Dr Momčilo P. Milinović,
docent, dipl. inž.
Mašinski fakultet,
Beograd

Mr Branko N. Đedović,
potpukovnik, dipl. inž.
Tehnička uprava GŠ VJ,
Beograd

SINTEZA IZVRŠNIH ORGANA SUV ZA BRZOMANEVRIŠUĆE CILJEVE U REALIZACIJI UPRAVLJAČKE FUNKCIJE NA BAZI HIDRAULIKE

UDC: 623.418.2:623.593.53

Rezime:

U radu su analizirane karakteristike savremenih brzomanevrišućih ciljeva u vazdušnom prostoru i uloga automatskog sistema za upravljanje vatrom (SUV) u obezbeđenju pogotka cilja. Postavljen je problem sinteze elektrohidrauličkog servosistema sa primenom mikroračunara u realizaciji upravljačke funkcije na bazi hidraulike (princip brain and brown), u funkciji izvršnih organa sistema upravljanja vatrom. Predložena je nova kontura upravljačke šeme koja obezbeđuje poboljšane statičke i dinamičke karakteristike sistema upravljanja. Primenjena je koncepcija prostora stanja u sintezi sistema, simulacija rada digitalnog sistema upravljanja na računaru i snimljeni karakteristični parametri ponašanja u realnom vremenu.

Ključne reči: brzomanevrišuća cilja, sistem upravljanja vatrom, izvršni organi, elektrohidraulički servosistem, mikrokontroler, kupola, top, tačnost pozicioniranja, brzina reagovanja, stabilnost.

SYNTHESIS OF ACTUATORS IN THE FIRE CONTROL SYSTEM FOR FAST MOVING TARGETS DURING THE HYDRAULIC CONTROL FUNCTION REALIZATION

Summary:

The characteristics of modern fast moving air targets are analyzed as well as the role of the automatic fire control system (FCS) in target hitting. The electrohydraulic servosystem synthesis is done applying a microcontroller during a hydraulic control function realization (the 'brain and brown' principle) in function of FCS actuators. A new outline of control scheme, which enables improved static and dynamic characteristics of the control system, has been proposed. The state-space conception has been applied in the system synthesis, the functioning of the digital control system has been simulated on a computer and the characteristic parameters of behaviour in real time have been registered.

Key words: fast moving target, fire control system, actuators, electrohydraulic servosystem, microcontroller, turret, gun, positioning accuracy, reaction speed, stability.

Uvod

Brzomanevrišuća ciljevi u vazdušnom prostoru čije se karakteristike leta od momenta detekcije pa nadalje ne mogu aproksimirati linearnim kretanjem, proizvod su novih tehnologija,

a njihova konstrukcija rezultat je primene najnovijih tehničkih, teoretskih i praktičnih saznanja niza multidisciplinarnih nauka. Njihove performanse i taktičko-tehničke karakteristike ispoljene su visokim dinamičkim svojstvima, pa se pred konstruktore izvršnih

organa sistema upravljanja vatrom oruđa postavlja zadatak projektovanja visoke preciznosti položaja i maksimalne brzine reagovanja. Ovaj zadatak prati niz konfliktnih zahteva i ograničenja fizičke i tehničke prirode. Dosađanja rešenja u realizaciji upravljačke konture izvršnih organa sistema upravljanja vatrom (SUV) za brzomanevrišće ciljeve, kod nas i u svetu, dala su samo delimično zadovoljavajuće rezultate. Istražuju se i nova rešenja strukture konfiguracije izvršnih organa SUV simbiozom najnovijih tehničkih dostignuća, putem modernih metoda sinteze sistema upravljanja, inkorporacijom niza strukturalno različitih komponenata u jedinstvenu funkcionalnu celinu koja predstavlja složeni sistem automatskog upravljanja.

Primena SUV u borbi protiv brzomanevrišćih ciljeva

Sistemi upravljanja vatrom, u svojoj osnovi, razvijeni su na temelju naučnih spoznaja i tehničkih dostignuća teorije i prakse automatskog upravljanja — teorije upravljanja sistemima. Svoju složenost konceptijskih rešenja i savremenost u primeni novih tehnologija pokazuju sistemi za upravljanje vatrom za ciljeve u vazдушnom prostoru, sa nizom karakteristika inherentnih samo njima.

