

Pukovnik

dr LAZAR BODRAŽIĆ

Primena metode nelinearnog programiranja za optimizaciju upotrebe snaga u protivdesantnoj borbi

Uvod

Vazdušnodesantne snage su najpogodnije za izvođenje početnog udara u strategiji munjevitog rata. Savremena avijacija i vazdušnodesantne snage omogućavaju da vazdušni desanti budu tajno pripremljeni, daleko od zone desantiranja i brzo izvedeni. Naša doktrina ONO predviđa naglašenu ulogu vazdušnodesantnih dejstava agresora. Pored široke primene taktičkih helikopterskih desanata, operativno-strategijski vazdušni desanti, zbog svoje siline udara, predstavljaju realnu i veliku opasnost za zemlje sa slabim i nedovoljno organizovanim sistemom protivdesantne borbe. Složena opšta situacija na bojištu, praćena nepovoljnim odnosom snaga, prevlast agresora u vazдушnom prostoru, eventualno iznenađenje, neizvesnost o namerama agresora o veličini angažovanih snaga, objektima dejstva, prostoru i vremenu, i drugi ratni faktori, čine borbu protiv operativno-strategijskih vazdušnih desanata najsloženijim sadržajem oružane borbe. Sve to ukazuje na potrebu svestranog i temeljitog poznavanja suštine vazdušnodesantnih dejstava i protivdesantne borbe, a posebno stepena gotovosti, organizovanosti i borbenih mogućnosti sistema protivdesantne borbe na svakoj mogućoj vazdušnodesantnoj prostoriji naše teritorije i racionalne upotrebe snaga za protivdesantnu borbu.

Bez dobrog poznavanja borbenih mogućnosti svakog sistema protivdesantne borbe, kako kopnene tako i vazdušne komponente, ne mogu im se realno postaviti visoki zahtevi u pogledu brzine, gotovosti i borbene efikasnosti, odnosno mogućnosti za uništavanje vazdušnog desanta u vazdušnom prostoru i na zemlji. Moramo kvantifikovati sopstveni odbrambeni potencijal i optimalno ga upotrebiti prema njegovim borbenim mogućnostima i opštoj borbenoj situaciji na ratištu. Moramo dobro znati kolike snage vazdušnog desanta možemo uništiti u vazdušnom prostoru i kolike su naše snage za to potrebne, a kolike snage će uspeti da se prizemlje na svaku vazdušnodesantnu prostoriju naše teritorije. Za efikasno suprotstavljanje iznenadnoj agresiji moramo potpuno definisati, u kvalitativnom i kvantitativnom smislu, naše odbrambene mogućnosti.

Postavlja se pitanje automatizacije rukovođenja i komandovanja kao i uvođenja informatičke tehnologije u upravljanje borbenim dejstvima. Jedna od osnovnih aktivnosti uvođenja te tehnologije u sistem rukovođenja i komandovanja u borbenim dejstvima jeste priprema polaznih kvantitativnih podataka za borbena sredstva i borbene sisteme, kao i matematičko modeliranje procesa borbenih dejstava.

Zbog sve veće brzine pokretnih borbenih sredstava i sistema (aviona, raketa, tenkova) oseća se veliki nedostatak vremena u svim delovima i fazama procesa rukovođenja i komandovanja u borbenim dejstvima. U uslovima savremenog rata, efikasno rukovođenje i komandovanje borbenim dejstvima već je postalo nemoguće bez automatizacije tog procesa. U nekim slučajevima, na primer, pri odbijanju vazdušnog napada snagama protivvazdušne odbrane, napregnut vremenski režim dovodi do neophodnosti stvaranja potpuno automatizovanih sistema, u kojima se funkcija upravljanja prenosi na elektronske računске mašine, odnosno priprema putem formalizovanih pravila i metoda. Zbog toga će u ovom članku, biti prezentirana jedna od mogućih metoda operacionih istraživanja za kvantifikaciju i optimizaciju upotrebe sopstvenih snaga borbene avijacije u borbi sa operativnim desantom iz vazdušnog prostora.

Radi oslobađanja komandi-štabova od tzv. mehaničkih poslova na pripremi odluka komandanta za upotrebu snaga avijacije u protivdesantnoj borbi, a omogućavanja da se bave kreativnim poslovima oružane borbe, nužno je u procese borbenih dejstava uključiti modernu informatičku tehnologiju i metode operacionih istraživanja¹

¹ O operacionim istraživanjima šire videti: dr Jovan J. Petrić i Zora R. Petrić, *Operaciona ostvarivanja u vojsci*, VIZ, Beograd 1974.

kojima se može, na osnovu modela operacije, postaviti njen matematički model i tako kvantifikovati elemente pomoću elektronskih računara za donošenje odluke za optimalnu upotrebu snaga avijacije.

Stvarna borbena snaga ne crpi se samo iz oružja. Ona se crpi iz skupa raznovrsnih činilaca oružane borbe, od kojih zavisi uspešno izvršavanje borbenih zadataka. Jedan od osnovnih faktora, koji uslovljava veličinu borbenih mogućnosti snaga za protivdesantnu borbu, jeste sistem rukovođenja i komandovanja, jer su rezultati borbenih dejstava u direktnoj proporcionalnosti sa nivoom znanja iz ratne veštine kojim raspolažu rukovodeći i komandni kadrovi.

