

MOGUĆNOSTI PROJEKTOVANJA TRENAŽERA SASTAVLJENOG OD ELEMENTA PERSONALNOG RAČUNARA

UDC: 355.235.693:681.322

Rezime:

Univerzalnost, pristupačnost, cene hardvera i softvera za personalne računare čine da se komponente personalnih računara koriste za razne konstrukcije. Na taj način moguće je konstruisati trenažer sa moćnom hardverskom i softverskom podrškom na bazi personalnog računara. U ovom članku obavljena je sistematizacija postupka i relevantnih informacija za projektovanje trenažera koji bi se koristio u kabinetskim uslovima, posebnoj prostoriji ili platformi koja simulira borbena vozila (ili plovila). Izloženi pristup projektovanju zasnovan je na mogućnostima realizacije, interesovanju za ovaj problem i rasprostranjenosti primene personalnih računara.

Ključne reči: projektovanje, trenažer, personalni računar.

POSSIBILITIES TO DESIGN A TRAINING DEVICE USING PERSONAL COMPUTER PARTS

Summary:

Universality, accessibility and low price of hardware and software are priorities which determine using PCs as much as possible. According to that, there is a way to construct a training device with powerful configuration. This article systematizes procedures and data for designing a training device. The device can be used in offices, special rooms or platforms which simulate battle vehicles or battleships. The represented preliminary of constructing is based on realization possibilities, interest for this problem and personal computers availability.

Key words: design, training device, personal computer.

Uvod

Obuka posade za rad na savremenim borbenim sistemima složena je i skupa, a u nekim fazama i veoma rizična. Da bi se smanjili troškovi deo obuke mora se izvoditi na simulatorima oružja i raznim pomoćnim sredstvima postavljenim na oruđe i metu, tako da se gađanje simulira a rezultat elektronski beleži. Za složenije oružne sisteme često se koriste simulator-

ski sistemi, tj. trenažeri, gde računari simuliraju ulazne podatke i funkcije oružnih sistema, registruju tok obuke i daju podatke za ocenu stepena osposobljenosti posluge (operatora). Upotreba takvih sistema ne isključuje obuku na realnim borbenim sistemima, ali se posade efikasno pripremaju za rad uz manji utrošak resursa neophodnih za upotrebu borbenog sistema. Trenažeri su vremenom pokazali svoju efikasnost, ali zbog visoke

cene prevashodno su se primenjivali u slučajevima kada je obuka na sredstvu složena, rizična i veoma skupa (vožnja aviona, broda, borbenog sredstva). Danas se mogu konstruisati i trenažeri čije su cene niže, a da je njihova efikasnost na nivou uređaja čija je cena vrlo visoka. To su trenažeri sa značajnom softverskom podrškom koja obezbeđuje da obuka bude ekonomična, efikasna, fleksibilna, a programski prostorno i vremenski integrisana. Ako se pođe od toga da je osnovni princip obuke njeno približavanje realnim uslovima, to znači da proces obuke treba što više da se približi uslovima kakvi vladaju pri obavljanju borbenih zadataka. Programom obuke i taktičkim vežbama na terenu mogu se stvoriti uslovi bliski stvarnoj situaciji. Zavisno od namene trenažera, kao nastavnog sredstva sa kompleksnom didaktičkom funkcijom (sa pogodnim i prilagođenim programima obuke i taktičkim vežbama), obezbeđuje se simulacija svih funkcija realnog sredstva ili samo određenih funkcija. Mogu se koristiti za početnu ili kompletnu obuku pojedinaca i kompletnih posluga borbenih sistema.

Za uspešnu obuku operatora trenažer treba da obezbedi odgovarajuću simulaciju funkcija sredstva (vozilo, avion, komunikacioni centar, komandni centar ili drugo), opreme na tom sredstvu (npr. za navigaciju, osmatranje, praćenje ciljeva, komunikaciju i dr.) i situacije na terenu (bojište, dejstvo protivničkih snaga i sl.).

Da bi trenažer zadovoljio zahteve savremene obuke on mora da poseduje ne samo odgovarajući oblik (izgled) komandnog pulta, kabine i opreme već i pogodnu hardversku i softversku podršku. Pri tome se mogu koristiti hardverski i softverski moduli koji su identični mo-

dulima u realnom sistemu, ili zamene (emulacije) kod kojih se namenski koristi komercijalni hardver sa softverima koji koristi stvarni hardver. Simulacijom se mogu obuhvatiti sve očekivane situacije, što se realizuje tako da se stvarne funkcije sistema softverski modeliraju na osnovu matematičkog opisa (modela) procesa koji se simulira. Opisivanje nekog procesa odgovarajućim matematičkim relacijama, odnosno modelom, obezbeđuje da se taj proces može reprodukovati, odnosno simulirati [6]. Zahvaljujući pristupačnoj ceni i univerzalnosti hardvera za personalne računare, moguće je njihovo korišćenje za konstrukciju računarske podrške trenažera. Pri tome, ako se trenažer koristi u kabinetnim uslovima, upotrebene komponente ne moraju biti vojne verzije.

Definisanje problema

Za konstrukciju uređaja namenjenih za obuku i održavanje obučenosti operatora, moguće je koristiti komponente za personalne računare. Da bi se konstruisao kvalitetan uređaj takve vrste neophodno je uraditi odgovarajuće analize, izabrati rešenje i izraditi odgovarajuću dokumentaciju. U ovom radu razmatran je aspekt korišćenja elemenata personalnog računara za konstrukciju trenažera.

Trenažer koji se konstruiše treba da obezbedi:

- izbor kandidata, kompletnu pripremu, savremenu i kvalitetnu obuku za operatore na složenim borbenim sistemima,
- bezbednu obuku,
- jeftinu, odnosno ekonomičnu obuku (u pogledu amortizacije, troškova održavanja, utroška energije, materijala i dr.),

- kraće vreme obuke (brzo usvajanje znanja i savladavanje veština),
- fleksibilnu obuku (prilagodljivu sposobnostima kandidata i novim metodama obuke).

Da bi se to ostvarilo neophodno je da uslovi obuke na trenažeru budu isti kao na realnom sredstvu, i da trenažer ima efikasnu računarsku podršku. Efikasnost računara određena je njegovim karakteristikama u pogledu hardvera i softvera. Za sastavljanje računarske konfiguracije moguće je koristiti elemente personalnog računara, koji su veoma dostupni, kako u pogledu troškova i mogućnosti nabavke na tržištu, tako i u pogledu korišćenja. Opređeljujući se za konstrukciju trenažera sa moćnom softverskom podrškom, može se objektivno objediniti nastavno trenažno sredstvo sa planom i programom nastave i obuke.