Visoka dinamička svojstva brzomanevrišćih ciljeva nametnula su potrebu vrlo visokog stepena automatizacije sistema za upravljanje vatrom, što je omogućilo da se savremeni borbeni avioni mogu gađati na vrlo malim visinama leta i to sa visokom verovatnoćom pogotka. Kako je efikasan razvoj raketnih sistema za protivvazдушnu odbranu, pre svega, namenjenih za gađanje ciljeva na srednjim i velikim visinama, to je došlo do intenzivnog razvoja lakih artiljerijskih protivavionskih

(LA PA) oruđa za gađanje ciljeva na malim visinama, čime je inicirana potreba za širim izučavanjem efikasnijeg SUV ovakvih borbenih sredstava.

Velike brzine leta borbenih aviona, velika ubrzanja, nagli i veoma oštri zaokreti kursa leta u kojima se, u relativno kratkom vremenu, menja smer, daljina do cilja i brzina kretanja (oštri manevri, poniranja i uspinjanja) nametnuli su stroge zahteve brzohodnosti i tačnosti praćenja sistema upravljanja vatrom. Poseban značaj u obezbeđenju definisanih zahteva SUV imaju izvršni organi od kojih se zahteva da na osnovu informacija o parametrima kretanja cilja u momentu detekcije i iterativnih pretpostavki o njegovom budućem kretanju, cev LA PA oruđa u najkraćem vremenu dovedu u zahtevani ugaoni položaj, koji će, uz sve balističke zakonitosti, obezbediti efikasan pogodak cilja.

Za razliku od ostalih činilaca koji opredeljuju efikasnost gađanja, kod SUV postoje najveće rezerve u doprinosu poboljšanju efikasnosti gađanja ciljeva u vazдушnom prostoru.

Brzomanevrišći cilj u vazдушnom prostoru definisan je: položajem, brzinom (horizontalnom i vertikalnom), ubrzanjem, dimenzijom, oblikom i ranjivošću u odnosu na dejstvo projektila.

Jednačina kretanja cilja, pod hipotezom da se cilj kreće približno konstantnim ubrzanjem, određuje se obrascem:

$$\vec{D}(t) = \vec{D}(t_0) + \int_0^t \vec{v}_c dt \quad (1)$$

Pri poznatom ubrzanju $\vec{a}_c = \vec{a}_c(t)$ u funkciji vremena, brzina $\vec{v}_c(t)$ i zakon kretanja $\vec{D}(t)$ određuju se relacijom:

$$\vec{v}_c = \vec{v}_c(t_0) + \int_{t_0}^t \vec{a}_c(t) dt, \quad (2)$$

$$\vec{D}(t) = \vec{D}(t_0) + \int_{t_0}^t [\vec{v}_c(t_0) + \int_{t_0}^t \vec{a}_o(t) dt] dt. \quad (3)$$

Brzina cilja u bilo kom trenutku vremena je vektor $\vec{v}_c = \frac{d\vec{D}}{dt} = \dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k}$, gde su $\dot{x}$, $\dot{y}$, $\dot{z}$ koordinate vektora brzine u koordinatnom sistemu Oxyz. Kretanje manevrišućeg cilja u prostoru, sa odbrambenim prostorom LA PA oruđa prikazano je na slici 1. Cilj izvodi složeno kretanje čiji se parametri određuju u odnosu na pokretni koordinatni sistem $Ax'y'z'$ sa početkom u centru cilja, i nepokretni koordinatni sistem Oxyz sa početkom u centru LA PA oruđa. Kretanje u odnosu na nepokretni sistem Oxyz je apsolutno — translatorno pomeranje, a kretanje u odnosu na pokretni sistem $Ax'y'z'$ je relativno-obrtno pomeranje. Polazeći od vektora brzine $\vec{v}_c$ i vektora položaja $\vec{D}$ cilja, sledi da je vektor apsolutne brzine cilja $\vec{v}_{ac}$ jednak zbiru vektora prenosne brzine $\vec{v}_{pc}$ i vektora relativne brzine $\vec{v}_{rc}$, odnosno:

$$\vec{v}_{ac} = \vec{v}_{pc} + \vec{v}_{rc} \quad (4)$$

Vektor apsolutnog ubrzanja cilja $\vec{a}_{ac}$ jednak je vektorskom zbiru: relativnog $\vec{a}_{rc}$, prenosnog $\vec{a}_{pc}$ i Koriolisovog ubrzanja $\vec{a}_{kc}$, odnosno:

