

MODELOVANIE PROTIVZDUŠNÉHO BOJA

Súčasná moderná zbraňové systémy vojska protivzdušnej obrany sú predpokladom spoľahlivej obrany vzdušného priestoru našej socialistickej vlasti a štátov Varšavskej zmluvy. Samy o sebe však takúto obranu nezabezpečia. Čím zložitejšie sú tieto prostriedky, tým dôležitejšia je otázka ich optimálneho bojového použitia.

Splnenie úloh protivzdušnej obrany závisí nielen od vybavenosti vojska PVO modernou výzbrojou a vycvičenosťou obslúh, ale tiež od úrovne operačnej pripravenosti veliteľov a štábov pri organizovaní protivzdušnej obrany a riadení bojovej činnosti. Neobyčajne prudko rastúce možnosti novej techniky zvýšili požiadavky na vojenskú a odbornú úroveň veliteľov a štábov. Nová technická základňa vojny si vyžaduje ľudí, ktorí budú vyzbrojení potrebnými odbornými vedomosťami o optimálnom využívaní prostriedkov protivzdušnej obrany.

Aktuálnym otázkam hodnotenia efektívnosti PVO je venovaný tento článok. Na hodnotenie je **popísaná metóda matematického modelovania bojovej činnosti vojska PVO so vzdušným nepriateľom. Metóda je rozpracovaná tak, aby umožnila výpočet ukazovateľov efektívnosti PVO s využitím výpočtovej techniky.**

Metodika hodnotenia efektívnosti protivzdušnej obrany metódou matematického modelovania bojovej činnosti s využitím samostatného počítača zahrnuje systém matematických závislostí a logických pravidiel umožňujúcich s dostatočnou presnosťou popísať prebiehajúce procesy pri predpokladanej dvojstrannej bojovej činnosti.

Jedná sa o dvojstranný model boja, ktorého sa zúčastní uskupenie prostriedkov vojska PVO a nepriateľských prostriedkov vzdušného napadnutia (NPVN). Podstata takéhoto modelu spočíva v opise vymedzení charakteru činnosti bojových zostáv oboch strán, procesu boja ako aj priestoru boja sústavou matematických vzťahov a logických pravidiel. Skúmaný reálny proces sa nahradí modelom, ktorý bude tvorený sústavou uzavretých algoritmov, upravených vo forme programu. Matematický model vedenia protivzdušného boja je vytvorený na základe vzťahov z teórie pravdepodobnosti i hromadnej obsluhy a s využitím zásad teórie štatistických pokusov.

Modelovanie predpokladaných variantov činnosti vzdušného nepriateľa pri hodnotení efektívnosti PVO má prvoradý význam, pretože nielen vlastné prostriedky PVO budú rozhodovať o efektívnosti obrany, ale aj rozsah a charakter činnosti prostriedkov vzdušného napadnutia. Zostaviť univerzálny model úderu vzdušného nepriateľa nie je reálne vzhľadom na počet a premennosť východiskových podmienok. Reálne je však zostaviť, na základe analýzy súčasných poznatkov o operačných, taktických a materiálnych možnostiach nepriateľa, niekoľko predpokladaných modelov úderu NPVN.

Hromadný úder do pásma frontu (armády) môžeme rozobrať variantne ľubovoľným spôsobom. Vychádzame z toho, že rozsah a charakter činnosti vzdušného protivníka je charakterizovaný určitými číselnými parametrami, ktoré kvantitatívne charakterizujú určitý hypotetický model

úderu. Modely úderu treba zostavovať na základe skúseností z bojového použitia v lokálnych vojnách s prihliadnutím na zásady predpisov ČSLA platných pre túto oblasť. Východiskovými údajmi pre zostavenie modelu úderu NPVN do pásma frontu môže byť počet náletových smerov, počet NPVN v nálete, rozčlenenie NPVN do skupín podľa stanovených objektov ničenia, rýchlosť a výška letu cieľov v skupine (charakter letu, odvetná činnosť) a hustota náletu.