Primenom ovakvog rešenja konstrukcije trenažera ne samo da se može dobiti jeftino i efikasno tehničko rešenje, već se mogu ostvariti i značajni efekti u procesu obuke i eksploatacije. Program obuke odvija se u više faza, počev od osnovnog upoznavanja borbenog sredstva pa do završne faze kada treba da predstavlja objektivizaciju elemenata i celina borbenih dejstava i situacije na bojištu. Prva faza obuke ujedno je najlakša i najjeftinija. Međutim, kasnije faze, ukoliko se izvode na realnom sredstvu složenije su, teže, rizičnije i skuplje. Kako se kreće cena obuke po fazama može se pokazati na jednom hipotetičnom primeru.

Ukupni troškovi obuke na realnom sredstvu (bez korišćenja trenažera) ($S^{(1)}$), odnosno na trenažeru ($S^{(2)}$) mogu se izraziti kao:

$$S^{(1)} = \sum_{i=1}^n C_i^{(1)} T_i + \sum_{j=1}^m a_j; \quad T_i = t_i - t_{i-1} \quad (1)$$

$$S^{(2)} = \sum_{i=1}^n C_i^{(2)} T_i + \sum_{j=1}^m a_j; \quad T_i = t_i - t_{i-1} \quad (2)$$

gde je:

$C_i^{(1)}$ - troškovi obuke po fazama na realnom sredstvu,

$C_i^{(2)}$ - troškovi obuke po fazama na trenažeru,

T_i - trajanje pojedinih faza,

a_j - troškovi nezavisni od načina obuke,

n - ukupan broj faza obuke,

m - ukupan broj troškova nezavisnih od načina obuke.

Očigledno je da je $C_i^{(2)} \leq C_i^{(1)}$, pa je sasvim izvesno da je i $S^{(2)} < S^{(1)}$

Takođe, moguće je ostvariti smanjenje troškova iskazanih članom $\sum_{j=1}^m a_j$ rela-

cije (2), po osnovu skraćenja ukupnog trajanja obuke, što se može postići korišćenjem trenažera. Za bilo koji konkretan slučaj, dobijena razlika $S^{(1)} - S^{(2)}$ može se efikasno koristiti kao parametar za planiranje ulaganja u nabavku i razvoj trenažera.

Važan efekat korišćenja trenažera sa moćnom softverskom podrškom jeste kvalitet obuke. Naime, standardni program obuke moguće je lako prilagođavati i dopunjavati na osnovu stečenog iskustva instruktora i praćenja stepena osposobljenosti kandidata za operatore nakon svake faze obuke. Praćenjem uspeha kandidata u toku obuke, kao i ocenom stepena osposobljenosti na kraju obuke, moguća je efikasna selekcija kandidata za operatore. Na trenažeru je moguća i mnogo intenzivnija obuka, posebno u početnom periodu, a može se efikasno koristiti i za

praćenje i održavanje stepena osposobljenosti operatora [1].

Nakon dobro sprovedene obuke na trenažeru, odabrani kandidati za operatore čine manji broj grešaka pri radu i proveru osposobljenosti na realnom sredstvu, i postižu bolje rezultate gađanja [2]. Smanjenjem broja mogućih grešaka pri rukovanju smanjuje se i rizik od nastanka vanrednih događaja (mogućnost nastanka materijalne štete i povreda). Kvantifikacijom navedenih faktora može se dobiti dovoljno informacija neophodnih za potpunu ocenu potrebe i mogućnosti nabavke, uvođenja i razvoja trenažera za određenu vrstu obuke.

Izbor rešenja

Polazeći od opšte postavke mogu se specificirati sledeće faze projekta:

- formulacija zadatka i definisanje skupa zahteva i ograničenja za ispunjenje potrebnih uslova za egzistenciju rešenja;
- razvoj postupaka i metoda za dobijanje rešenja;
- formiranje kriterijuma za proveru valjanosti dobijenih rešenja, odnosno, za proveru njegove prihvatljivosti u odnosu na postavljene zahteve i ograničenja;
- izrada potrebne dokumentacije;
- fizička realizacija projekta i testiranje.

Od iniciranja pa do realizacije projekta sve aktivnosti koje se odvijaju po fazama mogu se predstaviti uprošćenim dijagramom toka kao na slici 1. Danas se za personalne računare raspolaze moćnim hardverom, operativnim sistemima i korisničkim programima, pa se relativno lako može doći do željenog rešenja tehničkih problema korišćenjem elemenata personalnog računara. Traženje zadovoljavajućeg rešenja R može se smatrati zadatkom

optimizacije raspoloživih resursa H (tehnička sredstva) i S (postupaka, matematičkih metoda, softverskih rešenja). Ako se raspoloživi resursi predstave tabelarno, odnosno matricno, rezultat optimizacije može se izraziti kao:

$$R = \underset{K}{\text{opt}} \{R_m\} = \underset{K}{\text{opt}} \{HXS\}, \quad (3)$$

gde je:

S – skup predviđenih i raspoloživih softverskih modula;

