

Originalni naučni rad**UDK 662.756.3****DOI 10.7215/SVR1204253A****OSObine MLAZNOG GORIVA GM-1****Doc. dr Božidarka Arsenović**Nezavisni univerzitet Banja Luka, Ekološki fakultet;
„Orao“ a.d., Bijeljina**Zoran Janjuš**

Gradska uprava Banja Luka

Sažetak: Toplota i brzina sagorijevanja mlaznog goriva umnogome zavisi od intenziteta procesa sagorijevanja u komorama sagorijevanja, a oni, sa svoje strane, zavise od kvaliteta goriva (viskoziteta, isparljivosti, hemijskog i frakcionog sastava). Savremeni mlazni motori koriste goriva tipa kerozina. Dalji razvoj kvaliteta goriva uslovljen je potrebama za sve većim nadzvučnim brzinama, kao i sve strožijim zahtjevima socijalno-ekološke prirode u pogledu kvaliteta izduvnih gasova iz motora aviona. Perspektivna mlazna goriva biće više obogaćena aditivima, prvenstveno antioksidantima, aditivima za poboljšanje termičke stabilnosti, stabilnosti tokom skladištenja kao i za poboljšanje mazivosti, kako bi se smanjilo habanje agregata gorivnih sistema. Deaeromatizovana goriva posjeduju povišen energetski koeficijent i visoku termičku stabilnost na temperaturama do 260⁰C.

Ključne riječi: *gorivo, mlazni motor, fizičko-hemijske karakteristike, vazduhoplovstvo.*

U V O D

Mlazna goriva su smješe tečnih ugljovodonika i namijenjena su za pogon mlaznih motora. U principu, to su kerozinske frakcije ili smješe kerozinskih i benzijskih frakcija sa različitim dodacima. Prvo mlazno gorivo, upotrijebljeno za pogon avionskih motora sa gasnom turbinom, bio je rasvjetni petrolej, u Velikoj Britaniji nazvan kerozin. Danas je na našim prostorima u upotrebi gorivo GM-1, a to je kerozinska frakcija nafte sa vrelištem u temperaturnom intervalu od 170⁰C do 300⁰C (još uvijek po svom kvalitetu zadovoljava zahtjeve vojnog i civilnog vazduhoplovstva).

U obezbjeđivanju sigurnog rada mlaznih motora na svim režimima i u svim uslovima primjene goriva moraju imati siguran kvalitet. Pored opštih osobina, karakterističnih za sva tečna goriva, ovdje su posebno strogi zahtjevi za visokim stepenom kvaliteta specifičnih osobina. Ovako stroge zahtjeve postavljaju i opravdavaju uslovi upotrebe mlaznih goriva, kao što su veoma velike brzine i visine leta mlaznih aviona, a na njih utiču i termički najopterećeniji dijelovi mlaznog motora: komora sagorijevanja, gasna turbina kao i goriva instalacija.

Pored navedenih, postoje i drugi problemi zbog kojih gorivo za mlazne motore mora ispuniti određene zahtjeve, a to su:

- da ima što veću gustinu i toplotnu moć, jer od njih zavisi dolet aviona sa nepromijenjenom zapreminom rezervoara za gorivo;
- da ne sadrži lako isparljive frakcije koje bi izazvale stvaranje čepova para u instalacijama i veliki gubitak goriva zbog isparavanja na velikim visinama;
- da se lako prepunjava i neprekidno protiče od rezervoara do motora u svim uslovima leta aviona;
- da ne mrzne i ne izdvaja kristale ugljovodonika na niskim temperaturama (do -50°C);
- da izvrši pokretanje motora u svim uslovima primjene;
- da se dobro raspršuje na svim režimima rada motora;
- da ima takvu brzinu sagorijevanja koja obezbjeđuje završetak procesa sagorijevanja u komori sagorijevanja;
- da sagorijeva potpuno, bez stvaranja taloga, gareži i koksa na brizgaču, komori sagorijevanja, turbini i drugim dijelovima;
- da na povišenim temperaturama, u uslovima leta nadzvučnim brzinama, bude termički stabilno i ne stvara čvrste taloge i td.