Pri tvorbe variantu uskupenia PVO frontu treba vychádzať z konkrétneho operačného uskupenia síl a prostriedkov frontu, ako aj vymedzenia organického začlenenia jednotlivých prostriedkov vojska PVO. Súvňovaním zásad ich bojového použitia možno vytvárať rôzne varianty uskupenia podľa toho, ako budú jednotlivé prostriedky PVO rozmiestnené v elementárnych priestoroch (úsekoch) vojnovnej činnosti. Tieto úseky môžu byť vymedzené v šírke náletovými smermi a v hĺbke určitými pásmami PVO. Pásma sa môžu voliť napr. tak, aby zodpovedali operačnému uskupeniu síl frontu v hĺbke.

Východiskovými údajmi pre každý variant uskupenia prostriedkov vojska PVO môže byť počet pásem PVO, počet palebných jednotiek typu — i a ich rýchlosť paľby, rozmery priestoru účinnej pôsobnosti, hodnota koeficientu účinnosti a pravdepodobnosť zničenia cieľa jedným pôsobením na vzdušný cieľ.

Algoritmus hodnotenia bojovej efektívnosti PVO frontu metódou matematického modelovania s využitím výpočtovej techniky je znázornený na obr. 1. Základom pre výpočet bojovej efektívnosti palebného systému je výpočet strát NPVN, pretože množstvo a rýchlosť ich narastania bude vplývať na celkový priebeh bojovej činnosti. Za základné ukazovatele bojovej efektívnosti boli zvolené:

- matematická nádej počtu zničených cieľov (M_c) a
- koeficient bojovej efektívnosti PVO (E).

Pri použití metódy štatistických pokusov sa matematická nádej počtu zničených cieľov získa na základe výsledkov jednotlivých realizácií (pokusov). Jej hodnota sa vypočíta podľa vzťahu

$$M_c = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R M_{c_r},$$

kde: M_{c_r} — matematická nádej počtu zničených cieľov pri pokuse (realizácii) — r ,

R — počet pokusov (realizácií).

Koeficient bojovej efektívnosti sa vypočíta podľa vzťahu

$$E = \frac{M_c}{N},$$

kde: N — počet NPVN.

