

Identifikacija parametara snažnog sistema za upravljanje vektorom potiska protivoklopne rakete

Dr Miodrag Kobilarev, dipl.inž.¹⁾
Mr Zoran Bjelogrić, dipl.inž.¹⁾

Prikazan je snažni sistem za upravljanje vektorom potiska u centru mase protivoklopne vodene rakete. Definisane su i izmerene dinamičke karakteristike sistema za UVP: vreme kašnjenja odziva interceptora u odnosu na signal komande, vreme preleta interceptora između krajnjih položaja i vreme trajanja minimalne komande. Definisani su i izmereni relativna bočna sila i relativni gubitak snažnog sistema za UVP.

Ključne reči: Upravljanje protivoklopnim raketama, vektor potiska, identifikacija sistema.

Uvod

SAVREMENE protivoklopne rakete druge i treće generacije, pored velike verovatnoće pogađanja i uništenja tenkova najnovije generacije kao i tenkova sa reaktivnim oklopom, moraju da zadovolje i nove taktičko-tehničke zahteve, kao što su:

- mogućnost lansiranja iz zatvorene prostorije kroz prozor ili vrata i
- imunost uređaja za vođenje i lansiranje (UVL) ili glave za samonavođenje na namerno ometanje.

Taktičkim zahtevom da se raketa može lansirati iz zatvorenog prostora ograničena je masa pogonskog punjenja startnog raketnog motora (SRM), jer natpritisak izduvnih gasova ovog motora u zatvorenom prostoru ne sme da ugrozi bezbednost strelca. Zato je totalni impuls SRM relativno mali, pa se početna brzina rakete prilikom lansiranja, zavisno od njene mase, kreće ≈ 20 m/s. Pri tako maloj početnoj brzini na raketu ne deluju stabilizujući aerodinamički momenti i sile, pa se raketom najefikasnije upravlja bočnom komponentom potiska koju generiše sistem za upravljanje vektorom potiska (UVP) oko centra mase rakete. Sistem za UVP mora da bude snažan iz dva razloga:

- stabilnost rakete u prvoj fazi leta, dok je marševski raketni motor dovoljno ne ubrza, zavisi od veličine bočne upravljačke sile potiska i
- manevarske sposobnosti rakete pri gađanju pokretnih ciljeva na malim daljinama direktno zavise od veličine bočne upravljačke sile potiska.

Sistem za UVP, prikazan u ovom radu, pretvara više od 30% aksijalne komponente potiska u bočnu upravljačku silu. Protivoklopne rakete su do sada imale sistem za UVP znatno manje efikasnosti, $\approx 22\%$, (rakete *SS-11*, *SS-12*, *MILAN*, *HOT*, *MALJUTKA*) jer se lansiraju početnim brzinama većim od 60 m/s, pa sistem za UVP koji se nalazi u krilnom odseku rakete, može da generiše dovoljan upravljački moment. Zato efikasnost sistema za UVP kod ovih

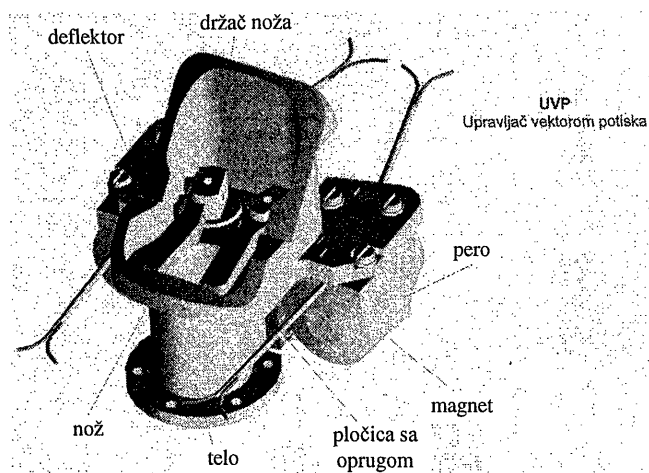
raketa nije bila kritična, jer se veći upravljački moment mogao ostvariti povećanjem kraka sile od izvršnog elementa sistema za UVP do centra mase rakete.

Opis snažnog sistema za UVP

Sistem za UVP se sastoji od:

- izvora energije,
- pogonskih elemenata i
- izvršnih organa.

Izvor energije sistema za UVP je termalna baterija, kao i za ostale blokove elektronike rakete.