$$\vec{a}_{ac} = \vec{a}_{pc} + \vec{a}_{rc} + \vec{a}_{kc} \quad (5)$$

Rešavanje problema susreta projektila i manevrišućeg cilja zasniva se na kontinualnom praćenju kretanja cilja, merenju parametara kretanja: da-

ljine do cilja, brzine i ubrzanja (uvodni parametri), na osnovu kojih se izvodi predikcija budućeg kretanja i definiše moguća tačka susreta. Predikcija tačke susreta za vreme leta t_p obavlja se korišćenjem Tejlorovog polinoma.

Upotrebljene oznake predstavljaju:

- $\vec{D}(t)$ — vektor položaja cilja,
- $\vec{v}_c$ — vektor brzine cilja,
- $\vec{a}_c$ — vektor ubrzanja cilja,
- $\vec{v}_{ac}$ — vektor apsolutne brzine cilja,
- $\vec{v}_{pc}$ — vektor prenosne brzine cilja,
- $\vec{v}_{rc}$ — vektor relativne brzine cilja,
- $\vec{a}_{ac}$ — vektor apsolutnog ubrzanja cilja,
- $\vec{a}_{pc}$ — vektor prenosnog ubrzanja cilja,
- $\vec{a}_{rc}$ — vektor relativnog ubrzanja cilja,
- $\vec{a}_{kc}$ — vektor Koriolisovog ubrzanja cilja.

Imajući u vidu napadne brzine brzomanevrišućih ciljeva na daljinama dometa LA PA oruđa (od 200 do 500 m/s), u slučaju detekcije cilja na daljini od 3000 m, što je realno očekivati u uslovima brdovitog i ispresecanog terena, oruđu ostaje 10 s vremena za obavljanje svih funkcija (od detekcije do gađanja), pri čemu za gađanje ostaje 3 do 5 s ovog intervala. Da bi se postiglo dovoljno kratko vreme reagovanja, zahtev za savremene LA PA sisteme kreće se od 5 do 8 s. Ovo vreme se deli na:

- otkrivanje cilja i legitimisanje 1,5 do 3 s;
- procenu cilja 0,5 s;

- navođenje kupole (za 90°) i topa (za 90°) 1,5 s;
- akviziciju cilja 0,5 s;
- praćenje cilja 0,5 do 3 s;
- komandu za otvaranje vatre 0,5 s.

Da bi se za ovako koncipirano LA PA oruđe obezbedilo optimalno vreme reagovanja od 6 s potrebno je da iz-

Kinematska struktura objekta upravljanja

Objekat upravljanja SUV LA PA oruđa je platforma borbenog sredstva (kupola zajedno sa topom) — inerciona masa koja se obrće u horizontalnoj ravni, i naoružanje borbenog sredstva (top) — elevaciona masa — inerciona masa koja se obrće u vertikalnoj ravni. Ugaoni opseg obrtanja inercione ma-

Sl. 1 — Kretanje manevrišućeg cilja sa odbrambenim prostorom LA PA oruđa

vršni organi SUV obezbede maksimalne ugaone brzine pokretanja po pravcu do 1,5 rad/s i visini do 1,3 rad/s, statičku tačnost 0,3 mrad i dinamičku tačnost od 0,5 mrad, što opredeljuje zahteve kvaliteta u sintezi sistema upravljanja, njegovih izvršnih organa.

se u horizontalnoj ravni — po pravcu je n x 360° , a ugaoni opseg obrtanja inercione mase u vertikalnoj ravni — po visini je od -5° do $+85^\circ$.

Izvršni organi SUV treba da obezbede upravljanje i pokretanje obrtnih masa po pravcu i visini, uz zadovoljenje strogih zahteva tačnosti pozicioni-

ranja, brzohodnosti navođenja i tačnosti praćenja brzomanevrišućih ciljeva, usmeravajući objekt upravljanja u prostoru.

Dinamički parametri obrtanja inercione mase po pravcu određuju se primenom klasičnih i savremenih matematičkih postupaka i to sa konstantnim momentom inercije. Međutim, u praksi se istovremeno sa obrtanjem kupole sa topom u horizontalnoj ravni kreću i delovi topa — elevaciona masa u vertikalnoj ravni, pa je u toku obrtanja objekta upravljanja moment inercije rotacionih masa promenljiv.