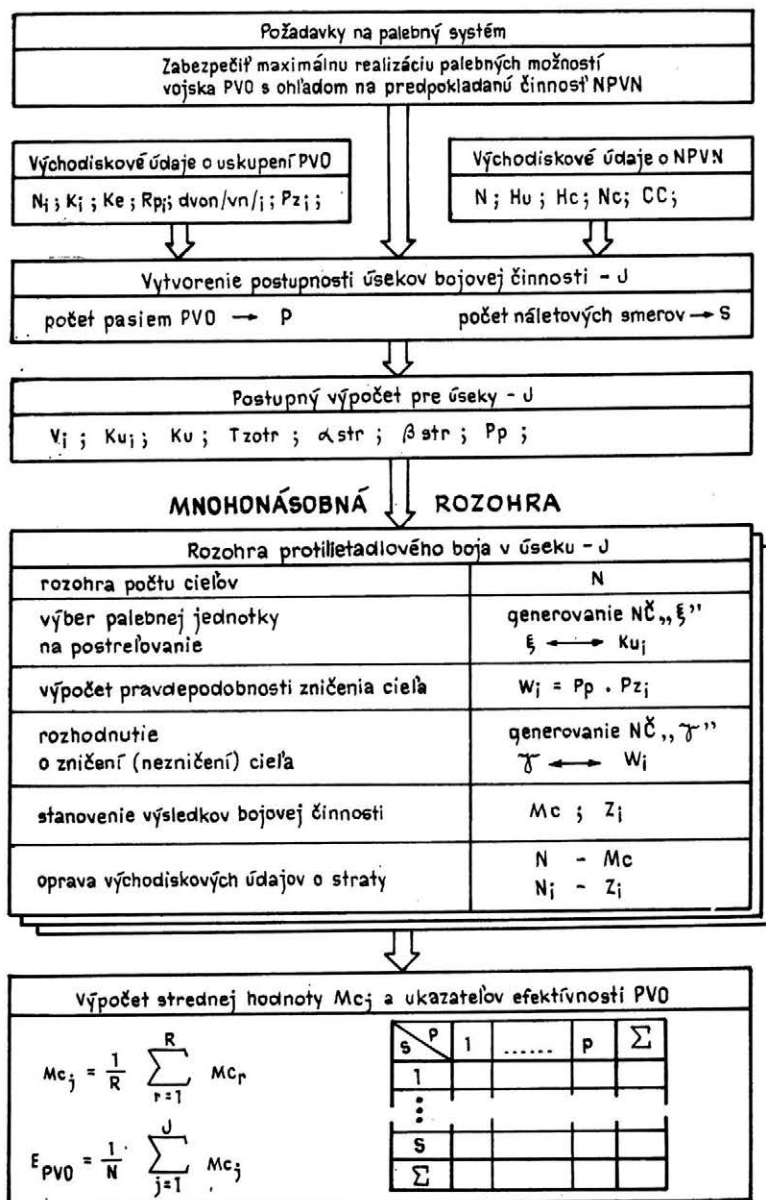
Matematická nádej počtu zničených cieľov sa získa modelovaním bojovej činnosti prostriedkov PVO so vzdušným nepriateľom. Prostriedky vzdušného napadnutia priľietajú do priestoru vojnovnej činnosti frontu v niekoľkých náletových smeroch. Rozsah ako aj charakter činnosti vzdušného protivníka je daný vstupnými údajmi. Palebný systém PVO frontu je organizovaný na palebné pôsobenie proti NPVN zo všetkých náletových smerov. Za účelom modelovania bojovej činnosti môžeme palebný systém rozdeliť na podsystemy, ktoré budú predstavovať uskupenia palebných jednotiek vojska PVO v jednotlivých úsekoch. Tieto úseky sú vymedzené v šírke náletovými smermi a v hĺbke pásmami PVO. Každý takýto úsek pri modelovaní priebehu protivzdušného boja považujeme za časť priestoru vedenia bojovej činnosti, v ktorom budeme vyšetrovať zvolené ukazovatele efektívnosti PVO. Uskupenie palebných jednotiek PVO v takýchto úsekoch môžeme považovať za systém hromadnej obsluhy s obmedzenou dobou čakania alebo s odmietnutím. Výpočet pravdepodobnosti zničenia cieľa (W) možno uskutočniť pomocou matematického aparátu teórie hromadnej obsluhy. Tieto uskupenia sú tvorené väčšinou palebnými jednotkami rôzneho typu. Z tohto dôvodu použitie THO predpokladá najprv uskutočniť prevod zmiešaného uskupenia na uskupenie rovnorodé. Toto je výhodné urobiť porovnaním efektívnosti jednotlivých typov palebných jednotiek. Jednu z nich zvolíme ako ekvivalentnú. Potom treba zameniť každú skupinu palebných jednotiek typu — i porovnovateľným počtom (čo do efektívnosti odrážania náletu danej hustoty) ekvivalentných palebných jednotiek, takže musí platiť

$$W_e = W_i,$$

kde: W_e — stredná pravdepodobnosť zničenia cieľa palebnou jednotkou zvolenou za ekvivalent,

W_i — stredná pravdepodobnosť zničenia cieľa ekvivalentnou počtom palebných jednotiek typu — i.

Na tento prevod možno použiť koeficienty efektívnosti prostriedku PVO (K_i), ktorých hodnoty sú v rámci vojska PVO pre jednotlivé typy palebných jednotiek stanovené. Ak pre zvolenú ekvivalentnú palebnú jednotku bude hodnota tohto koeficientu K_e , potom pre každú z palebných jednotiek



typu — i stanovíme váhový koeficient (koeficient ekvivalentnosti) ako

$$V = \frac{K_i}{K_c}$$

Počet ekvivalentných palebných jednotiek typu — i v zmiešanom uskupení (po prepočítaní na ekvivalentnú palebnú jednotku) stanovíme ako

$$K_{u_i} = V_i \cdot N_i$$

kde: N_i — počet palebných jednotiek typu — i v uskupení PVO.

Celkový počet ekvivalentných jednotiek v rovnorodom uskupení bude

$$K_u = \sum_{i=1}^I K_{u_i}$$

kde: I — počet typov palebných jednotiek.