Slika 1. Snažni sistem za UVP

Pogonski elementi sistema su četiri para elektromagneta (dva po mlaznici), sl.1, kojima upravlja blok elektronike sistema za UVP. Komandni signali iz UVL preko mikrokabla ulaze u blok elektronike sistema za UVP, gde se elektronski reguliše struja pobude elektromagneta u funkciji koman-

¹⁾ Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15

dnih signala. Elektromagneti pokreću odgovarajuće izvršne organe, interceptore (noževe), kojih ima dva po mlaznici, u prekidačkom ("on - off") režimu rada.

Sistem za UVP se sastoji od dva istovetna sklopa montirana oko mlaznica marševskog raketnog motora (MRM). Telo sklopa objedinjuje sve delove sklopa i navlači se oko mlaznice MRM.

Deflektor se nalazi sa gornje strane tela i ima namenu da sakupi one produkte sagorevanja koji uspeju da prođu između interceptora i mlaznice i usmeri ih u pravcu isticanja produkata sagorevanja iz mlaznice. Na taj način deflektor utiče na povećanje efikasnosti sistema za UVP.

Interceptori su načinjeni od molibdena da bi imali potrebnu termičku i mehaničku izdržljivost pri uranjanju u nadzvučnu struju produkata sagorevanja MRM.

Elektromagneti su od mekog gvožđa, kružnog preseka sa centralnim jezgrom oko koga je namotana bakarna lak žica.

Slobodni kraj pera (kotve) nalazi se između elektromagneta, a drugi kraj je pričvršćen za držač noža. Kotva je od mekog gvožđa.

Držač noža povezuje kotvu i interceptor u kruti sklop koji pokreću elektromagneti. Uglovno pomeranje kotve je jednako uglovnom pomeranju interceptora. Držač noža je lisnatom oprugom povezan sa telom. Krutost opruge ključno utiče na dinamičke karakteristike sistema za UVP.

Dok je raketa nepripaljena u lanseru, četiri interceptora se nalaze u položaju mehaničke nule (sl.2.).

Kad se pripali startni raketni motor, raketa počinje da napušta lansirnu cev pri čemu se razdvaja pupčani konektor između rakete i lansera i generiše signal koji aktivira elektromagnete 2 i 3 (sl.2.) koji privlače sva četiri interceptora u položaj električne nule, van mlaznica MRM.

Ulaz komandnih signala u blok elektronike UVP ostaje blokiran dok se ne pripali MRM.

Posle pripaljivanja MRM i deblokade ulaza u blok elektronike UVP, povorka širinski modulisanih impulsa komandnih signala iz UVL aktivira odgovarajuće parove elektromagneta koji pokreću interceptore u toku leta rakete do cilja [1,2]. Pozitivni komandni impulsi pokreću paralelno interceptore I i III (sl.2.) u toku prvog poluoobrta rakete, a negativni komandni impulsi pokreću paralelno interceptore II i IV (sl.2) u toku drugog poluoobrta rakete. Prednje ivice komandnih signala određuju trenutak uključenja, a stražnje ivice trenutak isključenja interceptora. Širina komandnih signala određuje trajanje zasenčenja mlaznica MRM interceptorima, odnosno intenzitet komande.

Dinamičke karakteristike snažnog sistema za UVP

Pojmom dinamičke karakteristike sistema za UVP [3] podrazumeva se:

- vreme kašnjenja odziva interceptora u odnosu na signal komande (t_{k1}),
- vreme preleta interceptora između krajnjih položaja (t_{k2}) i
- vreme trajanja minimalne komande (t_{kmin}).

Parametri, koji utiču na dinamičke karakteristike sistema za UVP, su:

- snaga elektromagneta, koja je za elektromagnet poznatih parametara (oblik, veličina, osobine magnetnog materijala kućišta i jezgra, broj namotaja i vremenska konstanta) proporcionalna jačini struje kroz njegove namotaje,
- krutost lisnate opruge,
- rastojanje između istog para elektromagneta i
- inercija pokretnih elemenata kotve: osovine i interceptora.