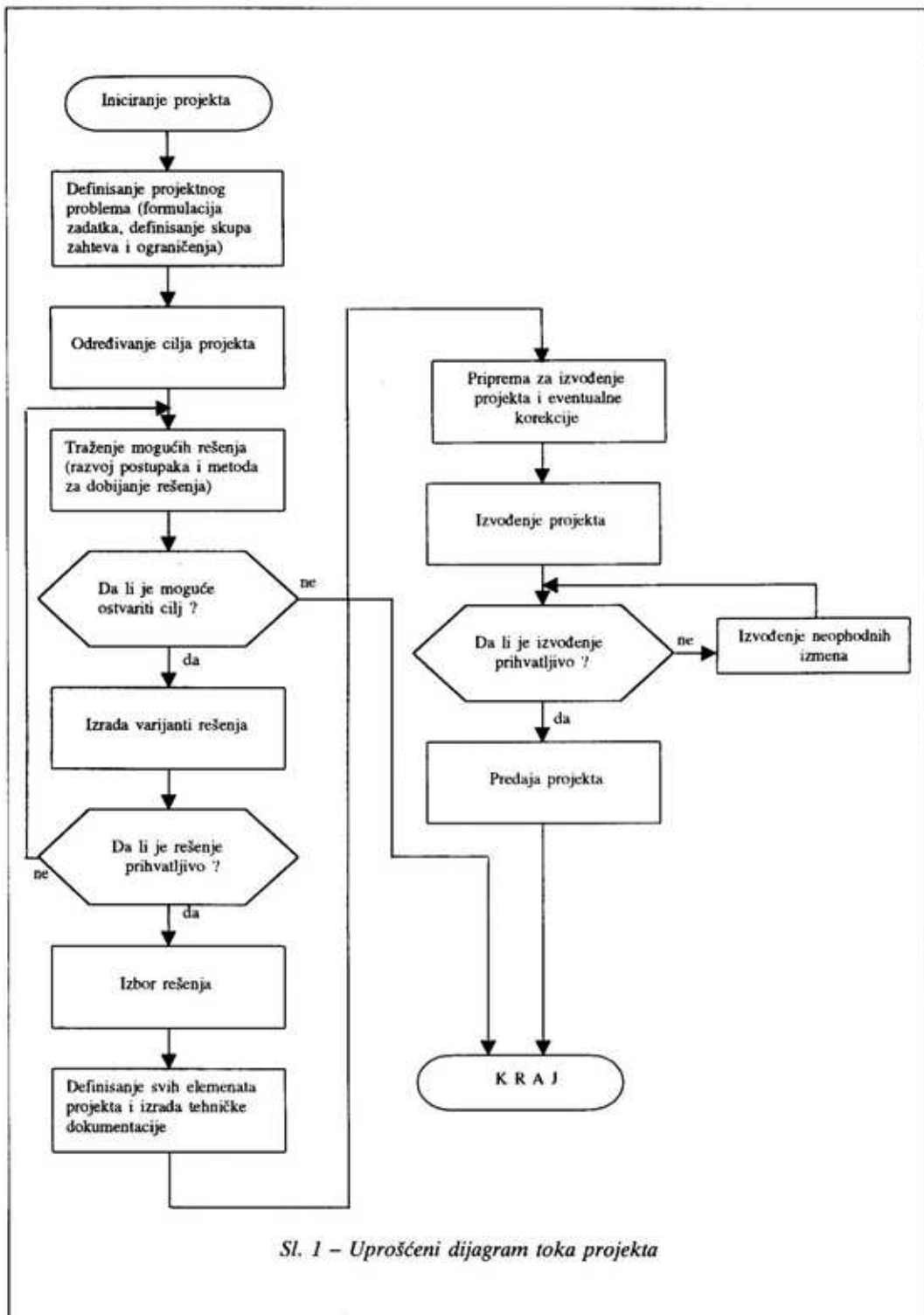
H – skup raspoloživih hardverskih modula – uređaja;

X – operator kombinovanja softverskih modula $S_j \in S$ ($j=1, m$) i hardverskih modula $H_k \in H$ ($k=1, n$) radi simulacije funkcija sistema koji se modelira;

R_m – skup mogućih kombinacija elemenata H i S;

K – kriterijum optimalnosti (min. cena, rokovi realizacije, mogućnost nabavke komponenata i materijala na domaćem tržištu, ...).

Ovakva formulacija omogućava da se ceo postupak analize napiše u sažetom obliku. Kombinacija elemenata H i S, odnosno korišćenje hardverskih modula H za dobijanje funkcija koje su matematički opisane i modelirane softverskim modulima S, može biti ostvarljiva sa određenim stepenom efikasnosti ili neostvarljiva. Svaka kombinacija, tj. svaki element $r_{pq} \in R$ ima svojstvo q (r_{pq}) koje je određeno cenom efikasnosti posmatranog rešenja, odnosno odnosom troškova i vrednosti tog rešenja. Pri tome vrednost rešenja čine neposredno ostvareni efekti (brzina rada, kapacitet memorije za smeštaj programa i podataka, tačnost, itd.). Kriterijum optimalnosti K unapred je poznat, odnosno, izabran. Na osnovu toga bira se rešenje i kasnije ocenjuje



Sl. 1 – Uprošćeni dijagram toka projekta

uspeh realizacije projekta. Ograničenja nisu posebno istaknuta, ali ona mogu biti rezultat raspolaganja resursima (raspoloživim vremenom i finansijskim sredstvima).

Izabrano je rešenje R čiji elementi r_{pq} daju, prema definisanom kriterijumu i ograničenjima, optimalnu vrednost:

$$J = \min_Q (R_m) \quad (4)$$

K

Radi jednostavnijeg prikaza ovog postupka poslužiće sledeći primer. Naime, neka je:

$$H = (H_1, H_2, H_3, H_4) \quad (5)$$

gde je:

H_1 – posebno projektovan računar za profesionalnu namenu;

H_2 – računar sastavljen od blokova za simulaciju svake modelirane funkcije posebno;

H_3 – hardver sastavljen na bazi standardnih industrijskih kontrolera;

H_4 – personalni računar.

Saglasno postavljenom cilju potrebno je obezbediti funkcionisanje sledećih softverskih modula:

$$S = (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6) \quad (6)$$

gde je:

S_1 – model komandnog pulta borbenog sredstva;

S_2 – model vidnog polja operatora;

S_3 – model borbenog sredstva i praćeće opreme;

S_4 – model podataka o cilju (putanja cilja);

S_5 – model simulacije siluete cilja;

S_6 – program obuke i praćenje toka obuke.

Kada su specificirani elementi S i H mogu se formirati njihove kombinacije, odnosno matrica R_m .

$$R_m = HXS = \begin{matrix} H_1S_1 & H_1S_2 & H_1S_3 & H_1S_4 & H_1S_5 & H_1S_6 \\ H_2S_1 & H_2S_2 & H_2S_3 & H_2S_4 & H_2S_5 & H_2S_6 \\ H_3S_1 & H_3S_2 & H_3S_3 & H_3S_4 & H_3S_5 & H_3S_6 \\ H_4S_1 & H_4S_2 & H_4S_3 & H_4S_4 & H_4S_5 & H_4S_6 \end{matrix} \quad (7)$$

Imajući matricu R_m može se pristupiti određivanju vrednosti njenih elemenata, tj.:

$$Q(R_m) = \begin{matrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} & q_{15} & q_{16} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} & q_{25} & q_{26} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} & q_{35} & q_{36} \\ q_{41} & q_{42} & q_{43} & q_{44} & q_{45} & q_{46} \end{matrix} \quad (8)$$