Pravdepodobnosť postreľovania cieľa (P_p) závisí predovšetkým od strednej rýchlosti protiletadlovej paľby a strednej hustoty cieľov v nálete a od počtu palebných jednotiek, ktoré sa môžu zúčastniť odrážania úderu. Ak považujeme systém protiletadlovej paľby vo vyšetrovanom úseku za systém hromadnej obsluhy s odmietnutím, bude pri centralizovanom riadení paľby pravdepodobnosť postreľovania každého cieľa

$$P_p = \frac{\sum_{k=0}^{K_u-1} \frac{1}{k!} \left(\frac{H_u}{R_p} \right)^k}{\sum_{k=0}^{K_u} \frac{1}{k!} \left(\frac{H_u}{R_p} \right)^k}$$

kde: H_u — hustota nepriateľských prostriedkov vzdušného napadnutia (cieľov) v údere,

R_p — stredná rýchlosť paľby ekvivalentného palebného prostriedku,

K_u — celkový počet ekvivalentných palebných jednotiek v uskupení PVO.

Výber palebnej jednotky typu — i na ničenie jednotlivých cieľov sa robí náhodným výberom. Uskutočňuje sa na základe porovnania vypočítaných hodnôt koeficientov účasti K_{u_i} s náhodne vybraným rovnomerne rozloženým číslom $\xi \in (0; 1)$. Ukazovateľom streľby palebnej jednotky je pravdepodobnosť zničenia cieľa jedným palebným pôsobením, ktorá je okrem iného závislá od charakteru letu cieľa a jeho odvetnej činnosti.

Za predpokladu, že javy zničenia každého jednotlivého cieľa sú štatisticky ne-

závislé a paľba je vedená centralizovane tak, že každý cieľ je pridelený na postreľovanie len jednej palebnej jednotke, potom bude stredná pravdepodobnosť zničenia každého cieľa z náletu

$$W = P_p \cdot P_{z_i}$$

kde: P_{z_i} — pravdepodobnosť zničenia cieľa palebnou jednotkou typu — i pri jednom palebnom pôsobení.

Pri uvažovaní, že bude na daný cieľ počet pôsobení M , je

$$W = 1 - \prod_{m=1}^M (1 - W_m)$$

kde: W_m — stredná pravdepodobnosť zničenia každého cieľa pri pôsobení — m .

Výsledok streľby sa môže modelovať s využitím metódy štatistických pokusov. O tom, či cieľ bol zničený alebo nebol zničený, môžeme rozhodovať pomocou náhodných čísel. Vyberieme náhodné číslo z rovnomerného rozloženia čísel $\gamma \in (0; 1)$ a overíme splnenie podmienky

$$\gamma \leq W$$

Ak je uvedená podmienka splnená, potom považujeme cieľ za zničený.

Presnosť hodnoteného výsledku získaného metódou štatistických pokusov závisí od počtu realizácií (pokusov). Z toho dôvodu treba rozohru protivzdušného boja na každý z cieľov robiť opakovane. Výsledky tohto boja sa registrujú vždy po vykonaní jednej realizácie modelovania. Celkové výsledky získame po vykonaní všetkých realizácií (pokusov). Preto každý výsledok bojovej činnosti získaný v jednej realizácii evidujeme ako časť celkového výsledku.

V modele sú rešpektované aj **straty** bojujúcich strán, ktoré vznikajú v priebehu bojovej činnosti. Vyraďené palebné jednotky z uskupenia PVO, ako aj NPNV, sa nemôžu účastiť na ďalšej bojovej činnosti. Z tohto dôvodu sa v algoritme počíta s možnosťou opravy modelu uskupenia vojska PVO a modelu náletu NPNV o vyradené prostriedky. Predpokladaný počet NPNV na ničenie objektov v ďalšom úseku bude menší o počet zničených cieľov v predšom úseku. Všeobecne možno pre ktorýkoľvek náletový smer a pásmo PVO určiť počet NPNV podľa

$$N_{sp} = \sum_{p=1}^P a_{sp} \cdot N_s - \sum_{p=1}^{k-1} \sum_{n=k}^P M_{Cpn}$$

kde: N_s — počet NPVN vyčlenených z hromadného úderu na náletový smer — s ,
 a_{sp} — percento vyčlenených NPVN do úseku vymedzeného náletovým smerom — s a pásomom PVO — p .