Radi prikaza metodologije za optimizaciju sastava i upotrebe snaga avijacije u protivdesantnoj borbi, pomoću metode nelinearnog programiranja korišćen je primer sa hipotetičkim podacima za snage operativnog vazdušnog desanta i snage za protivdesantnu borbu, objekte dejstva i vazdušnodesatnu prostoriju, odnosno za fiktivnu operativno-taktičku situaciju.

Metodologija formiranja matematičkog modela procesa protivdesantne borbe sastoji se iz uobičajenih faza, za ovu priliku razrađene u veoma skraćenom obimu, a to su: postavka problema i formulacija modeliranja; model operacije desanta iz vazdušnog prostora i protivdesantne borbe; operativno-taktički opis problema koji sadrži početne podatke, formulaciju kriterijuma — funkcije cilja i formulaciju ograničenja, formiranje matematičkog modela operacije, razradu matematičkog modela i algoritma rešenja. Faze: razrada programa za elektronski računar i nalaženje rešenja, eksperimentalno rešavanje zadatka — testiranje programa i rešenja i primena rešenja nisu razrađene zbog njihovog obima.

Sire govoriti o značaju korišćenja automatizacije procesa rukovođenja i komandovanja i kvantitativnih metoda operacionih istraživanja, nepotrebno je s obzirom na to da su danas dobro poznati složenost i brzina promena uslova i načina odvijanja borbenih dejstava. Komandantu se mora obezbediti više varijanti da bi doneo valjanu kvantitativnu argumentaciju odluke. Za optimizaciju snaga avijacije dat je primer za metodologiju primene metode nelinearnog programiranja kao jedne od determinističkih metoda za rešavanje velikog broja upravljačkih zadataka sa nelinearnim zavisnošima, kakve su u procesu protivdesantne borbe.

Postavka problema i formulacija cilja modeliranja

Početni period lokalnog rata je „idealan” okvir za upotrebu operativno-strategijskih desanata iz vazdušnog prostora. U varijanti agresije gotovim snagama, upotreba operativno-strategijskih desanata je još značajnija zbog još „neuhodanih” odbrambenih sistema napadnute zemlje i zbog problema koji neizbežno prate prelazak na ratno stanje.

Na jednom vojištu nekog ratišta agresor je otpočeo napadnu operaciju sa namerom da izvrši duboke proboje kroz odbranu branioca i tako brzo zauzme ili uništi kritične vojne, političke i privredne objekte, uz tesnu koordinaciju i sadejstvo sa iskrcanim vazdušnodesantnim snagama u pozadinu branioca.

Na osnovu planova i namera za borbena dejstva napadača, odluka napadača i branioca za dejstva snaga, odluke komandanta vazduhoplovnih snaga branioca za borbu sa desantom, treba pripremiti predlog za donošenje komandantove zapovesti za optimalnu upotrebu snaga avijacije u borbi sa operativnim desantom za jedan presek operativnog vremena i operativno-taktičke situacije na vojištu. Radi toga treba, pomoću metode nelinearnog programiranja, pripremiti nekoliko varijanti (za izbor optimalne) za datu opštu situaciju na vojištu. U sledećem primeru, koji će nam poslužiti za razradu matematičkog modela, treba odrediti optimalne snage avijacije za: udar po snagama transportne avijacije, borbu sa snagama borbene avijacije koja obezbeđuje desant, za protivvazdušnu odbranu snaga protivdesantne rezerve, za protivvazdušnu odbranu napadnutih aerodroma i za vatrenu podršku snaga KoV. Snage avijacije treba da budu optimalne, odnosno određene tako da se desantu nanesu maksimalni gubici. Taj cilj će se postići samo ako odredimo one snage borbene avijacije koje će, u konkretnim uslovima, ostvariti najveće rezultate prema svojim borbenim mogućnostima. Cilj je da se snagama sistema protivdesante borbe razbije i uništi desant iz vazdušnog prostora pre no što njegove snage ovladaju objektima svoga cilja i spoje sa snagama koje napadaju s fronta.

Model operacije desanta iz vazdušnog prostora i protivdesantne borbe

Model operacije desanta iz vazdušnog prostora i protivdesantne borbe sadrži sledeće elemente: operativno-taktičke uslove; snage i sredstva za desantiranje; obostrani raspored snaga; plan dejstva;

plan desantiranja; plan dejstva snaga lovačko-bombarderske avijacije u vatrenoj podršci desanta; pregled borbenih mogućnosti snaga sistema PDB po objektima dejstva desanta i drugo.

Usled nedostatka prostora, model desanta iz vazdušnog prostora i protivdesantne borbe daćemo skraćeno u obliku tabele 1 i u operativno-taktičkom opisu problema za jedan presek operativno-taktičke situacije, što je za ovu svrhu dovoljno. Modele izrađuju stručnjaci iz oblasti operatike i taktike.

Operativno-taktički opis problema

U tabeli 1 data je operativno-taktička situacija u kojoj su date snage desanta iz vazdušnog prostora i objekti njihovog dejstva — N_{c_j} , snage sistema PDB, odnosno snage avijacije iz sistema PDB — N_{v_i} i njihove efikasnosti prema snagama i sredstvima desanta — P_{ij} .