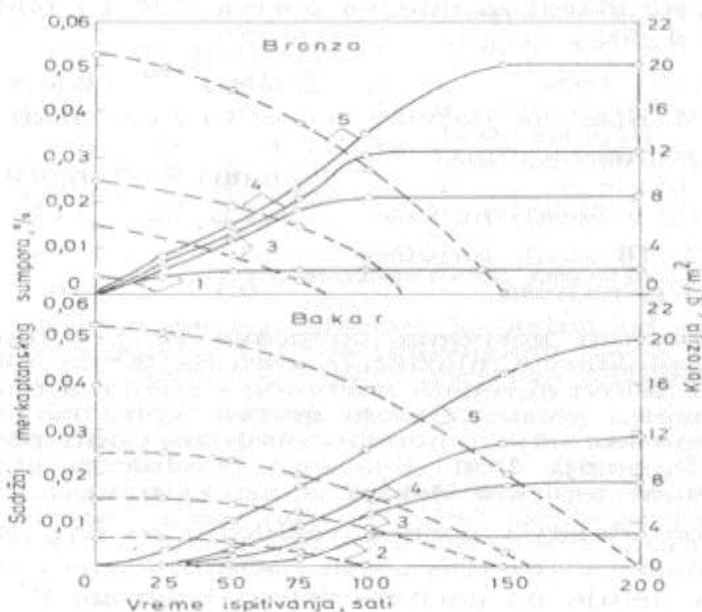
Na slici 1 prikazan je izgled motora VIPER 632 – 46.



HEMIJSKI SASTAV MLAZNIH GORIVA

Po hemijskom sastavu mlazna goriva su složene smješe, a sastoje se od osnovne četiri grupe ugljovodonika: parafina, naftena, aromata i olefina. Njihov sadržaj u gorivu kreće se od 98% do 99%, dok su ostatak od 1% do 2% neugljovodonična jedinjenja: sumpora, azota, kiseonika i u tragovima različiti metali ili jedinjenja koja sadrže metale. Ovakav sastav mlaznih goriva uslovljen je strogim zahtjevima za što većom toplotnom moći i stabilnošću, a što manjim stvaranjem gareži, što upravo obezbjeđuju

parafinski i naftenski ugljovodonici. U mlaznim gorivima najzastupljeniji su parafinski i naftenski ugljovodonici (oko 70%). Sadržaj aromatskih ugljovodonika u mlaznim gorivima je manje poželjan zbog toga što oni imaju manju toplotnu moć (za oko 10%), smanjuju brzinu i potpunost sagorijevanja, povećavaju stvaranje gareži, uzrokuju progorijevanje komore za sagorijevanje i snižavaju termičku stabilnost. Olefini su hemijski nestabilni i skloni stvaranju smola, a pogoršavaju termičku stabilnost goriva. Njihov sadržaj u gorivu ograničen je na maksimalni iznos od 5% po zapremini. Nizak sadržaj merkaptanskog sumpora (0,001% po masi) strogo se ograničava zbog njegove izražene korozivne agresivnosti. Na slici 2 prikazan je uticaj sadržaja merkaptanskog sumpora na koroziju bronce i bakra na temperaturi 60°C.



Slika 2: Uticaj sadržaja merkaptanskog sumpora u gorivu, % na koroziju bronce i bakra

Od neugljovodoničnih jedinjenja posebnu pažnju zaslužuju jedinjenja kiseonika. Ova jedinjenja predstavljaju alkoholi, organske kiseline (uglavnom naftenske), sapuni naftenskih kiselina (proizvodi uzajamnog djelovanja naftenskih kiselina sa metalima), kao i smole koje predstavljaju proizvode oksidacije i zgušnjavanja nestabilnih ugljovodonika i neugljovodoničnih primjesa goriva. Organske kiseline povećavaju korozivnu agresivnost goriva prema obojenim metalima, smole povećavaju stvaranje gareži, sapuni naftenskih kiselina, i ako nerastvorljivi u gorivu, mogu izazvati zapušavanje filtera goriva, a time spriječiti normalan dovod goriva u motor. Zbog potrebe sigurnosti rada mlaznog motora i uticaja navedenih faktora propisana su i stroga ograničenja sadržaja navedenih komponenata u mlaznom gorivu.

TOPLOTNA MOĆ I TERMIČKA STABILNOST MLAZNIH GORIVA

Pri sagorijevanju mlaznog goriva u motoru osnovni zadatak je transformacija njegove hemijske energije u toplotnu, kao i da za isti potisak motora bude što manja specifična potrošnja goriva, što obezbjeđuje veći dolet aviona sa istom količinom goriva u rezervoarima aviona. Sagorijevanjem goriva u motoru obezbjeđuje se potrebna količina toplote za odgovarajuće zagrijavanje vazduha i znatno povećavanje njegove zapremine u poređenju sa zapreminom koju je on imao nakon sabijanja u kompresoru. Što su više zagrijani gasovi koji dolaze na turbinu motora, to je i rad širenja veći od rada utrošenog na sabijanje a ovaj odnos zavisi od toplotne moći goriva. Toplotna moć mlaznog goriva, kao i ostalih, određuje se eksperimentalno u kalorimetru sa bombom ili, u praksi češće preko anilinsko-težinske konstante, odnosno iskustvenih formula. Za mlazno gorivo GM-1, donja toplotna moć se izračunava iz izraza:

$$H_d = \{[17797 + 0,1056 (A \cdot G)] \cdot 0,556\} \cdot 4,186 \quad [\text{kJ/kg}]$$