Poznato je da su odnosi cena sledeći:

$$C(H_4) < C(H_3) < C(H_2) < C(H_1) \quad (9)$$

Na osnovu izraza (9) može se zaključiti da je korišćenje personalnog računara (resurs H_4) najjeftinije. Međutim, ako je postavljeno ograničenje da nije prihvatljivo rešenje simulacije pulta trenažera pomoću tastature personalnog računara, tj. da nije prihvatljiva kombinacija H_4S_1 , razmatraće se ono najpovoljnije rešenje koje zadovoljava navedeno ograničenje. Ako je utvrđeno da je prihvatljivo rešenje hardvera pulta element iz skupa H_2 , onda je:

$$J = \text{opt}_K Q(R_m) = [q_{21} \ q_{42} \ q_{43} \ q_{44} \ q_{45} \ q_{46}] \quad (10)$$

Odatle sledi da je:

$$R = \text{opt}(R_m) = [H_2S_1 \ H_4S_2 \ H_4S_3 \ H_4S_4 \ H_4S_5 \ H_4S_6] \quad (11)$$

Za razmatrani primer relacija (11) predstavlja optimalnu kombinaciju

$R = \text{opt} (R_m)$, u smislu relacije (3) uz navedeno ograničenje, u odnosu na element rešenja koji predstavlja kombinacija H_4S_1 . Očigledno je da se elementi raspoloživih resursa mogu dalje razložiti tako što će se svako H_k ($k=1, \dots, n$) rastaviti na funkcionalne celine ($H_k = [h_{k1}, h_{k2}, h_{k3}, \dots]$) i svako S_j ($j=1, \dots, m$) rešiti na više načina ($S_j = [s_{j1}, s_{j2}, s_{j3}, \dots]$), upotrebom različitih matematičkih metoda, programskih rešenja, itd.).

Karakteristike, odnosno efikasnost svake od kombinacija prema relaciji (4), mogu se veoma dobro odrediti analitički. Međutim, neke kombinacije mogu se lakše i brže odrediti simulacijom i proverom na računaru. Ukoliko primena analitičkih metoda za određivanje vrednosti nekog elementa zahteva mnogo vremena, onda se može osloniti na stečena iskustva i pristupiti rešenju heuristički, uz visok stepen modularnosti i fleksibilnosti rešenja koje obezbeđuje kasnije dogradnje i usavršavanja kako softvera tako i hardvera. Prikazana dekompozicija resursa sasvim je slobodna, ali dovoljna da ukaže da je neophodan multidisciplinarni pristup. Na primeru trenažera za obuku operatora za PA top sa sistemom za upravljanje vatrom predstavljen je globalni model relevantnih elemenata sistema koje čini jedan trenažer.

Za potrebe projektovanja trenažera, saglasno odabranoj koncepciji, modeliraju se sklopovi i funkcije sistema koji čini trenažer: borbena sredstva (Bs), cilj (C), okruženje (Ok, tj.: teren, borbeni poredak, borbena dejstva, elektronska dejstva i protivdejstva, itd.), postupak obuke (Po), evidencija i kriterijumi za ocenu stepena osposobljenosti operatora (Ev). Dakle, formiraju se potrebni matematički modeli, tj. opisi procesa i događaja, izrađuju fizički modeli, odgovarajući

grafički prikazi i stvarni prikazi. Modeliranje, tj. izrada simulacionih modela, predstavlja veoma važnu fazu u konstrukciji trenažera, jer od kvaliteta izvođenja ove faze projekta zavisi i kvalitet njegove realizacije, odnosno konstrukcije trenažera. Pri tome treba voditi računa da se simulacioni modeli pojednostavljaju prema stvarnoj potrebi i problemu koji taj model opisuje [5].

Model borbenog sredstva

Trenažer predstavlja fizički i funkcionalni model kompletnog sredstva ili njegovih elemenata. Ono što mora da sadrži svaki trenažer jeste radno mesto operatora, koje je opremljeno komandnim, signalnim, osmatračkim i nišanskim uređajima. Delove sistema sa kojima operator dolazi u fizički kontakt treba i fizički reprodukovati (komandna tabla, komandna palica, sile otpora koje se javljaju pri radu nišandžije, sedište, itd.). Delove sistema sa kojima i preko kojih operator ostvaruje vizuelni kontakt sa okruženjem, najpogodnije je reprodukovati vizuelno, odnosno, generisati vizuelne prikaze u vidnom polju operatora.

Za fizičku reprodukciju delova sistema mogu se koristiti originalni delovi sistema, kopije ili imitacije bez stvarnih funkcija. Pri tome je bitno da radno mesto operatora na trenažeru ima ergonomske karakteristike koje odgovaraju ergonomske karakteristikama stvarnog sredstva. U ergonomske smislu stepen fizičke reprodukcije radnog mesta operatora treba da zadovolji postavljene zahteve obuke – bez suvišnih detalja koji nisu bitni za obuku.

Vidno polje operatora, izuzimajući ono što je već obuhvaćeno fizičkim modelom, može se softverski generisati i pri-

kazati na televizijskom ekranu ili monitoru personalnog računara. Pri tome ispred ekrana može biti postavljen adapter za imitaciju okulara – vizira operatora. Drugo rešenje jeste da se katodna cev (na čijem bi se ekranu prikazalo vidno polje) ugradi u okular operatora. U oba slučaja važno je da se vodi računa o rezoluciji slike, tako da jedna grafička jedinica (GDU), odnosno tačka – pixel, odgovara uglu pod kojim se vide elementi slike u vidnom polju (npr. za debljinu končanice iznosi 0,1 mrad.)

Navedeni elementi mogu se uslovno nazvati poljem operatora. Iz njega potiču komande za funkcionisanje celog sistema i dolaze informacije od senzora sistema prikazujući se u vidnom polju operatora. Preostali deo strukture sistema na treneru simulira se softverski (servosistem, senzori, računar, itd.), tako da odziv na zadate komande odgovara odzivu realnog sistema. Radi toga se modeliraju, odnosno emuliraju senzori, servosistem, računar i drugi elementi sistema. Formiranje diskretnog modela sistema može biti rešeno na više načina, s tim da matematičke relacije ispunjavaju sledeće uslove:

- rešenje jednačine koja opisuje proces mora biti konvergentno,
- rešenje mora biti jednoznačno.