Glavni parametri kojima je definisana dinamika objekta upravljanja u sve tri ose su:

- $\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}$ — kretanje topa po visini u koordinatnom sistemu $O_2x_2y_2z_2$;
- $\Theta, \dot{\Theta}, \ddot{\Theta}$ — kretanje kupole po pravcu u koordinatnom sistemu $O_1x_1y_1z_1$;
- $\zeta, \dot{\zeta}, \ddot{\zeta}$ — kretanje tela borbenog sredstva u vertikalnoj ravni $O_3x_3y_3z_3$;
- $\xi, \dot{\xi}, \ddot{\xi}$ — kretanje tela borbenog sredstva u horizontalnoj ravni $O_3x_3y_3z_3$;

Sl. 2 — Kinematska struktura objekta upravljanja

Sprega kretanja objekta upravljanja, po pravcu i elevaciji, čini sistem složenim pa je u diferencijalnim jednačinama obrtanja kupole s topom po pravcu potrebno uvesti u razmatranje kretanje delova topa — elevacione mase po visini. Dakle, dinamički parametri objekta upravljanja analiziraju se u režimu spregnutog kretanja. Kinematska struktura objekta upravljanja šematski je prikazana na slici 2.

- $\eta, \dot{\eta}, \ddot{\eta}$ — kretanje tela borbenog sredstva u poprečnoj ravni $O_3x_3y_3z_3$.

Kupola sa topom obrće se dejstvom zakretnog momenta $M_{m1}(t)$, što predstavlja upravljačku promenljivu podсистема upravljanja po pravcu, dok top — elevaciona masa ima svojstva klatna.

Na slici 2 korišćene su sledeće oznake:

- m — masa topa — elevacione mase,
- g — ubrzanje Zemljine teže,
- f_{tk} — koeficijent viskoznog trenja kupole,
- M_{m1} — zakretni moment motora pravca,
- L — rastojanje od oslonca do težišta elevacione mase,
- I — momenat inercije kupole s topom za osu rotacije,
- J — momenat inercije elevacione mase za osu rotacije,
- M — masa kupole s topom,
- H — horizontalna sila reakcije u tački oslonca elevacione mase,
- V — vertikalna sila reakcije u tački oslonca elevacione mase.

Jednačina za horizontalne i vertikalne sile i jednačina momenta obrtanja mase u horizontalnoj i vertikalnoj ravni opisane su sledećim relacijama:

$$\Sigma X \Rightarrow m \frac{d^2}{dt^2} [L \sin \varphi(t)] = H(t), \quad (6)$$

$$\Sigma Z \Rightarrow m \frac{d^2}{dt^2} [L \sin \varphi(t)] = V(t) - mg \quad (7)$$

$$\Sigma M \Rightarrow J \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} = LV(t) \sin \varphi(t) - LH(t) \cos \varphi(t) \quad (8)$$

$$I \frac{d^2 \Theta(t)}{dt^2} = M_{m1}(t) - f_{tk} \frac{d}{dt} \Theta(t) \quad (9)$$

Izborom promenljivih stanja

$$\begin{aligned} x_1 &= \Theta(t), \\ x_2 &= \dot{\Theta}(t), \end{aligned} \quad (10)$$

$$x_3 = \Theta(t) + L' \varphi(t),$$

$$x_4 = \dot{\Theta}(t) + L' \dot{\varphi}(t),$$

slede jednačine stanja objekta upravljanja

$$\dot{x}_1(t) = x_2(t),$$

$$\dot{x}_2(t) = \frac{1}{I} M_{m1}(t) - \frac{f_{tk}}{I} x_2(t),$$

$$\dot{x}_3(t) = x_4(t), \quad (11)$$

$$\dot{x}_4(t) = g \varphi(t) = \frac{g}{L'} [x_3(t) - x_1(t)].$$

Radi diskretizacije diferencijalne jednačine stanja date relacijom (11), određuje se kretanje posmatranog dinamičkog sistema, objekta upravljanja, u intervalu $kT < t < (k+1)T$. Posmatra se vektor stanja $x(t)$ samo u trenucima odabiranja (uzorkovanja), jer je u sistem, u funkciji senzora stanja objekta, primenjena digitalna komponenta — inkrementalni enkoder. U ovom intervalu vektor ulaza je konstantan, pa se može napisati kao:

$$\begin{aligned} x(t) &= \Phi(t - kT)x(kT) + \\ &+ \left[\int_{kT}^t (t - \tau) b d\tau u(kT) \right], \end{aligned} \quad (12)$$

gde je:

$$\Phi(t) = e^{At} = L^{-1} [sI - A]^{-1} \quad (13)$$

fundamentalna matrica.