1) gdje je:

H_d – donja toplotna moć mlaznog goriva

A – anilinska tačka, $^{\circ}\text{F}$

G – gustina, $^{\circ}\text{API}$ (stepeni Američkog petrolejskog instituta)

Kada mlazno gorivo sadrži sumpor, vrši se korekcija.

$$H_d = \{[H_d (1 - 0,01 \cdot S) + 43,7 \cdot S] \cdot 0,556\} \cdot 4,186 \quad [\text{kJ/kg}]$$

2) Iskustvene formule uzimaju u obzir i anilinsko-težinsku konstantu i gustinu mlaznog goriva, pa je:

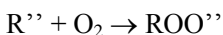
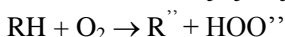
$$H_d = \{[11088 + 757 \cdot \rho - 2100 \cdot \rho^2] \cdot 0,556\} \cdot 4,186 \quad [\text{kJ/kg}]$$

3) gdje je ρ – gustina mlaznog goriva na 15°C .

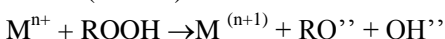
Termička stabilnost je osobina mlaznog goriva kojoj se posvećuje, sa razvojem nadzvučne avijacije, sve više pažnje. Pri letenju nadzvučnim brzinama dijelovi i avion u cjelini se zagrijevaju, tako da temperatura na pojedinim mjestima dostiže i preko 300°C . Vruć vazdušni sloj koji nastaje uz oplatu aviona, predstavlja barijeru za izmjenu toplote sa okolinom, tako da dolazi do zagrijavanja aviona, što zavisi od brzine letenja. Toplota konstrukcije aviona se prenosi na gorivo. Tako, na primjer, ako avion leti brzinom od 2,5 M, gorivo može da se zagrije i do 130°C . Zagrijavanje goriva je najintenzivnije u sistemu hlađenja motora i ulja, jer gorivo uglavnom služi kao rashladni fluid. Pod uticajem visokih temperatura u gorivu za mlazne motore dolazi do razvoja oksidacionih procesa, koji se još pojačavaju katalitičkim djelovanjem metala dijelova gorivog sistema.

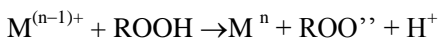
Rezultat pojačanih oksidacionih procesa je pojava taloga i naslaga na zidovima gorivnog sistema i filtra za gorivo.

Hemizam oksidacije je sljedeći:

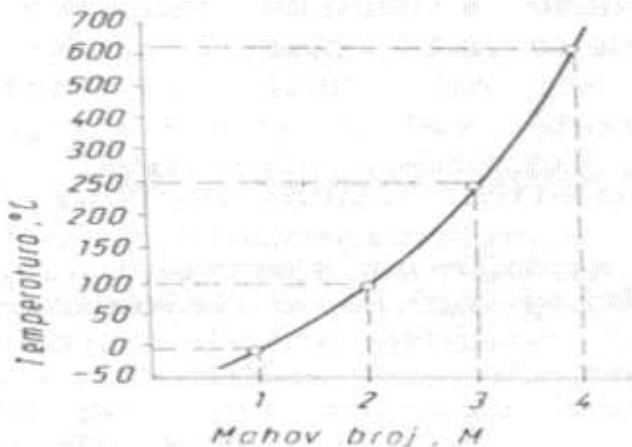


Pod katalitičkim djelovanjem metala dolazi do dekompozicije hidroperoksida (ROOH):





Na slici br. 3 prikazane su promjena temperature zagrijavanja površine aviona u stratosferi u zavisnosti od brzine leta.



Slika 3: Promjena temperature zagrijavanja površine aviona u stratosferi u zavisnosti od brzine leta

Proces se odvija tako što se hidroperoksidi transformišu do polimera: hidroperoksidi-aldehidi-ketoni-kiseline-polimeri. Polimeri se u gorivu javljaju u obliku čestica, taloga, naslaga (lakova) i obojenih materija. Krajnji rezultat može biti potpuno začepljenje gorivnih filtera, što dovodi do otkaza rada motora.