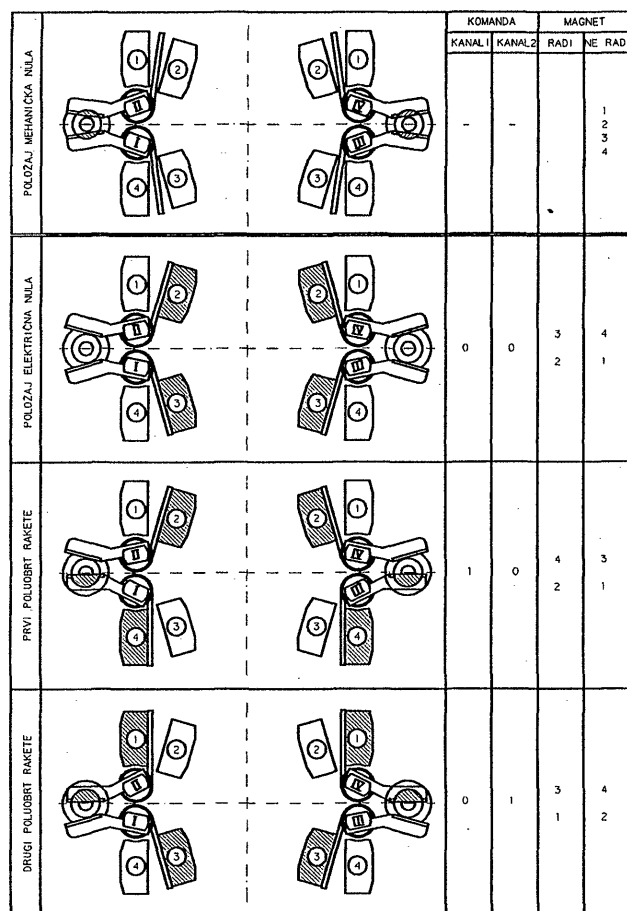
Na sl.3a su prikazani signal komande U_{k1} i struje I_{11} i I_{22} kroz elektromagnete koji pokreću prvi par interceptora, a na sl.3b signal komande U_{k2} i struje I_{33} i I_{44} kroz elektromagnete koji pokreću drugi par interceptora na mlaznicama MRM.

Na prednjim ivicama komandnih signala snimljene su struje kroz elektromagnete koji uključuju interceptore, a na stražnjim ivicama komandnih signala struje kroz elektromagnete koji isključuju interceptore.

Odnos mirne struje držanja interceptora prema struji forsiranja uključenja, odnosno isključenja, interceptora je 0.025, da bi se vreme njihovog preleta minimiziralo.

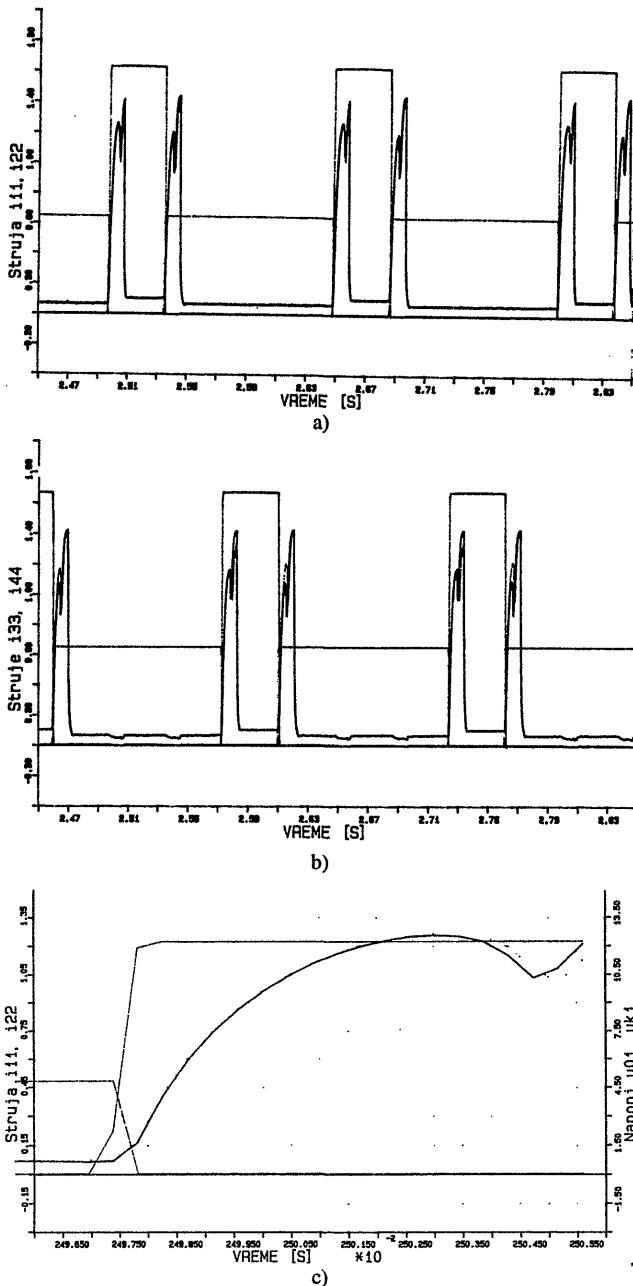
Na sl.3a i 3b je označeno vreme trajanja minimalne komande (t_{kmin}) od početka do kraja toka struje forsiranja kroz elektromagnete.