Jednačina prelaza stanja diskretnog modela objekta upravljanja izražava se relacijom:

$$\begin{aligned} x(k+1)T &= \Phi(T)x(kT) + \\ &+ \Gamma(T)u(kT) \end{aligned} \quad (14)$$

gde je:

$$\Gamma(T) = \int_{kT}^{(k+1)T} \Phi[(k+1)T - \tau] b d\tau \quad (15)$$

Diskretna matrica prelaza stanja, data relacijom (13), glasi:

$$\Phi = \begin{bmatrix} s & -1 & 0 & 0 \\ 0 & s + \frac{f_{tk}}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s & -1 \\ \frac{g}{L'} & 0 & \frac{g}{L'} & s \end{bmatrix} \quad (16)$$

Realizacija upravljačke funkcije na bazi hidraulike

Upravljačka funkcija sistema upravljanja realizovana je na bazi elektrohidrauličkih servosistema. Oni se odlikuju karakteristikama koje ne poseduje nijedna druga vrsta servosistema, jer se njima može upravljati velikim inercionim teretima sa velikim spoljnim opterećenjima, visokom tačnošću i velikim brzinama odziva, sa velikih udaljenosti i malim snagama na ulazu.

U dužem vremenskom periodu elektrohidraulički servosistemi veoma uspešno prate i ispunjavaju zahteve izvršnih organa SUV vojnotehničkih sistema. Njihova kompjuterizacija i simbioza sa mikroelektroničkim komponentama integrisanim, kako u upravljačkom krugu u funkciji regulatora, tako u samim komponentama radi optimizacije rada svake komponente posebno, kao i celine, proširila je polje istraživanja i nagovestila nove mogućnosti.

Podaci ukazuju na to da je hidrauličkim servosistemom (servomehanizmom) sa prigušnim upravljanjem moguće ostvariti ubrzanje obrtne platforme do 2500 rad/s i brzine do 50 rad/s, sa propusnim opsegom do 100 rad/s. Nije poznato da je ovako svojstvo za sada moguće ostvariti nijednim drugim tipom servomehanizama.

Zahtevi koji se postavljaju pred sistem upravljanja obrtnim masama u definisanom zadatku, uslovili su koncepciju složenog sistema upravljanja sastavljenog od:

- upravljačkog podсистема,
- podсистема upravljanja po pravcu,
- podсистема upravljanja po visini.

Ovako koncipiran sistem upravljanja omogućuje analizu komponenata i sistema kao celine. Elektrohidraulički servosistem (EHSS), kao koncepcijsko rešenje izvršnih organa, dat je u varijanti složenog hidrauličkog sistema sa dva hidromotora upravljana elektrohidrauličkim servorazvodnicima, napajanim hidrauličkom energijom iz jedne servopumpe sa stabilizatorom pritiska. Sistem ima više ulaznih poremećajnih i izlaznih veličina i spada u grupu multivarijabilnih sistema automatskog upravljanja.

Upravljački podсистem koncipiran je tako da omogućuje povremeno precizno i tačno dobijanje upravljačkog signala na izlazu iz mikrokontrolera, kojim se utiče na EHSS za upravljanje po pravcu i visini. Obrada podataka — informacija o cilju, projektilu i meteorološkoj situaciji, prema zadatom balističkom programu, omogućuje brzo i tačno izračunavanje balističkih parametara, uglova pravca i visine koje će zauzeti top u momentu opaljenja. Uz dati zadatak u upravljačkom podсистemu se realizuje funkcija regulatora procesa upravljanja i obezbeđuje da sistem ima optimalne karakteristike u prelaznom i ustaljenom stanju, odnosno u fazi navođenja i praćenja. Programabilnost funkcije regulatora čini sistem fleksibilnim i visokoadaptibilnim svim uslovima upotrebe. Principijelna šema upravljačkog podсистema prikazana je na slici 3.