Matematičke relacije, kojima se izražavaju modeli funkcija sistema, treba dovoljno verno da reprodukuju stvarne funkcije sistema, a izabrani hardver i softver treba da obezbede odgovarajući korak diskretizacije i vreme izvršavanja tih funkcija kako ne bi došlo do degradacije matematički dobijene vernosti reprodukcije.

Jedan od načina da se ovi uslovi ispune sastoji se u sledećem [4]:

- blok servosistema predstavljati step-invarijantnom metodom;

- blokove integratora predstavljati Eulerovim integratorom;

- trigonometrijske funkcije očitavati iz tabela (look-up).

Odgovarajući matematički opisi delova sistema, u tom smislu, bili bi:

- servosistem $X_k = A \cdot X_{k-1} + u_k^1$

- senzori za merenje koordinata cilja

$$Y_k = H \cdot X_k$$

- integrator $X_{k+1} = X_k + T \cdot \dot{X}_k \cdot C_x$

- upravljanje po poziciji $u_k^1 = -C1 \cdot X_k$

- kontrola po brzini $u_k^2 = -C2 \cdot \dot{X}_k$

Korišćeni simboli imaju sledeće značenje:

k – indeks trenutka t_k koji se posmatra;

T – period diskretizacije $T = t_k - t_{k-1}$ (vreme između dva posmatranja – merenja ugla, daljine, brzine);

X_k – koordinate stanja (zauzeta daljina, ugao pravca i ugao elevacije u trenutku k);

A – matrica koja opisuje karakteristike sistema za pokretanje (servosistem);

H – matrica karakteristika senzora (merna matrica daljine, pravca, elevacije);

Y_k – izmerene vrednosti koordinata cilja u trenutku k pomoću senzora;

C_x – integraciona konstanta;

C1 – konstanta upravljanja po položaju;

C2 – konstanta upravljanja po brzini.

Na isti način mogu se predstavljati i drugi blokovi i delovi sistema koji se odnose na izračunavanje elemenata za gađanje i dr.

Model cilja

Za cilj koji se gađa bitno je da se zna putanja po kojoj se kreće i njegova silueta (geometrija), pa to treba i mode-

lirati. Putanja cilja u odnosu na top (ili drugu tačku iz koje se prati cilj) može se izraziti kao hodograf vektora položaja cilja $r = r(t)$.

Odgovarajuća diskretna verzija ove relacije je:

$$r_k = r_{k-1} + vT \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (12)$$

gde je:

v – vektor brzine cilja,

T – period diskretizacije $T = t_k - t_{k-1}$.

Prema tome se mogu koristiti, zavisno od taktičko-tehničkih karakteristika cilja, neke od sledećih pretpostavki.

– cilj se kreće pravolinijski konstantnom brzinom, pri čemu vertikalna komponenta brzine može biti nula ili različita od nule;

– cilj se kreće po kružnoj putanji, pri čemu kretanje može biti u horizontalnoj ili kosoj ravni;

– cilj izvodi manevar.

Zavisno od izabranog programa obuke, formira se model putanje cilja tako da su moguće promene parametara putanje, i to na početku programa, u toku programa sa unapred poznatim parametrima ili slučajno.

Geometrijski oblik cilja daje u vidnom polju siluetu koju operator – nišandžija vidi, a ona zavisi od simulirane daljine do cilja i kursa, odnosno putanje. Odgovarajući vizuelni, odnosno grafički prikaz, može se izraziti kao:

$$S = S(S_0, D, q, \lambda) \quad (13)$$

gde je:

S_0 – trodimenzionalni grafički prikaz cilja za daljinu nula, kurs nula i poniranje nula;

D – simulirana daljina do cilja;

q – ugao kursa kretanja cilja;

λ – ugao poniranja cilja.

Geometrijski oblik cilja može se dobiti skeniranjem slike ili njenim skiciranjem u sve tri dimenzije.

Model leta projektila i tačka susreta

Rešenje zadatka sastoji se u određivanju koordinata tačke u prostoru u kojoj dolazi do susreta projektila i cilja. Pri tome se polazi od toga da je putanja projektila poznata, izuzimajući neodređenosti koje su u realnom slučaju posledica spoljnih uticaja koje nije moguće uvek tačno izmeriti i ispravno uzeti u obzir. Trenutni položaj projektila u prostoru određen je vektorom daljine projektila od oruđa $D_u(t)$, a položaj cilja vektorom daljine od oruđa do cilja $D_c(t)$. Rešenje zadatka susreta svodi se na rešavanje preseka putanje cilja i putanje projektila. Ako je u trenutku ispaljivanja projektila daljina do cilja $D_c(t_0)$, onda je u trenutku susreta (kada se cilj i projektil nalaze u istoj tački):

$$D_c(t_0) + s(Tp) = D_u(Tp) \quad (14)$$

gde je:

$t_0 = 0$;

$s(t)$ – put koji cilj pređe za vreme t ;

Tp – vreme leta projektila od trenutka njegovog ispaljenja (i merenja daljine $D_c(t_0)$) do trenutka susreta ($t = Tp$).

Vektorska veličina $s(Tp)$ određuje se kao integral vektora brzine cilja v_c , i iznosi:

$$s = \int_0^{Tp} v_c \cdot dt \quad (15)$$

Diskretni oblik izraza za vektor puta je:

$$s_k = s_{k-1} + v_{k-1}T \quad k = 1, 2, 3, \dots, T_p/T \quad (16)$$

gde je:

s_k – pređeni put do trenutka k ;

v_k – brzina cilja u trenutku k ;

T – vreme između dva uzastopna merenja $T = t_k - t_{k-1}$, odnosno period diskretizacije.

Ukoliko je putanja cilja poznata i ako su početna brzina, aerodinamičke karakteristike projektila i meteorološki uslovi stalni, može se napisati da je $T_p = f(D_u)$.

U realnim uslovima zadatak susreta za nevođene projekte mora biti rešen do trenutka opaljenja, pa se mora vršiti predikcija putanje cilja nakon ispaljivanja projektila, odnosno, odrediti njegov položaj u trenutku T_p . Rekonstrukcija zakonitosti kretanja cilja obavlja se na osnovu praćenja cilja i uvedenih pretpostavki saglasno taktičko-tehničkim karakteristikama cilja. Međutim, na trenažeru se putanja cilja simulira, pa se može neposredno uvrstiti u račun predikcije ili se poslužiti nekim jednostavnijim postupkom (npr. očitavanjem tabele). Za koje će se rešenje opredeliti zavisi od unapred usvojene koncepcije, odnosno cene rešenja.