Na sl.3c je uvećani početak jednog komandnog signala i struja kroz jedan elektromagnet. Na dijagramu je označeno vreme od prednje ivice komandnog signala do početka struje forsiranja kroz elektromagnet (t_{k1}) i vreme preleta interceptora od početka struje forsiranja kroz elektromagnet do karakterističnog minimuma, koji pokazuje kada je kotva prešla u drugi krajnji položaj (t_{k2}).



Slika 2. Šematski prikaz rada sistema za UVP

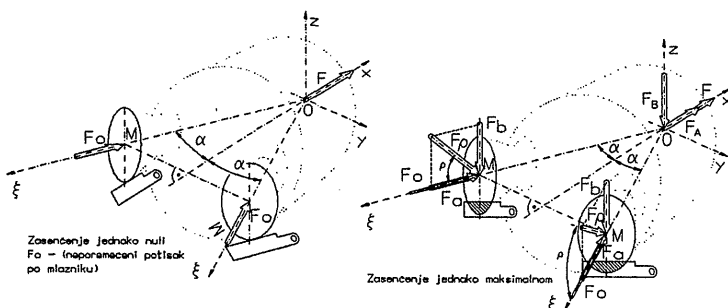
U ovom položaju interceptori delimično zasenčuju mlaznice MRM, a lisnate opruge preko kojih elektromagneti pokreću interceptore su relaksirane.



Slika 3. Signali komande i struja kroz elektromagnete sistema za UVP: a) komanda U_{k1} i struje I_{11} i I_{22} ; b) komanda U_{k22} i struje I_{33} i I_{44} ; c) uvećani signal komande U_{k1} i struje I_{11} i I_{22}

Relativna bočna sila i relativni gubitak snažnog sistema za UVP

Na sl.4 su prikazane sile koje generiše sistem za UVP na raketi.



Slika 4. Sile koje generiše sistem za UVP na raketi

Relativna bočna sila i relativni gubitak, po jednoj mlaznici, su dati izrazima (1 i 2), respektivno:

$$b = \frac{F_b}{F_0} \quad (1)$$

$$a = \frac{F_0 - F_a}{F_0} = 1 - \frac{F_a}{F_0} \quad (2)$$

gde su:

F_b – bočna (upravljačka) komponenta potiska,
 F_0 – neporemećeni potisak u pravcu ose mlaznice kada je interceptor isključen i

F_a – poremećeni potisak u pravcu ose mlaznice kada je interceptor uključen.

Pošto se na svakoj od dve mlaznice MRM nalazi po jedan sklop sistema za UVP, ukupna relativna bočna sila B i ukupni relativni gubitak A su dati izrazima (3 i 4):

$$B = \frac{F_B}{F} = \frac{2bF_0}{2F_0 \cos \alpha} = \frac{b}{\cos \alpha} \quad (3)$$

$$A = \frac{F - F_A}{F} = \frac{2F_0 \cos \alpha - 2F_0(1-a)\cos \alpha}{2F_0 \cos \alpha} = a \quad (4)$$

gde su:

F – ukupni neporemećeni potisak u pravcu ose rakete kada su interceptori isključeni,

α – ugao zakošenja mlaznica MRM u odnosu na osu rakete,

F_A – ukupni poremećeni potisak u pravcu ose rakete kada su interceptori uključeni i

F_B – ukupna bočna sila.

Ukupna relativna bočna sila B je veća od relativne bočne sile b jednog sklopa sistema za UVP, a ukupni relativni gubitak A je jednak relativnom gubitku a jednog sklopa sistema za UVP.