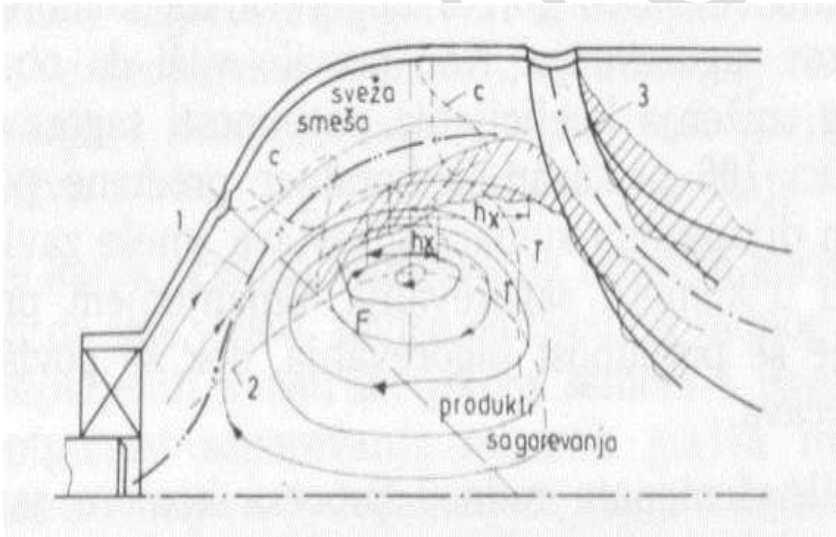
STVARANJE GORIVE SMJEŠE I SAGORIJEVANJE MLAZNIH GORIVA

Kao i kod ostalih motora sa unutrašnjim sagorijevanjem, i kod mlaznih motora procesu sagorijevanja prethodi stvaranje gorivne smješe. Gorivna smješa neprekidno nastaje i sagorijeva, zbog čega proticanje vazduha i goriva mora biti kontinuirano kako ne bi došlo do prekida procesa sagorijevanja. Vazduh se uvodi kompresorom, preko difuzora u komoru sagorijevanja. Gorivo se, najčešće kroz brizgače, dovodi pumpom visokog pritiska direktno u komoru sagorijevanja. U cilju efektivnog isparavanja tečnog goriva koje ulazi u komoru sagorijevanja, ono mora biti dobro raspršeno. Proces raspršivanja se odvija u više faza:

1. prolaskom tečnog goriva kroz brizgač u komori sagorijevanja nastaje njegov zastor ili raspršni mlaz;
2. pojava sitnih talasa i poremećaja na površini tečnosti kao posljedica prethodne turbulencije i uticaja vazduha na nju;
3. nastajanje finih opni tečnosti pod uticajem pritiska vazduha i sila površinske napetosti;
4. usitnjavanje opni na odvojene kapljice na račun površinske napetosti goriva;
5. dalje, još finije usitnjavanje ovih kapljica.

Nakon ulaska u komoru za sagorijevanje goriva smješa se pali električnom varnicom ili specijalnim gorionicima. Proces gorenja se odvija u veoma brznoj oksidaciji gorivnih komponenata uz izdavanje određene toplotne energije.

Poslije početnog paljenja i gorenja smješe, tj. pokretanja motora, nastaje proces tzv. stvarnog sagorijevanja gorivne smješe u komori sagorijevanja. Količina vazduha koja sa gorivom ulazi u komoru sagorijevanja nekoliko puta je veća od potrebne i dijeli se na primarni i sekundarni vazduh. Količina primarnog vazduha iznosi 20 do 30% od ukupne količine, a uvodi se u komoru sagorijevanja na više mjesta. Sekundarna količina vazduha 70 do 80% obilazi spolja prednji dio plamene cijevi, hladi je i ulazi kroz otvore i miješa se sa preostalim dijelom gorive smješe i proizvodima sagorijevanja, osiromašujući smješu i hladeći je. Gorivo ubrizgano u zonu cirkulacije, gdje gasovi imaju visoku temperaturu, brzo ispari i sagorijeva u prednjem dijelu komore zavisno od stepena miješanja sa vazduhom u vrtložnom sloju. Produženje gorenja smješe, pri daljem kretanju kroz plamenu cijev, moguće je dodavanjem sekundarnog vazduha koji osiromašuje smješu.



Slika 4: Šema modela sagorijevanja u prednjoj zoni plamene cijevi: 1 – trajektorija kretanja osnovne mase i goriva; 2 – granica zone obratnih tokova; 3 – struja sekundarnog vazduha; F – trenutni položaj fronta plamena; h_x – širina fronta plamena; c – koncentracija goriva; T – temperatura gasova.