Model okruženja

Borbeni sistem ili sredstvo nalazi se na terenu određene konfiguracije, pri određenim atmosferskim uslovima u borbenom poretku izloženo borbenim dejstvima. Sve to čini okruženje koje karakteriše slika, zvuk, vizuelni i zvučni efekti koji prate određene borbene situacije i događaje u realnim uslovima na terenu, a koji se moraju prikazati u vidnom polju posade borbenog sistema, odnosno na trenažeru.

Za uvežbavanje na poligonu koriste se razne metode označavanja – markiranja borbenog poretka, po osmišljenoj taktičkoj pretpostavci stvorenoj na osnovu očekivanog dejstva, namera i mogućnosti suprotstavljene strane. Za te potrebe koriste se makete borbenih sredstava, lutke, siluete, mete i sl. Markiranje događaja izvodi se raznim vizuelnim efektima (projekcije lika, svetlosni blesak, itd.) i zvučnim efektima (imitacija pucnja, buka motora, razgovor, itd.). To je način da se na poligonu simulira borbena situacija i borbena dejstva. Sa trenažerom sve to može biti prikazano na ekranu i lako uočljivo za operatora sa njegovog mesta u borbenom sredstvu. Ukoliko se koristi personalni računar ekran bi predstavljao monitor računara, a slike i događaji koji se žele prikazati mogu se nalaziti u memoriji računara i njima programski upravljati. Slike, pojedini kadrovi, delovi slika, grafičke i vizuelne oznake mogu biti generisane softverski, dobijene skeniranjem slika ili sa video kamere.

Program obuke

Na borbenom sredstvu operator obavlja nadzor ili je direktno u „petlji“ borbenog sistema od početka do završetka misije, odnosno borbenog zadatka. Obučavanjem operator stiče potrebno znanje i prilagođava se dinamici aktivnosti i radu u borbenim uslovima, sličnim onima koji će biti u realnoj situaciji. Pri tome operator razvija određene sposobnosti (čulne, perceptivne, psihomotorne) i stiče potrebno znanje za donošenje odluka.

Instruktor pokreće program obuke, upravlja njime, kontroliše postupke i rad operatora. Instruktor pomaže operatoru objašnjenjima i savetima a radi ukaziva-

nja na propuste u radu instruktor može, po potrebi, preuzeti komande. Obukom, tj. uvežbavanjem, operator se navikava, prilagođava na sredstvo i njegove statičke i dinamičke karakteristike. Za efikasnu obuku važno je da trenažer što potpunije podražava (simulira) stvarno borbeno sredstvo, kako bi se operator pripremio za rad na realnom sredstvu.

Obuka je proces koji se odvija po unapred određenom programu. Sadržaj obuke prevodi se u odgovarajući računarski program, tj. projektuje se deo softverske podrške obuke koja bi činila sastavni deo trenažera. Pri tome mogu se koristiti već postojeći programi za obuku ili razvijati novi sadržaji i metode obuke.

Dinamika obuke, tj. postupnost u njenom izvođenju, podrazumeva da je ona podeljena u više delova – faza koje se sukcesivno izvršavaju. Prvi deo obuke je, po pravilu, najlakši i sadrži upoznavanje sa delovima i funkcionisanjem sredstva za koje se operator obučava. U ovom delu obuke savladavaju se tehnike rukovanja i upravljanja sredstvom, odnosno, borbenim sistemom. Pri tome se daje dovoljno vremena za postepeno izvođenje svih neophodnih radnji i dovoljno vremena za donošenje odluke o postupcima koje operator treba da izvede. Drugi deo obuke, kao i svaki sledeći, složeniji je od prethodnog. Zahteva od kandidata za operatora da pamti više informacija i da više vežba, i omogućava proveru ispravnosti izvođenja potrebnih radnji pri rukovanju sredstvom. Treći deo obuke može sadržati i kriterijum za kvalitetnu selekciju, tj. izbor najboljih kandidata za operatora. Praktično, ako kandidat nije savladao prethodne faze obuke, on neće moći da izvršava potrebne radnje koje su predviđene po programu za treću fazu. U ovoj fazi treba da dođe

do definitivnog navikavanja kandidata na radnje koje treba da izvodi u toku rada. Na koliko će delova, faza ili nivoa program obuke biti podeljen zavisi, prvenstveno, od njene složenosti i procene nadležnih za obuku:

$$P = \bigcup_{i=1}^n P_i \quad (17)$$

Ovim izrazom program obuke je predstavljen kao unija pojedinih delova programa P_i . Pri tome završni deo obuke treba da predstavlja objektivizaciju elemenata i celina realnih situacija, tj. situacija borbenih dejstava i uslova na bojištu, kao i da obezbedi ocenu osposobljenosti operatora.

Program obuke izrađuju iskusni instruktori, a odobrava ga nadležna institucija. Međutim, on mora da bude razumljiv i za programera koji treba da ga prevede u odgovarajući oblik primenljiv za računar. Trenažer može biti softverski i hardverski izveden tako da instruktor upravlja programom obuke sa posebnog pulta ili sa pulta operatora.

Evidencija rada i ocena osposobljenosti operatora – nišandžije

Cilj obuke je da se kandidat za operatora što bolje osposobi za zadatke koji mu predstoje. Da bi se sticao uvid u savlađivanje programa obuke, kao i stepen obučenosti nakon završene obuke, neophodno je pratiti njen tok. U toku obuke vodi se evidencija ličnih podataka kandidata za operatora, ocena spremnosti za prelazak na sledeću fazu obuke i ocena stepena osposobljenosti po završetku obuke. Lični podaci mogu se unositi u računar trenažera i formirati

lični dosije – karton operatora, sa tastature ili sa diskete sa ličnim podacima. Ostali podaci mogu se formirati i smeštati automatski na hard disk ili disketu (npr. rezultati koje je kandidat postigao u toku obuke, po fazama i na kraju obuke).

Najjednostavnije je da se ocena stepena obučenosti, ili koliko je savladana određena faza obuke, izvede na osnovu grešaka koje kandidat čini u toku izvršavanja potrebnih radnji. Naime, greške koje operator čini u toku rada najbolji su pokazatelj stepena obučenosti [3], odnosno njegove osposobljenosti. Sve greške mogu se svrstati u tri grupe, i to:

- nepravilno (netačno) izvršavanje neke radnje,
- propuštanje radnje,
- kasno ili prerano izvršavanje neke radnje.

