(u_{\max}) = 1 - P(U = u_{\max}).$$

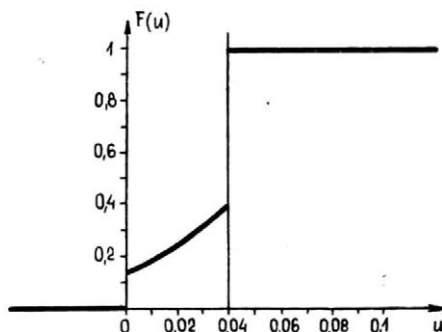
Určité potíže vzniknout při analytickém vyjádření funkce rozložení uvnitř intervalu (spojitá část). Zde jsme schopni vypočítat její hodnotu jen v některých bodech a tak můžeme použít některý z interpolačních vzorců a určit její analytické vyjádření. Jak ukazují výsledky praktických příkladů, postačí většinou lineární interpolace provedená body $[0; F(0)]$ a $[u_{\max}; F(u_{\max})]$.

Průběh funkce rozložení stupně ničení je znázorněn na obr. 4.

Máme-li průběh funkce rozložení, lehce určíme střední stupeň ničení, neboť musí platit, že

$$M[U] = u_{\max} \cdot P(U = u_{\max}) + \int_0^{u_{\max}} u F'(u) du,$$

kde $F'(u)$ je derivace funkce rozložení a při lineární interpolaci to bude konstanta.



Pokusil jsem se ukázat na problém komplexního hodnocení účinnosti úderu stíhacího bombardovacího letounu na pozemní cíl a současně naznačit způsob řešení.

Omezil jsem se jen na to nejpodstatnější a nemohl jsem tedy ukázat na zvláštnosti výpočtů při řešení některých konkrétních případů.

Uvedená metoda není jediná. Tuto úlohu můžeme řešit modelováním na číslcovém počítači a nebo použitím teorie hromadné obsluhy. V obou případech však musíme znát hodnoty uvedené v tomto článku jako vstupní parametry

a proto jsem volil jako demonstraci metodu výpočtem pravděpodobnosti.

Zásadní však zůstává, že celková účinnost bude často podstatně nižší, než je účinnost samotné zteče, jak jsme to uvažovali při bombardovacích výpočtech.

Přitom si musíme uvědomit, že v některých případech při použití protiradiotechnických opatření nepřítelem může se některá pravděpodobnost rozhodujícím způsobem snížit, ovšem stejným způsobem můžeme snížit i účinnost nepřátelské PVO.