Faza operativno-taktičkog opisa problema u metodologiji i razrade modela je dosta složena. Njom se obezbeđuje priprema potrebnih početnih podataka i uspešno postavljanje matematičkog modela koji sa zadovoljavajućom tačnošću treba da odrazi realne uslove u kojima se izvode borbeni dejstva. U toku te faze treba steći uvid i dati odgovore na sledeća pitanja:

a) kakav treba da bude sadržaj početnih podataka, potrebnih za razradu i rešavanje problema? Treba imati u vidu da postoje dve vrste podataka: stalni — taktičko-tehničke karakteristike borbenih sredstava, i promenljivi — parametri kojim upravlja protivnik. Za dobijanje tih podataka — informacija, potrebno je odrediti njihove sigurne izvore. Moraju se odrediti nazivi podataka i njihov sadržaj, jedinice mera, stepen potrebne tačnosti i načini njihovog korišćenja u elektronskim računarima;

b) kakav treba da bude oblik i sadržaj rezultata rešenja? Unapred se specifikuju podaci i njihov oblik koji treba da se dobiju kao izlazne veličine rešavanja datog problema. Isto tako, treba predvideti i broj korisnika kojima treba dostaviti rezultate rešenja, stepen njihove tačnosti i nazive rešenja;

c) pri kakvim ograničenjima je postavljen i razrađen model konkretnog problema? To su osnovna ograničenja i pretpostavke pri razradi modela;

d) poseban problem je pravilna formulacija kriterijuma, odnosno funkcije cilja. Od odabranog kriterijuma zavisi koju ćemo va-

Tabela 1

Snage avijacije sistema PDB	Snage desanta iz vazdušnog prostora po objektima dejstva						Broj vazdu- hoplova sistema PDB (N_i)
	TrA_1 - $lvdd$	LA_4	LBA_2	LBA_3	BA_1	tenkovi T_1	
desant u širem rejonu — R_1	udar po je- diničama KOV-a	udar po ae- rodromima	udar po ae- rodromima	udar po ae- rodromima	udar po jedinicama KOV-a		
Efikasnosti pojedinačnog vazduhoplova iz sistema PDB — tipa „i” pre- ma pojedinačnom napadnom sredstvu desanta — tipa „j” (p_{ij})							
LA_1	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	Nv_1
LA_2	p_{21}	p_{22}	p_{23}	p_{24}	p_{25}	p_{26}	Nv_2
LA_3	p_{31}	p_{32}	p_{33}	p_{34}	p_{35}	p_{36}	Nv_3
LBA_1	p_{41}	p_{42}	p_{43}	p_{44}	p_{45}	p_{46}	Nv_4
Broj napadnih sredstava de- santa (N_{Cj})	N_{C1}	N_{C2}	N_{C3}	N_{C4}	N_{C5}	N_{C6}	$\sum_{j=1}^{i=6} N_{Cj}$
Broj vredno- sti ciljeva (B_{ij})	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	$\sum_{i=1}^{i=4} N_{Vi}$

rijantu za upotrebu snaga primeniti. Pogrešan izbor kriterijuma imaće za posledicu pogrešnu varijantu dejstva i pogrešne zaključke. Nema univerzalnog kriterijuma efikasnosti, već se koriste razni kriterijumi. Pri izradi modela samo za jedan problem može se uzeti više kriterijuma efikasnosti.

Pri izboru kriterijuma efikasnosti mora se voditi računa da zadovolji osnovne zahteve: da odgovara osnovnom cilju izrade modela konkretnog procesa; — da bude tako formulisan da se može shvatiti njegov fizički smisao i da se njegova vrednost može izračunati; — da bude dovoljno osetljiv na sve promene veličina od kojih zavisi, itd.

Početni podaci

Osnovni merljivi početni podaci za rešavanje problema PDB jesu kvantitativne prirode: broj i tip napadnih sredstava desanta iz vazdušnog prostora, broj i tip borbenih sredstava iz sistema za PDB i njihove međusobne efikasnosti (p_{ij}). Razmatraćemo napadne snage desanta po objektima dejstva, snage avijacije iz sistema za PDB i njihove međusobne efikasnosti. Ti početni podaci dati su u tabeli 1. Oni su promenljivog karaktera. Radi primene elektronskih računara za određivanje optimalne varijante za upotrebu snaga sopstvene avijacije, ažurirani (u toku mira) početni podaci za sopstvene snage unose se u memoriju računara, a podaci o protivniku se unose u momentu otkrivanja njegovih napadnih snaga. Zatim se može aktivirati i program za rešavanje tog zadatka optimizacije sastava i upotrebe snaga avijacije u borbi sa desantom iz vazdušnog prostora.

Formulacija kriterijuma — funkcija cilja

Osnovni cilj operacije PDB jeste nanošenje maksimalnih gubitaka desantu sa raspoloživim snagama sistema za PDB (snagama avijacije) u fazi njegovog preleta, kao najosetljivijoj fazi izvođenja desanta. Parametri odluke, koji zavise od nas, a utiču na efikasnost operacije, jesu broj i tip vazduhoplova iz sistema PDB — X_{ij} , koje treba odrediti tako da funkcija cilja $F(x)$ postigne maksimalnu vrednost — $F(x) \max$.

Unapred poznati činioci od kojih zavisi ishod operacije, odnosno vrednost funkcije cilja, jesu sopstvene snage avijacije i njihove borbene mogućnosti.