Kvantifikacija i kvalifikacija stepena obučenosti može se izvršiti na osnovu evidencije grešaka i primenom već postojećih pravila, ili uz određene modifikacije pravila za ocenjivanje obučenosti. Ocena može biti izražena numerički, brojevima od 1 do 5, ili brojem bodova od 0 do 100. Dakle, ocena se može odrediti na osnovu tabele grešaka i određenog pravila. Ukoliko se usvoji da je najveći mogući broj bodova $n_{b \max} = 100$ i da sa brojem grešaka opada broj bodova, onda se ostvareni broj bodova može izraziti kao:

$$n_b = 100 - \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^{m_i} p_{ij} n_{ij} \right) \quad (18)$$

gde je:

n – ukupan broj delova programa obuke;

m_i – broj tipova greški po delovima programa;

n_{ij} – broj grešaka iz i -tog dela programa vrste j ;

p_{ij} – težina svake greške iz pojedinih delova programa obuke.

Prikazani obrazac samo je jedno od mogućih rešenja koje se može prevesti u računarski program trenažera. Registrovani podaci mogu se u toku obuke, neposredno nakon obuke ili kasnije, prikazivati, analizirati i štampati, odnosno formirati dosije operatora. Na osnovu opisa sadržaja i postupka evidencije i ocenjivanja može se sačiniti odgovarajući softver, odnosno računarski program koji se pridružuje programskoj podršci trenažera. Ovaj deo računarskog programa ima veoma male zahteve u pogledu potrebne memorije i brzine rada, tako da nema potrebe za posebnim proračunom tih potreba jer se već raspolaže sa dovoljno velikom rezervom koja je uzeta zbog rada sa grafikom visoke rezolucije u realnom vremenu.

Trenažer RI/L70

Preduzeće MC COMPANY iz Zemunina proizvelo je trenažer za obuku nišandžija na PA topu 40 mm L/70 BO-FORS. Konstrukcija ovog trenažera realizovana je korišćenjem hardvera i softvera za personalne računare. Radi ilustracije mogućnosti i pogodnosti ovakvog pristupa ukratko će biti opisan ovaj trenažer.

Opšti podaci

Trenažer RI-L/70 namenjen je za obuku i proveru stepena obučenosti nišandžija na PA topu 40 mm L/70 BO-FORS. Koristi se u kabinetnim uslovima i ima tri radna mesta za nišandžije. Programski se može izabrati položaj oruđa u bateriji, simulirati pravolinijska putanja cilja sa mogućnošću izbora brzine cilja

(100, 200 i 300 m/s), kao i zaokreta (manevra) cilja. Ugrađeni delovi i sklopovi trenažera (elementi komandne table, upravljačka palica, papuča za okidanje) predstavljaju kopije i imitacije delova uređaja (bez funkcije). Oni nisu predviđeni da funkcionišu na trenažeru (kao što je testiranje sistema za upravljanje vatrom, unos meteoroloških i balističkih podataka).

Računarski deo trenažera čini personalni računar. Matična ploča je sa PENTIUM I procesorom na 133 MHz, memorija 8 MB RAM, hard disk 1,3 GB, flopi disk 3,5, „minotor 14“, štampač i tastatura. Simulirano vidno polje nišanske sprave prikazuje se na monitoru personalnog računara (slika 2).

Korisnički softver izrađen je na osnovu modela kretanja cilja, uprošćenog modela funkcija PA topa 40 mm L/70 BOFORS, definisanog programa obuke i kriterijuma za ocenu osposobljenosti nišandžije.



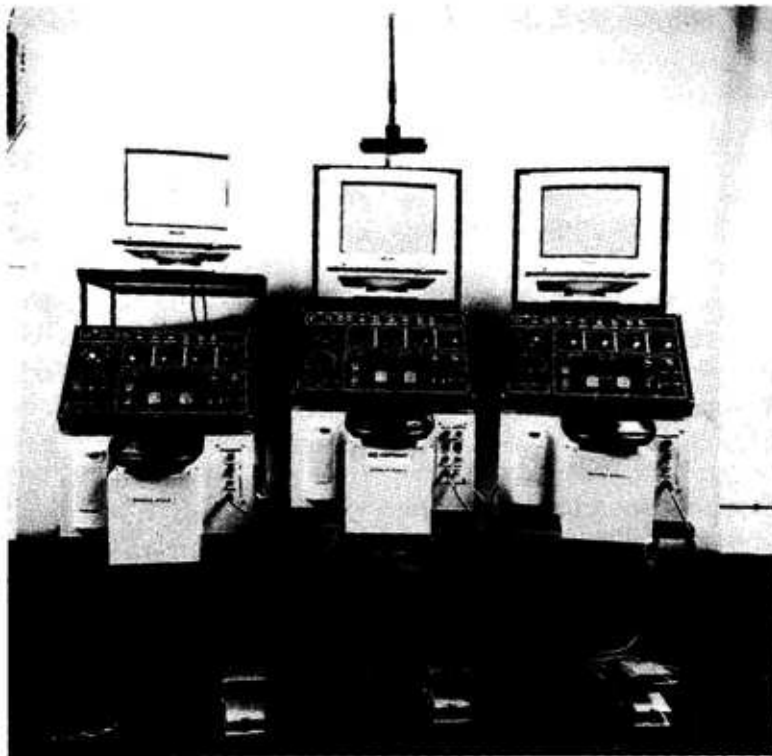
Sl. 2 – Vidno polje nišandžije na PA topu 40 mm BOFORS

Konstrukcija

Komandna tabla i komandna palica odgovaraju izgledu na PA topu 40 mm L/70 BOFORS za sva tri uređaja (slika 3). Oblik, raspored i položaj elemenata komandne table, upravljačke palice i pedale za otvaranje vatre, ergonomski odgovaraju realnim uslovima, s tim što su realizovane samo bitne funkcije topa koje su veoma značajne za obuku nišandžije u navođenju topa na cilj, praćenju cilja i otvaranju vatre. Postupci, rad i položaj tela nišandžije na trenažeru odgovaraju svim elementima koji su bitni za obuku. Izvedeni prikaz vidnog polja na ekranu monitora odgovara realnoj slici koju nišandžija ima u vidnom polju nišanske sprave: končanice, cilja i signalizacije. Na trenažeru nije izvedena simulacija režima pripreme topa (testiranje sistema za upravljanje vatrom, unos meteoroloških i balističkih podataka). Postupak pripreme sredstva za rad relativno se lako i brzo nauči, pa je proizvođač smatrao da za ovaj nivo realizacije nije neophodno da se taj postupak ugradi u funkcije trenažera. Dinamičke karakteristike servosistema topa nisu uzete u obzir, ali je dinamika procesiranja podataka takva da se može imati utisak dinamike pokretanja topa po pravcu i elevaciji.