Podсистem za upravljanje po pravcu treba da omogući kupoli s topom

kretanje po pravcu, analogno ulaznom signalu, navođenje na cilj i praćenje brzomanevrišućeg cilja po položaju i brzini kretanja. Kvalitativna blok-šema podsistema upravljanja po pravcu, prikazana je na slici 4.

Podsistem za upravljanje po visini ima zadatak da omogući topu — elevacionoj masi kretanje po visini ana-

- K_{ce1}, K_{ce2} — ukupni koeficijent curenja za izvršne organe pravca i visine,
 V_{tp1}, V_{tp2} — ukupna zapremina fluida izvršnih organa po pravcu i visini,
 B — modul stišljivosti fluida,
 M_{v1}, M_{v2} — spoljni momenti po pravcu i visini,

Sl. 3 — Principijelna šema upravljačkog podsistema

logno ulaznom signalu, i navođenje na cilj i praćenje brzomanevrišućeg cilja po položaju i brzini kretanja. Kvalitativna blok-šema podsistema upravljanja po visini, prikazana je na slici 5.

U blok-šemama korišćene su sledeće oznake:

- K_{k1}, K_{k2} — koeficijenti konverzije servorazvodnika pravca i visine,
 T_{1s}, T_{2s} — vremenske konstante servorazvodnika pravca i visine,
 K_{Q1}, K_{Q2} — koeficijenti pojačanja protoka hidromotora pravca i visine,
 q_{rm1}, q_{rm2} — specifični protok hidromotora pravca i visine,

- ω_{h1}, ω_{h2} — hidraulička neprigušena frekvencija hidromotora pravca i visine,
 δ_{h1}, δ_{h2} — hidraulički faktor prigušenja hidromotora pravca i visine,
 ω_{t1}, ω_{t2} — sopstvena neprigušena frekvencija reduktora pravca i visine,
 δ_{t1}, δ_{t2} — faktor prigušenja reduktora pravca i visine,
 Θ, φ — ugaono pomeranje obrtnih masa po pravcu i visini.

Mikroračunarska implementacija digitalne strukture

Upravljački podsistem složenog sistema upravljanja čini mikroračunar sa U/I međusklopovima, A/D i D/A pre-

Sl. 4 — Kvalitativna blok-šema EHSS za upravljanje po pravcu u pozicionom režimu rada

Sl. 5 — Kvalitativna blok-šema EHSS za upravljanje po visini u pozicionom režimu rada

tvaračima konfiguracije 486 — PC mikrokontroler.

Algoritam rada računara unosi se u memoriju i, na osnovu zadatog upravljačkog signala, u funkciji digitalnog regulatora, vrši korekciju upravljanja u dve ose — po pravcu i visini. Mikroračunar na svom ulazu prima signale povratnih sprega o položaju, ugaonoj brzini i ubrzanju objekta upravljanja, preko obrtnih enkodera — za svaku osu posebno, kao digitalnih ekvivalenata potenciometrima u analognoj tehnici. Numeričkim diferenciranjem izlaza obrtnog enkodera dobija se informacija o brzini i ubrzanju ugaonog pomeranja.

Program je definisan za upravljačku strukturu PID regulacije, omogućuje željeno definisanje u oba smera, maksimalno dozvoljene brzine, ubrzanja i greške praćenja u obe ose. Program zahteva definisanje mašinskih parametara radi prilagođavanja upravljačkog sistema mehaničkoj strukturi. Parametri koji se podešavaju su: PID parametri servoalgoritma, brzina kretanja u ručnom režimu rada, jedinični inkrement u ugaonim jedinicama, maksimalna dozvoljena greška pozicije, maksimalna dozvoljena brzina i ubrzanje. Pravilan izbor parametara ima presudnu ulogu za siguran rad sistema, pa se radi toga sprovodi i optimizacija prethodno dobijenih prenosnih funkcija regulatora oba podsistema u PID konfiguraciji.

Usklađivanje sistema obavlja se uvođenjem PID regulatora, čija je prenosna funkcija data relacijom:

$$G_{pid} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_{is}} + T_d \right) S \quad (17)$$

gde su:

K_p — faktor proporcionalnog dejstva,

T_{is} — vremenska konstanta integralnog dejstva,

T_d — vremenska konstanta diferencijalnog dejstva.