Formulacija ograničenja

U operaciji PDB osnovna ograničenja jesu broj i tip sopstvenih vazduhoplova i broj i tip napadnih sredstava desanta. U okviru odgovarajućeg matematičkog modela, promenljive koje treba odrediti da bi funkcija cilja postigla maksimalnu vrednost jesu:

X_{ij} — broj vazduhoplova i -tog tipa koje treba rasporediti na cilj j -tog tipa, gde su: $i = 1, 2, 3, \dots, m$; $j = 1, 2, 3, \dots, n$.

Definisanje oblika i sadržaja rezultata rešenja

S obzirom na model operacije desanta, funkciju cilja, ograničenja i polazne podatke, osnovna veličina rezultata rešenja za optimalni sastav snaga avijacije je broj i tip vazduhoplova koje ćemo angažovati za borbu protiv snaga desanta po objektima dejstva (tabela 1).

Formulacija matematičkog modela operacije

Imajući u vidu model operacije desanta iz vazdušnog prostora i PDB, prirodu i oblik početnih podataka, funkciju cilja, prirodu i oblik ograničenja, oblik i sadržaj rezultata rešenja, činioce kojima možemo uticati na ishod operacije PDB, nelinearnim programiranjem — kao jednom od metoda operacionih istraživanja za iznalaženje optimalnog rešenja — možemo rešiti zadatak optimizacije sastava i upotrebe snaga avijacije iz sistema za protivdesantnu borbu.

Matematički model za taj proces sastoji se od matematičkih izraza za funkciju cilja i ograničenja. Funkcija cilja zavisi od broja ciljeva, bojevih vrednosti ciljeva i verovatnoće uništenja cilja te, prema tome, matematički izraz za funkciju cilja ima oblik:

$$F(x) = \sum_{j=1}^n Nc_j B_j P_j \cdot \cdot \cdot, \quad (1)$$

gde je:

Nc_j — broj napadnih sredstava (broj ciljeva) j -tog tipa,

B_j — bojeva vrednost j -tog cilja,

P_j — verovatnoća uništenja svakog (bilo kog) j -tog cilja.

Uzimajući u obzir verovatnoću (p_{ij}) da će j-ti cilj biti uništen ako se na njega rasporedi jedna jedinica i-tog vazduhoplova, lako se može konstatovati da je verovatnoća uništenja svakog j-tog cilja (P_j), kada se na njih rasporedi x_{ij} vazduhoplova i-tog tipa, jednaka:

$$P_j = 1 - \left(1 - \frac{p_{ij}}{Nc_j}\right)^{x_{ij}} \quad (2)$$

Verovatnoća uništenja svakog (bilo kog) j-tog cilja, kada se na njih (ima više ciljeva j-tog tipa) rasporede od svih vrsta i-tih tipova vazduhoplova ($i=1,2,\dots, m$), jednaka je:

$$P_j = 1 - \prod_{i=1}^m \left(1 - \frac{p_{ij}}{Nc_j}\right)^{x_{ij}} \quad (3)$$

Na primer, za $j = 1$, $i = 1,2,3,4$, imamo:

$$P_1 = 1 - \left(1 - \frac{p_{11}}{Nc_1}\right)^{x_{11}} \cdot \left(1 - \frac{p_{21}}{Nc_1}\right)^{x_{21}} \cdot \left(1 - \frac{p_{31}}{Nc_1}\right)^{x_{31}} \cdot \left(1 - \frac{p_{41}}{Nc_1}\right)^{x_{41}} \cdot$$

Za $j = 2$, $i = 1,2,3,4$, imamo:

$$P_2 = 1 - \left(1 - \frac{p_{12}}{Nc_2}\right)^{x_{12}} \cdot \left(1 - \frac{p_{22}}{Nc_2}\right)^{x_{22}} \cdot \left(1 - \frac{p_{32}}{Nc_2}\right)^{x_{32}} \cdot \left(1 - \frac{p_{42}}{Nc_2}\right)^{x_{42}} \cdot$$

P_1 i P_2 predstavljaju verovatnoće da će svaki od Nc_1 ciljeva biti uništen ako se na njih rasporede: x_{11} , x_{21} , x_{31} i x_{41} vazduhoplova, odnosno Nc_2 ciljeva ako se na njih rasporede: x_{12} , x_{22} , x_{32} i x_{42} vazduhoplova. (To su verovatnoće uništenja svakog pojedinačnog — bilo kog od Nc_1 , odnosno Nc_2 ciljeva.)

Prema tome, ukupna vrednost funkcije cilja, merena ukupnim brojem ciljeva, jednaka je:

$$F(x) = \sum_{j=1}^n Nc_j \cdot 1 - \prod_{i=1}^m \left(1 - \frac{p_{ij}}{Nc_j}\right)^{x_{ij}} B_j \quad (4)$$

Rešenje tako formulisanog zadatka nelinearnog programiranja sastoji se u određivanju vrednosti x_{ij} za koje će funkcija (4) postići maksimalnu vrednost a da pri tome budu zadovoljena data ograničenja, kao i prirodni uslov za nepoznate: $x_{ij} \geq 0$ za $i = 1, 2, 3 \dots m$; $j = 1, 2, 3, \dots n$.

Za tako postavljen zadatak funkcija cilja je nelinearna funkcija te se, radi njenog rešavanja, mora prethodno izvršiti njena linearizacija pomoću odgovarajuće logaritamske transformacije.