Funkcionisanje

Trenažer je spreman za rad 30 sekundi nakon uključjenja. Simulacija uključjenja agregata, uključivanja motora pumpe i uključivanja glavnog motora praćena je zvučnim efektima koji su slični onima na topu. Nakon inicijalizacije trenažera na ekranu se pojavljuje osnovni spisak funkcija, tj. meni, iz koga se ulazi



Sl. 3 – Trenažer RI-L/70

u ostale menije (izbor vrste rada). Izbor vrste rada, tj. program obuke, obrade i ocene rezultata koji je operator postigao obavlja se postavljanjem oznake – markera, koja se pomera, pomoću palice, na željenu funkciju ispisanu na ekranu i pritiskom na malu polugu koja u toku praćenja cilja služi za prelazak iz brzinskog u regenerativni (poluautomatski) način praćenja cilja.

Nakon izbora programa obuke simulirani sistem za upravljanje vatrom nalazi se u režimu PRIPREMA i trenažer je spreman za dalji rad koji je u svemu isti kao i na sistemu za upravljanje vatrom PA topa 40 mm L/70. Obezbeđena je simulacija sledećih funkcija:

- režim PRIPREMA,

- najava cilja (INDIKACIJA CILJA),

- navođenje topa na cilj (NAVOĐENJE),

- praćenje cilja po brzini (PRAĆENJE I),

- praćenje cilja po ubrzanju (PRAĆENJE II),

- otvaranje vatre, dejstvo na cilj i efekat na cilju,

- vraćanje u režim PRIPREMA.

Iz režima PRIPREMA može se nastaviti sa programom obuke, prekinuti dalji rad ili preći na štampanje zapamćenih podataka o toku obuke. Trenažer RI-L/70 obezbeđuje simulaciju velikog broja situacija i uslova koji znatnim delom odgovaraju realnim uslovima i omogu-

čava simulaciju složenih uslova kretanja cilja (ciljevi se mogu nalaziti na raznim daljinama, kretati se različitim parametrima i brzinama, izvoditi manevre – zauzimati položaj za izvođenje napada). Generišu se vizuelni i akustički efekti dejstva cilja na vatreni položaj i na objekat PVO. Automatski se registruje tok obuke i memorišu rezultati koje je postigao nišandžija. Podaci se kasnije mogu prikazati, analizirati i štampati radi ocene stepena osposobljenosti kandidata za operatora.

Zaključak

Personalni računari su u mogućnosti da obrade veće količine informacija dovoljno velikom brzinom. Rad sa veoma zahtevnim softverom i fleksibilnost u pogledu hardvera čini ih univerzalnim za primenu u najrazličitije svrhe. Zahvaljujući tome može se konstruisati trener čiji je računarski deo sastavljen od personalnog računara ili većeg broja komponenta za personalne računare. Imajući u vidu složenost i troškove obuke za rad na savremenim borbenim sistemima, trenerima se posvećuje posebna pažnja. Treneri sa moćnom računarskom konfiguracijom znatno su efikasniji, ali i skuplji. Međutim, zahvaljujući korišćenju hardvera i softvera za personalne računare može se realizovati projekat veoma kvalitetne konstrukcije po povoljnijoj ceni i za relativno kratko vreme. Naravno, hardver za personalne računare nije predviđen za rad u terenskim uslovima. Međutim, mogu se izvesti određene zaštite od mehaničkih i drugih uticaja, tako da se ovakav trener može koristiti i u strožim uslovima eksploatacije.

U članku su specificirani i istaknuti neophodni elementi za efikasno rešenje trenera za kabinetske uslove, ali ovako konstruisan trener može se koristiti i kao razvojna stanica (za usavršavanje obuke i nastavnih sredstava, za razvoj borbenog sredstva, itd.).

Trener RI L/70 samo je jedan od domaćih proizvoda projektovan na bazi personalnog računara.

U ovom radu nisu date stroge definicije i procedure već je izložena globalna analiza i procedure koje mogu doprineti realizaciji projekta u pogledu izbora rešenja, formiranja radnog tima i rukovođenja izvođenjem projekta, a može pomoći i potencijalnom korisniku sredstva da se opredeli za izloženo rešenje. Ukazano je na mogućnost da se pod veoma povoljnim uslovima dobije trenerni uređaj za obuku, uveštavanje neposrednih borbenih radnji, posrednu i neposrednu kontrolu pripreme i izvršenja vežbe, uz automatsko registrovanje rezultata vežbe, kao i za održavanje i proveru stepena obučnosti posade borbenog sredstva.

Literatura:

- [1] Radulović, N.: Značaj i osnovne procedure primene ergodičkih vojnih ergomata, NTP, Vol XXXVII 1987. br. 10.
- [2] Brožić, A.: Uticaj obučnosti nišandžije na tačnost gađanja PA topovima 40 mm L/70, Vojni glasnik 1/87, deo 2.
- [3] Saviček, J.: Postupak pri analizi ispitno-školskih gađanja ciljeva u vazdušnom prostoru, Vojni glasnik 1/87, str. 16.
- [4] Adrinek, S.: Digitalni simulator u realnom vremenu za sistem za upravljanje vatrom na protivavionskom topu, VTG 2/90.
- [5] Innis, G., Rexstand, E.: Simulation model simplification techniques, Journal of Statistical Computation and Simulation, July 1983. 7-15.
- [6] Nikulin, K.: Matematičeskoe obespečenie trenerov, Morskii sbornik No 8/1989.
- [7] Uputstvo: Target Simulator AB Bofors 40 mm Gun L/70.
- [8] Simulatori za obuku u gađanju iz tenkovskog topa, VTG 1/91. str. 88-95.
- [9] Kocmar, R.: Aurora software maintenance, Canada Forces Polaris, Vol. 9, 1982.
- [10] Radomir, I.: Obuka nišandžija na PAT 40 mm L-70 pomoću simulatora, Vojni glasnik 6/80.