Gasovi i čestice koji nastaju sagorijevanjem pogonskog goriva aviona su: vodena para (H_2O), ugljen dioksid, CO_2 , azot monoksid, NO, azot dioksid, NO_2 (NO i NO_2 zajednički se označavaju kao NO_x), sumporni oksidi, SO_x i čađ. Ovi elementi procesa sagorijevanja pogonskog goriva, se uglavnom zadržavaju u dijelu troposfere koji se odlikuje visokom vlažnošću i nešto višom temperaturom, u čijim donjim slojevima, dolazi do zagrijavanja atmosfere, a zagrijavanje opada sa porastom visine. Na slici 4. dat je šematski prikaz modela sagorijevanja u prednjoj zoni plamene cijevi.

Osnovni parametar koji karakteriše savršenost procesa sagorijevanja je koeficijent oslobađanja toplote ili potpunosti sagorijevanja. Najpotpunije sagorijevanje dostiže se pri vrijednosti α_{uk} približno 4, a smanjuje se pri osiromašenju, kao i pri obogaćenju sastava smješe. Potpunost i brzina sagorijevanja su osnovni pokazatelji procesa sagorijevanja goriva u mlaznim motorima i zavise od konstrukcionih osobina motora, eksploatacionih uslova i kvaliteta goriva. Završni stepen sagorijevanja u mlaznim motorima je uzajamno hemijsko djelovanje komponenata goriva sa kiseonikom koji dolazi sa vazduhom. Povećanjem visine letenja smanjuje se dovodjenje kiseonika iz okoline u komore sagorijevanja, čiji je rezultat sniženje potpunosti sagorijevanja goriva.

ZAKLJUČAK

Toplota i brzina sagorijevanja mlaznog goriva umnogome zavisi od intenziteta procesa sagorijevanja u komorama sagorijevanja, a oni sa svoje strane zavise od kvaliteta goriva (viskoziteta, isparljivosti, hemijskog i frakcionog sastava).

Poboljšanje karakteristika sagorijevanja mlaznih goriva veoma je teško ostvariti, budući da one, često zavise od osobina radnog procesa u komori sagorijevanja, uslovljenih konstrukcionom šemom i eksploatacionim uslovima. Ipak, potpunost sagorijevanja mlaznih goriva može se poboljšati njihovom deaeromizacijom i dodavanjem raznih dodataka. Deaeromizovana goriva posjeduju povišen energetske koeficijent i visoku termičku stabilnost na temperaturama do 260⁰C.

Perspektivni putevi dobijanja goriva sa visokim energetske karakteristika su postupci sinteze ugljovodoničnih mlaznih goriva. Postupkom sinteze ugljovodnika mogu se dobiti goriva čije će energetske karakteristike biti za 13 do 20% bolje nego kerozina. Pored povećanja doleta mlaznih aviona na račun povećanja toplotne moći goriva, važan zadatak je i povećanje potiska perspektivnih mlaznih motora.

CHARACTERISTICS OF JET FUEL GM-1

Božidarka Arsenović, Ph.D. and Zoran Janjuš

Abstract: Heat and speed of combustion of jet fuel considerably depends on the intensity of the combustion process in combustion chambers, which, on the other hand, depend on the quality of fuel (viscosity, volatility, chemical and fractional composition). Modern jet engines fly on kerosene-type jet fuel. Further development of fuel quality is conditioned by the needs for the growing supersonic speeds and more strict social-environmental requirements in respect of quality of an aircraft engine exhaust gases. The perspective jet fuels will be enriched with additives, primarily antioxidants, additives for improvement of thermal stability, storage stability, lubricity, in order for fuel accessory wear to be reduced. Deaerated fuels have increased energy coefficient and high thermal stability at temperatures up to 260⁰C.

Keywords: *fuel, jet engine, physical and chemical characteristics, aerospace*

LITERATURA

1. Antonijević, D. (2009): *Ekosistemske tehnologije*, Beograd.
2. Dokument SNO 0476/00 *Gorivo za mlazne motore*, (tip I), GM-1.
3. Rašuo, B. (1995): *Tehnologija proizvodnje letilica*, SNO, Beograd.
4. Višekruna, Č. (1988): *Vazduhoplovni pogonski materijali (deo I)*, Goriva, SNO, Beograd.
5. Zrel'ov V. N., Piskunov V. A. (1968): *Reaktivnie dvigateli i toplivo*, Mašinstrojenije, Moskva.

SVAROG