Ograničenja broja sopstvenih vazduhoplova koje treba rasporediti na ciljeve su sledeća:

Nv_i — ukupan raspoloživi broj vazduhoplova i -tog tipa u sistemu za PDB,

$\bar{N}v_j$ — Minimalni broj svih tipova vazduhoplova raspoređenih na ciljeve j -tog tipa.

Ograničenja ukupnog (raspoloživog) broja svih tipova vazduhoplova i i minimalnog broja svih tipova vazduhoplova koji su raspoređeni na ciljeve j -tog tipa data su izrazima:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq Nv_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq \bar{N}v_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

Razrada matematičkog modela i algoritma rešenja

Kada su u pitanju zadaci nelinearnog programiranja, kod kojih je skup ograničenja (5) i (6) linearan, a funkcija cilja (4) nelinearna tada se, radi lakšeg rešavanja tih zadataka, mora vršiti linearizacija funkcije cilja. Stavljajući da je:

$$1 - \frac{p_{ij}}{Nc_j} = Y_{ij},$$

linearizovana i razvijena funkcija cilja za operativno-taktičku situaciju datu u tabeli 1, gde imamo šest objekata dejstva desanta, ima oblik:

$$\begin{aligned}
F_{\max} = & [N_{c1} \cdot B_1 - \text{anti ln} (\ln N_{c1} + X_{11} \ln Y_{11} + X_{21} \ln Y_{21} + X_{31} \ln Y_{31} + \\
& + X_{41} \ln Y_{41} + \ln B_1)] + [N_{c2} \cdot B_2 - \text{anti ln} (\ln N_{c2} + X_{12} \ln Y_{12} + \\
& + X_{22} \ln Y_{22} + X_{32} \ln Y_{32} + X_{42} \ln Y_{42} + \ln B_2)] + [N_{c3} \cdot B_3 - \text{anti ln} (\ln N_{c3} + \\
& + X_{13} \ln Y_{13} + X_{23} \ln Y_{23} + X_{33} \ln Y_{33} + X_{43} \ln Y_{43} + \ln B_3)] + N_{c4} \cdot B_4 - \\
& \text{anti ln} (\ln N_{c4} + X_{14} \ln Y_{14} + X_{24} \ln Y_{24} + X_{34} \ln Y_{34} + X_{44} \ln Y_{44} + \\
& + \ln B_4)] + [N_{c5} \cdot B_5 - \text{anti ln} (\ln N_{c5} + X_{15} \ln Y_{15} + X_{25} \ln Y_{25} + \\
& + X_{35} \ln Y_{35} + X_{45} \ln Y_{45} + \ln B_5)] + [N_{c6} \cdot B_6 - \text{anti ln} (\ln N_{c6} + \\
& + X_{16} \ln Y_{16} + X_{26} \ln Y_{26} + X_{36} \ln Y_{36} + X_{46} \ln Y_{46} + \ln B_6)] \quad (7)
\end{aligned}$$

Za dobijanje masovnog napada borbene avijacije desanta, za dejstva po transportnoj avijaciji i po oklopnim snagama, potrebno bi bilo angažovati onoliko borbenih vazduhoplova koliko se ciljeva otkrije na ekranima pokazivača osmatračkih radara. To znači da bi nam za tu varijantu bilo potrebno $N_{vj} = N_{cj}$ borbenih vazduhoplova. Iz te konstatacije proizilazi da su ograničenja za ovu varijantu:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = N_{vi}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \leq N_{cj}, \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (9)$$

Ograničenje (8) znači da prema uslovu zadatka — u borbi protiv desanta — treba angažovati sve raspoložive snage avijacije iz sistema za PDB, a ograničenje (9) znači da bi minimalan broj svih tipova vazduhoplova, raspoređenih na ciljeve j-tog tipa — N_{vj} , mogao biti najviše jednak broju ciljeva — N_{cj} .

U razvijenom obliku, za operativno-taktičku situaciju, datu u tabeli 1, ograničenja (8) i (9) imaju oblik:

$$\begin{aligned}
X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} &= N_{v1}, \\
X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} &= N_{v2}, \\
X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} &= N_{v3}, \\
X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} &= N_{v4},
\end{aligned} \quad (10)$$

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} \leq N_{c1},$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} \leq N_{c2},$$

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} \leq N_{c3},$$

$$X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} \leq N_{c4},$$

$$X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} \leq N_{c5},$$

$$X_{16} + X_{26} + X_{36} + X_{46} \leq N_{c6},$$

(11)

U ograničenjima (10), prema uslovima zadatka, angažujemo sve raspoložive snage borbene avijacije u borbi sa desantom, a ograničenja (11) znače da bi nam, za postizanje odnosa snaga 1 : 1 bilo potrebno angažovati u borbi onoliko borbenih vazduhoplova koliko se ciljeva pojavilo u vazдушnom prostoru i na zemlji — oklopne snage. Znači, minimalan broj svih tipova vazduhoplova, koje bi trebalo rasporediti na j-te ciljeve, trebalo bi da bude jednak broju ciljeva za tu varijantu traženog odnosa snaga. Međutim, kako su naše ukupne snage borbene avijacije u ovom zadatku znatno manje od snaga desanta, što uglavnom treba i očekivati u eventualnoj agresiji i upotrebi desanta, to će maksimalan broj svih tipova borbenih vazduhoplova (koje bi trebalo rasporediti na j-te ciljeve) biti manji od broja ciljeva te su zbog toga i smerovi znakova nejednakosti u ograničenjima (11) tako i napisani.