Koncepcija stanja u procesu sinteze sistema upravljanja

Savremena teorija upravljanja, koja se zasniva na konceptu stanja sistema, koristeći matematičke algoritme, promenljiva stanja, vektor stanja i prostor stanja omogućava precizno definisanje stabilnosti, upravljivosti, osmotrivosti, osetljivosti, optimalnosti i adaptibilnosti sistema automatskog upravljanja.

Primenom koncepta stanja sistema računarskom simulacijom, na osnovu korisničkog programa MATLAB, obavljaju se analiza i sinteza digitalnog pozicionog složenog multivarijabilnog sistema upravljanja, prema prenosnim funkcijama koje opisuje sistem upravljanja po pravcu i visini.

Analizira se model objekta — procesa u vidu vektorske diferencijalne jednačine stanja

$$x[(k+1)T] = A x(t) + B u(t)$$

i algebarske jednačine izlaza

$$y(kT) = C x(t) + D u(t), \quad (18)$$

gde su:

$x(kT)$ — vektor stanja sistema,

A, B, C, D — matrice sistema,

$u(t)$ — ulaz sistema.

Odziv digitalnog sistema upravljanja po pravcu, na jediničnu STEP funkciju u pozicionom režimu rada, poka-
zan je na slici 6. U vremenu $t=0,82$ s u sistem se uvodi spoljni poremećaj, a nakon vremena $t=1,15$ s sistem se stabilizuje. Vreme stabilizacije sistema, nakon uvođenja spoljnog poremećaja iznosi $t=0,33$ s. Odziv digitalnog sistema upravljanja po visini na jedi-

Sl. 6 — Odziv digitalnog sistema upravljanja po pravcu na jediničnu STEP funkciju u pozicionom režimu rada

Sl. 7 — Odziv digitalnog sistema upravljanja po visini na jediničnu STEP funkciju u pozicionom režimu rada

Tabela

Pokazatelj	Oznaka	Podsystem za upravljanje po pravcu	Podsystem za upravljanje po visini
Vreme uspona	Tu	0,12 s	0,05 s
Vreme smirenja	Ts	0,35 s	0,15 s
Vreme kašnjenja	Tk	0,08 s	0,04 s
Preskok	Mp	1,50	1,50
Predominantna vremenska konst.	Td	0,23 s	0,09 s
Greška ustaljenog stanja	e	1 %	1 %

ničnu STEP funkciju u pozicionom režimu rada, prikazan je na slici 7. U vremenu $t=0,62$ s u sistem se uvodi spoljni poremećaj. Nakon vremena $t=0,85$ s sistem se stabilizuje. Vreme stabilizacije sistema nakon delovanja spoljnog poremećaja iznosi $t=0,23$ s.

Pokazatelji dinamičkog ponašanja digitalnog složenog multivarijabilnog EHSS za automatsko upravljanje po dve ose, na osnovu kretanja sistema datog u prostoru stanja i odziva podsystema prikazanih na slikama 6 i 7, prikazani su u tabeli.

Zaključak

Izvršni organi u sistemu upravljanja vatrom za brzomanevrišne ciljeve, realizacijom upravljačke funkcije na bazi hidraulike i primenom mikro-računara u funkciji digitalnog regulatora, obezbeđuju primarne zadatke upravljanja definisane dinamičkim svojstvima savremenih ciljeva u vazдушnom prostoru. Sinteza sistema upravljanja primenom koncepta prostora stanja, simulacija rada sistema na računaru, provera hipoteza i snimanje

karakterističnih parametara ponašanja u realnom vremenu daje zahtevani kvalitet zadatka upravljanja i obezbeđuje

je realizaciju visokokvalitetnog fizičkog modela.

L i t e r a t u r a:

- [1] Abduli, R., Ciner, P.: Elektrohidraulički servosistemi, Zagreb, 1985.
- [2] Astrom, J. K., Wittenmark, B.: Computer Controlled Systems, 1984.
- [3] Kvakernak, H., Sivan, R.: Linear Optimal Control Systems, New York, London, Sydney, Toronto, 1972.
- [4] Bangert, H.: Trends der Elektronik in der Hydraulik, Olhydraulik und Pneumatik, 38, Nr. 11—12, 1994.
- [5] Stojić, M. R.: Digitalni sistemi upravljanja, Beograd, 1989.
- [6] Katz, P.: Digital control using mikroprocessors, Englewood Cliffs, New Jersey, London, New Delhi, Sydney, Toronto, Tokyo, Singapore, Wilington, 1981.