Na relativnu bočnu silu i relativni gubitak sistema za UVP [3,4] primarno utiču sledeći parametri MRM i sistema za UVP:

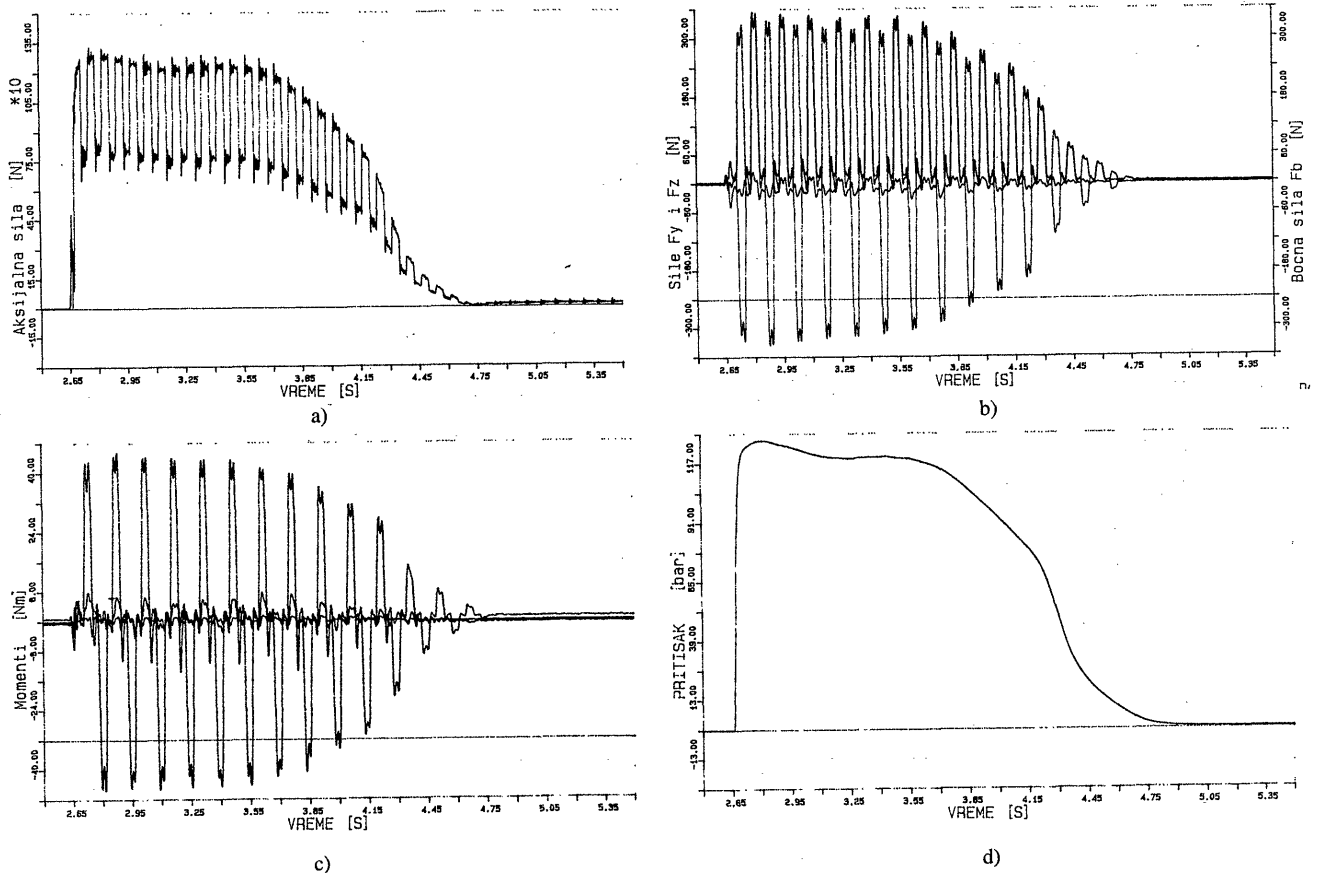
- pritisak u komori MRM,
- relativno zasenčenje mlaznica MRM interceptorima definisano kao odnos zasenčenog prema izlaznom preseku mlaznice i
- zazor između interceptora i izlazne površine mlaznice.

Za usvojene parametre MRM i sistema za UVP merenje ukupne aksijalne i bočne sile je izvršeno na opitnom stolu sa šest stepeni slobode.

Na opitnom stolu se mere tri komponente rezultujućeg vektora potiska F_x, F_y, F_z i tri komponente rezultujućeg momenta M_x, M_y, M_z , koji u toku rada MRM sa UVP deluju na raketu.