Vyradenie alebo umlčanie palebnej jednotky vzdušným protivníkom závisí od radu faktorov, ktoré charakterizujú stupeň odolnosti PLRK alebo PLD v palebnom postavení proti úderom NPVN. Vzhľadom na zložitosť a rozsiahlosť riešenia tohto problému neuvádzame na tomto mieste metódu výpočtu strát na vlastných palebných jednotkách.

Analogicky sa postupne modeluje bojová činnosť pre všetky ciele v úseku. Po rozohraní posledného cieľa v úseku sa prechádza k modelovaniu bojovej činnosti v nasledujúcom úseku.

Zápis výsledkov protivzdušného boja je výhodné uskutočňovať vo forme matice rozmeru $S \times P$, v ktorých jednotlivé prvky predstavujú vypočítané hodnoty zvolených ukazovateľov v úseku vedenia bojovej činnosti vymedzeného náletovým smerom — S a pásomom PVO — P .

Výpočet ukazovateľov efektívnosti systému protiletadlovej paľby môžeme určiť pre niekoľko variantov úderu a organizácie systému paľby a vybrať optimálne. Treba však pripomenúť, že **matematické modelovanie ako prostriedok analýzy neumožňuje získať riešenie**. Umožňuje získať kvalitatívne ukazovatele pre zdôvodnené riešenie. Prijatie konečného riešenia je právo a povinnosť veliteľa, je výsledkom jeho tvor-

vej činnosti na základe všestranného ohodnotenia situácie a údajov, ktoré získava od dostupných zdrojov informácie, vrátane matematického modelovania bojovej činnosti.

Efektívnosť protivzdušnej obrany sa na základe uvedenej metodiky hodnotí nielen v závislosti od počtu vlastných palebných jednotiek, ako u doteraz použíwanej metodiky, ale tiež v závislosti od rozmiestnenia palebných jednotiek v teréne a v závislosti od rozsahu a charakteru činnosti vzdušného nepriateľa.

Na základe zvoleného matematického aparátu a rozpracovanej metodiky bol vo Vysoké vojenskej technickej škole ČSSP rozpracovaný algoritmus a program pre hodnotenie efektívnosti PVO s využitím počítača EC 1033. Program má označenie „Hodnotenie efektívnosti PVO frontu“ a je uložený na výpočtovom stredisku školy. Rozpracovanie programu je urobené tak, aby bolo možné program využívať pre potreby rozhodovacích procesov v štáboch, výskumných ústavoch a školách ČSEA.

Výsledky hodnotenia efektívnosti PVO s využitím rozpracovanej metodiky umožňujú získať odpovede na otázky:

- akú efektívnosť možno očakávať pri realizácii prijateľného riešenia na PVO,
- koľko a akých palebných prostriedkov treba mať, aby sa dosiahla stanovená efektívnosť PVO,
- ako usporiadať palebné prostriedky a aké spôsoby činnosti treba prijať, aby sa dosiahla stanovená efektívnosť PVO,
- ktorý z navrhovaných variantov organizácie PVO možno považovať za optimálny.

Využitie metódy modelovania boja prostriedkov PVO so vzdušným nepriateľom, pri hodnotení efektívnosti bojového použitia vojsk PVO, sa ukazuje ako veľmi perspektívna metóda pre hľadanie optimálnych riešení. Realizácia matematického modelu vedenia boja so vzdušným nepriateľom na súčasnej výpočtovej technike umožňuje riešiť zložité otázky optimalizácie PVO v závislosti od radu vstupných veličín a hodnotiť rôzne varianty riešenia. Použitie metódy modelovania boja so vzdušným nepriateľom pre optimalizáciu prijatých rozhodnutí má aj veľký ekonomický význam. Metóda dovoľuje analyzovať navrhované opatrenia nielen vzhľadom na predpokladané zvýšenie efektívnosti PVO, ale tiež vzhľadom na potrebné ekonomické náklady. Umožňuje tak odôvodnene vyberať také riešenia, ktoré v plnej miere spĺňujú stanovené požiadavky a pritom sú ekonomicky najmenej náročné. Použitie výpočtovej techniky dovoľuje mnohonásobne skrátiť proces hľadania optimálneho riešenia a podstatne zvýšiť kvalitu prijímaných rozhodnutí.