U toj varijanti optimizacije sastava i upotrebe snaga borbene avijacije uzeli smo u obzir samo borbene mogućnosti borbene avijacije, a ne i borbene mogućnosti objekata dejstva desanta (artiljerijsko-raketne snage). Uzimanjem u obzir i borbene mogućnosti tih objekata, u rešenju za optimalan sastav snaga borbene avijacije imali bismo i druga rešenja za X_{ij} , jer bi se za manji broj napadnih ciljeva desanta po objektima dejstva, angažovale iste borbene avijacije za iznos borbenih mogućnosti snaga kopnene komponente sistema za PDB, odnosno za iznos

$$F_{odj} = N_{cj} - \bar{N}_{cj},$$

gde je:

F_{odj} — borbene mogućnosti snaga kopnene komponente sistema za PDB po objektima dejstva desanta;

N_{ci} — broj ciljeva, odnosno napadnih sredstava desanta bez uzimanja u obzir F_{odj} ;

N_{cj} — broj ciljeva, odnosno napadnih sredstava desanta sa uzimanjem u obzir F_{odj} .

Prema tome, ograničenja za varijantu prema kojoj se uzimaju u obzir i borbene mogućnosti snaga kopnene komponente sistema za PDB bila bi:

$$\sum_{i=1}^n \bar{X}_{ij} = N_{vi} \quad (12)$$

($i = 1, 2, 3, \dots, m$)

$$\sum_{j=1}^m \bar{X}_{ij} \cdot \bar{N}_{cj} \quad (13)$$

($j = 1, 2, 3, \dots, n$)

Ograničenja (10) i (11) za tu varijantu su analogna, s tim što umesto X_{ij} i N_{cj} pišemo $\bar{X}_{ij}$ i $\bar{N}_{cj}$.

Funkcija cilja za drugu varijantu upotrebe snaga borbene avijacije je analogna prvoj, s tim što u nju umesto vrednosti za X_{ij} unosimo vrednosti za $\bar{X}_{ij}$.

Normalno je očekivati da će vrednost funkcije cilja za drugu varijantu biti veća, što zavisi od borbenih mogućnosti snaga kopnene komponente sistema za PDB po objektima zaštite.

Efikasnosti p_{ij} , date u tabeli 1, predstavljaju verovatnoće izvršenja borbenih zadataka p_{izij} i one su jednake.

$$p_{izij} = p_{ij} = p_{navij} \cdot p_{napij} \cdot p_{pogij} \cdot K_{si} \cdot K_{coij} \cdot K_{ovij}, \quad (14)$$

gde je:

p_{navij} — verovatnoća navođenja sopstvenog borbenog aviona tipa-i na cilj tipa-j;

p_{napij} — verovatnoća napada sopstvenog borbenog aviona tipa-i na cilj tipa-j;

p_{pogij} — verovatnoća pogađanja avionom tipa-i cilja tipa-j;

- K_{s_i} — koeficijent sigurnosti rada tehničkih borbenih sistema na avionu tipa-i;
- $K_{eo_{ij}}$ — koeficijent uticaja elektronskog ometanja protivnika tipa-j na avionu tipa-i;
- $K_{ov_{ij}}$ — koeficijent uticaja odbrambene vatre cilja tipa-j na avion tipa-i (objekta dejstva).

Praktični aspekti tog razrađenog matematičkog modela su veoma značajni i različiti. Pored brze kvantitativne argumentacije, potrebne za pravovremeno donošenje odluka za optimalnu upotrebu snaga, ljudstvo komandi i štabova se uključuje u organizovani timski rad i tako značajno skraćuje vreme potrebno za planiranje borbenih dejstava. Pored organizacijsko-tehničkog i ekonomskog aspekta, takav rad, odnosno metodologija modeliranja procesa, ima veliki značaj za ratnu veštinu uopšte. On omogućava da se još za vreme mira za PDB pripreme različite varijante za optimalnu upotrebu sopstvenih raspoloživih snaga prema veličini snaga protivnika. Radi toga mogu se sačiniti pregledi u obliku tabele 2.

Znači, na bazi poznavanja veličine sopstvenih snaga borbene avijacije — N_{vi} , njihovih efikasnosti prema različitim napadnim snagama desanta — p_{ij} , varirajući fiktivne veličine različitih napadnih snaga od N_{cl} do N_{cn} , možemo odrediti borbene mogućnosti sopstvene borbene avijacije iz sistema za PDB za svaku vazdušnodesantnu prostoriju i to pripremiti u obliku tabele koje će se lako moći koristiti radi kvantitativne argumentacije elemenata za donošenje odluke o upotrebi sopstvenih snaga borbene avijacije za protivdesantnu borbu.

Tako izračunate funkcije cilja za raspoložive sopstvene snage i fiktivne napadne snage desanta omogućavaju da u stvarnim borbennim dejstvima brzo odredimo (odaberemo) funkcije cilja koje odgovaraju veličini i vrsti napadnih snaga desanta po objektima njegovog dejstva. Prilikom tog „pridodavanja” objekata dejstva desanta njegovim stvarnim napadnim snagama, ako želimo optimizirati snage borbene avijacije po drugoj varijanti (uzimanjem u obzir i borbene mogućnosti snaga kopnene komponente sistema za PDB), od tih snaga se oduzimaju snage koje mogu biti uništene snagama kopnene komponente i sa tako umanjenim snagama desanta po objektima dejstva za iznose F_{odj} , određujemo optimalne snage sopstvene borbene avijacije za borbu sa snagama desanta, odnosno onu funkciju cilja iz tabele koja odgovara umanjenim napadnim snagama. Na pri-

Tabela 2.