Aksijalnu komponentu vektora potiska (sila F ili F_A) meri davač sile u pravcu x -ose (F_x), a rezultujuća upravljačka sila rakete i njen pravac se računaju prema izrazima (5 i 6):

$$F_B = \sqrt{F_y^2 + F_z^2} \quad (5)$$



Slika 5. Rezultati ispitivanja sistema za UVP: a) aksijalna komponenta potiska F_x ; b) F_y i F_z i rezultanta bočna komponenta F_b ; c) momenti M_x , M_y i M_z ; d) pritisak u komori MRM

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{F_b}{F_x} \quad (6)$$

gde su: F_y , F_z sile koje se mere u pravcu y i z - ose rakete, sl.4.

Rezultati merenja efikasnosti sistema za UVP posle digitalne obrade signala [5,6] su prikazani na sl.5. Na sl.5a je prikazan dijagram aksijalne komponente potiska MRM. Neporemećeni potisak (F), kada sistem za UVP ne radi, odgovara višem nivou, a poremećeni potisak (F_A), kada je sistem za UVP uključen, odgovara nižem nivou.

Jasno je da se bočna upravljačka sila rakete generiše sistemom za UVP na račun smanjenja aksijalne komponente potiska, a sistem za UVP je utoliko efikasniji, ukoliko je relativna bočna sila veća. Na sl.5b su prikazane komponente bočne sile F_y i F_z i njihova rezultanta, bočna sila F_b . Od komande do komande relativna bočna sila, sračunata prema izrazu (1), kreće se od 24 do 32%, a relativni gubitak, prema izrazu (2), $\approx 30\%$.

Na sl.5c su prikazane komponente rezultujućeg momenta, a na sl.5d dijagram promene pritiska u komori MRM.

U literaturi su do sada prikazana rešenja sistema za UVP efikasnosti do 22%, a proizvođači često koriste definiciju za relativnu bočnu silu prema izrazu (7) koji daje nerealno veću vrednost, jer je F_a poremećeni aksijalni potisak:

$$b' = \frac{F_b}{F_a} \quad (7)$$

Prema izrazu (7) relativna bočna sila ovde prikazanog sistema za UVP se kreće od 30 do 41%.

Zaključak

Snažni sistem za UVP, opisan u ovom radu, prvi put je prikazan u literaturi.

Sistem se sastoji od: izvora energije, pogonskih elemenata i izvršnih organa. Izvor energije sistema za UVP je termalna baterija, a pogonski elementi četiri para elektromagneta kojima upravlja blok elektronike sistema za UVP. Izvršni organi sistema za UVP su molibdenski interseptori.

Definisani su osnovni dinamički i električni parametri (vremena kašnjenja odziva i preleta interseptora, trajanje minimalne komande, jačine struja mirnog držanja i forsiranja) i sa njima eksperimentalno određeni relativna bočna sila i relativni gubitak sistema za UVP.

Od komande do komande relativna bočna sila se kreće od 24% do 32%, što je do sada najsnažniji sistem za UVP prikazan u literaturi.

Literatura

- [1] KOBILAREV, M., LAZIĆ, R. Prilog upravljanju protivoklopnim raketama. *Naučnotehnički pregled*, 1998, vol.48, no.1.
- [2] MINOVIĆ, S. Odgovor laganorotirajućeg projektila na dejstvo upravljačke povorke širinsko-modulisanih impulsa. *Naučnotehnički pregled*, 1973, vol.23, no.8.
- [3] STEFANOVIĆ, A. i dr. *Eksperimentalno istraživanje izvršnog elementa sistema za upravljanje vektorom potiska-iterceptorā*. int. dok. VTI-03-01-0228, Beograd, 1991.
- [4] STEFANOVIĆ, A., KOBILAREV, M., GLIGORIJEVIĆ, N. Metoda proračuna potiska raketnog motora na osnovu zahtevane srednje bočne sile rakete. *Naučnotehnički pregled*, 1995, vol.45, no.1-2.
- [5] KOBILAREV, M. Određivanje realne vrednosti komponenta vektora potiska i rezultujućeg momenta metodom multivarijabilne dekonvolucije sa matricom AR-modela opitnog stola sa šest stepeni slobode. *Naučnotehnički pregled*, 1986, vol.36, no.1.
- [6] KOBILAREV, M. Metoda za određivanje realnih trenutnih vrednosti vektora potiska raketnog motora vodene rakete, na zemlji. *Naučnotehnički pregled*, 1989, vol.34, no.1.