Snage avijacije sistema za PDB	Napadne snage desanta				Broj vazduho- plova sistema za PDB
	TrA	LBA	BA	oklopne snage	
A_1	X_{11}/p_{11}	X_{12}/p_{12}	X_{13}/p_{13}	X_{14}/p_{14}	N_{v1}
B_2	X_{21}/p_{21}	X_{22}/p_{22}	X_{23}/p_{23}	X_{24}/p_{24}	N_{v2}
C_3	X_{31}/p_{31}	X_{32}/p_{32}	X_{33}/p_{33}	X_{34}/p_{34}	N_{v3}
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
D_i	X_{i1}/p_{i1}	X_{i2}/p_{i2}	X_{i3}/p_{i3}	X_{i4}/p_{i4}	N_{vi}
Broj napadnih sredstava de- santa — N_{cn}	N_{c1} N_{c2} N_{cn}	N_{c1} N_{c2} N_{cn}	N_{c1} N_{c2} N_{cn}	N_{c1} N_{c2} N_{cn}	
Vrednost funk- cije F_n	$F_1 = f(X_{1j}, p_{1j}, N_{c1})$. . . $F_1 = f(X_{1j}, p_{1j}, N_{cn})$	$F_2 = f(X_{2j}, p_{2j}, N_{c1})$. . . $F_2 = f(X_{2j}, p_{2j}, N_{cn})$	$F_3 = f(X_{3j}, p_{3j}, N_{c1})$. . . $F_3 = f(X_{3j}, p_{3j}, N_{cn})$	$F_4 = f(X_{4j}, p_{4j}, N_{c1})$. . . $F_4 = f(X_{4j}, p_{4j}, N_{cn})$	

mer, ako su u napadu na neki objekat snage $N_c = 60$ aviona LBA, a borbene mogućnosti snaga kopnene komponente tog objekta $F_{\text{cop}} = 10$ aviona LBA, taj objekat dejstva ćemo „pridružiti” onoj funkciji cilja koja je pripremljena za napadne snage $N_c = 50$ aviona LBA a ne za $N_c = 60$ aviona LBA. Na isti način ćemo postupiti i za druge objekte dejstva desanta.

U ovom primeru fiktivne operativno-taktičke situacije pretpostavili smo četiri objekta dejstva desanta, odnosno onoliko koliko ima vrsta napadnih snaga desanta. Zbog toga bi razradili i pripremili četiri funkcije cilja — F_1, F_2, F_3 i F_4 . U realnoj borbenoj situaciji jedan objekat mogu napasti sve četiri vrste napadnih snaga desanta, odnosno može biti potrebno da se odrede sve četiri funkcije cilja za taj jedan objekat dejstva. Ili, da više objekata bude napadnuto istom vrstom snaga desanta, kada za više objekata dejstva desanta treba određivati samo jednu funkciju cilja.

Ostale faze metodologije formiranja matematičkog modela procesa, ovom prilikom neće biti razmatrane. Razrada programa za elektronski računar, njegovo testiranje i primena, za takve modele, odnosno za takvu funkciju cilja i ograničenja posao je stručnjaka za informatiku i matematiku. Današnji stepen razvoja savremene računarske tehnike, odnosno mogućnosti informacionog sistema koji čine kadrovi, organizacija, elektronski računari i programi, programiranje i formalizacija ovako postavljenih problema i modela, vrlo se uspešno rešavaju.

Ako se opredelimo za varijantu upotrebe snaga borbene avijacije i to: sve raspoložive snage LBA i $2/3$ raspoloživih snaga LA u borbu sa desantom, od tih snaga $1/5$ snaga LA da vodi borbu sa snagama LA koje štite desant, a $1/3$ snaga LA za PVO sopstvenih aerodroma, tada bi, rešenjem zadatka na elektronskom računaru, dobili sledeće rezultate borbenih dejstava: 32 uništena transportna aviona tipa TrA_1 , u svakom po 64 vojnika i 11 uništenih borbenih aviona tipa LBA_3 .

Za postizanje tih rezultata optimalan sastav sopstvenih snaga borbene avijacije morao bi biti: lovaca tipa LA_1 — $X_{11} = 22$; lovaca tipa LA_2 — $X_{21} = 13$ i $X_{22} = 4$; lovaca tipa LA_3 — $X_{32} = 4$ i $X_{34} = 21$; lovaca bombardera tipa LBA_1 — $X_{41} = 53$.

Vidimo da nam je za nanošenje maksimalnih gubitaka desantu po ovoj varijanti, a to su 32 transportera i 11 borbena aviona, potrebno angažovati 117 borbenih aviona. Za neku drugu varijantu za koju će se komandant opredeliti (zavisno od opšte situacije na bojištu i ličnog nahođenja), dobili bismo i druge rezultate dejstva i dru-

gi sastav sopstvenih snaga borbene avijacije, ali opet za maksimalne rezultate i optimalni sastav i veličinu sopstvenih snaga avijacije. Ovde je bitno da se obezbeđuje da sopstvena avijacija uvek ide u borbu sa napadnim sredstvima po meri njenih borbenih mogućnosti, a ne slabiji na jačeg ili obrnuto, jer to neće biti optimalno rešenje za sastav i veličinu sopstvenih snaga po konkretnoj varijanti upotrebe sopstvenih snaga.

Zaključak

Vazdušnodesantna dejstva su po svojoj suštini oblik tzv. vertikalnog manevra, koji zakonomerno prisiljava protivnika da deli snage za suprotstavljanje sa fronta i za obezbeđenje dubine borbenog rasporena, odnosno teritorije. Otuda je, pri opredeljenju organizacije i snaga, i za protivdesantnu borbu, kao jednog od najsloženijih sadržaja oružane borbe, od bitnog značaja da se što tačnije predvidi stepen mogućeg vazdušnodesantnog ugrožavanja — po snagama, prostoru i vremenu. Na bazi takvog predviđanja i procena, moguće je radi optimalne upotrebe sopstvenih snaga borbene avijacije, još u miru, isplanirati njenu upotrebu tako da se protivniku nanese maksimalni gubici.

Prezentirana metoda nelinearnog programiranja lako se može formalizovati i tako problem protivdesantne borbe, tako struktuiran, na zadovoljavajući način rešiti, odnosno matematički isprogramirati optimalnu upotrebu snaga borbene avijacije za borbu protiv desanta iz vazdušnog prostora.

Rešavanje takvih problema prezentiranom metodologijom korišćenjem matematičkog — za fino formirane probleme i heurističkog programiranja — za loše strukturirane probleme, omogućava pravovremeno planiranje optimalne upotrebe snaga zavisno od njihovih borbenih mogućnosti i borbenih mogućnosti snaga protivnika. Međutim, uvek treba imati u vidu vrhovni kriterijum istine, a to je: da su čovek i njegovo stvaralaštvo još nezamenljivi. Isto tako, treba imati u vidu da čoveka treba osloboditi, uslovno rečeno, „mehaničkih” poslova, a ostaviti mu kreativne poslove na pripremi i donošenju odluka za upotrebu snaga u borbenim dejstvima. Te „mehaničke” poslove, odnosno kvalifikaciju i optimizaciju snaga, sigurno će brže i kvalitetnije obaviti tehnika.

SUMMARY

APPLICATION OF THE NON-LINEAR PROGRAMMING METHOD FOR THE OPTIMIZATION OF USE OF FORCES IN FIGHTING THE AIRBORNE ASSAULT FORCES

Non-linear programming as one of deterministic methods in solving of a large group of command and control tasks. Non-linear programming tasks cannot be solved by application of a universal method. Depending on its mathematical model, character and dimensions of non-linearity, for each task a new method, or adaptation of one of the existing ones, is needed.

Methodology of solving of tasks of optimization of utilization of aviation forces in fighting the airborne assault forces. The aim function in this task is the destruction of the maximum number of assault combat means, and therefore is a non-linear one, while the strengths of own and enemy forces (the limiting factor) are linear ones. For the purpose of application is given a method of linearization of such an aim function by means of logarithmic transformation. In addition to this is presented a methodological approach in the application of operational research methods for solving of similar tasks of optimization of use of forces in the field of the armed combat.

RESUME

L'APPLICATION DE LA METHODE DE PROGRAMMATION NON-LINEAIRE EN VUE D'OPTIMISER L'UTILISATION DES FORCES DANS LA LUTTE ANTIDESCENTE

Le présent article traite de la programmation non-linéaire qui fait partie du groupe de méthodes déterministes de résolution d'une grande classe de problèmes de direction. Les problèmes de programmation non-linéaire ne peuvent pas être résolus par l'application d'une méthode universelle, car chaque problème concret, compte tenu de son modèle mathématique caractère et dimension de non-linéarité, nécessite une méthode nouvelle ou bien l'adaptation de l'une des méthodes existantes.

Y est présentée la méthodologie de résolution des problèmes de l'optimisation des forces aériennes dans une lutte antidescente. La fonction du résultat de ce problème consiste à détruire un nombre maximal des moyens de combat d'attaque de descente, et elle est nonlinéaire, alors que les limitations sont présentées par les valeurs des forces propres et par celles des forces de la descente et elles sont linéaires. A titre d'application y est offerte la méthode moyennant laquelle cette fonction du résultat est linéarisée par voies de transformation logarithmique. En outre, y est présentée aussi l'approche méthodologique d'application des méthodes de recherche opérationnelle concernant la résolution de tel problème du domaine de la lutte armée permettant d'optimiser l'emploi des forces.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ
В ОПТИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИЛ В ПРОТИВДЕСАНТНОЙ БОРЬБЕ

В статье рассматривается нелинейное программирование, относящееся к группе детерминистических методов решения одного большого класса заданий управления. Задания нелинейного программирования нельзя решать при помощи какого-нибудь универсального метода, но для каждого конкретного задания, в зависимости от его математической модели, характера и размеров нелинейности, нужно создать новый метод или приспособить какой-то существующий.

В статье дается методология решения заданий оптимизации сил авиации в противодесантной борьбе. Функция цели в этом задании заключается в уничтожении максимального количества атакующих боевых имуществ десанта, и она является нелинейной, а ограничения составляют величины собственных сил и сил десанта, и они являются линейными. Для применения дается метод превращения такой функции в линейную при помощи логарифмической трансформации. Кроме этого, дается и методологический подход к применению исследования операций в решении таких задач в области вооруженной борьбы и оптимизации использования сил.