Dr Milenko Živaljević,
pukovnik, dipl. inž.
Mr Mato Šiladić,
potpukovnik, dipl. inž.
Vazduhoplovnotehnička uprava
GŠ VJ, Beograd

NEKI ASPEKTI ODRŽAVANJA BORBENIH AVIONA

UDC: 623.746.004.54

Rezime:

U radu su prikazane osnove savremenih koncepcija i organizacija održavanja borbenih aviona i motora u ratnom vazduhoplovstvu. Primaran akcenat dat je koncepciji održavanja prema stanju, sa posebnim osvrtom na definisanje kriterijuma o primeni te koncepcije održavanja. Iskustvo i praksa su pokazali da se primenom ove koncepcije povećava ekonomičnost održavanja i raspoloživost borbenih aviona, uz istovremeno zadržavanje bezbednosti letenja na zahtevanom nivou. Takođe, razmatrana je i mogućnost promene koncepcije remonta borbenih aviona i njihovih motora (kao najvišeg stepena održavanja) koja proističe iz primene koncepcije održavanja prema stanju, a u određenom obliku je primenjena ili se može primeniti u našem RV i PVO.

Ključne reči: koncepcija održavanja, održavanje prema stanju, borbeni avioni, remont.

SOME ASPECTS OF MAINTENANCE OF COMBAT AIRCRAFTS

Summary:

The fundamentals of modern conceptions and organizations of maintenance of combat aircrafts and engines in air forces are presented in the paper. The stress is on the condition maintenance conception, especially on the definition of criteria for the condition maintenance application. Experience has shown that this conception increases the maintenance economy and the availability of combat aircrafts, keeping, at the same time, the flight safety on the required level. The paper also discusses the possibility to change the conception of repair of combat aircrafts and their engines (as the highest maintenance level), which results from the condition maintenance application and which is applied, or can be applied, in a particular form, in Yugoslav Air Forces and Air Defense.

Key words: maintenance conception, condition maintenance, combat aircrafts, repair.

Uvod

U dosadašnjem periodu razvoja vazduhoplovstva dominantan oblik održavanja borbenih aviona i njihovih motora zasniva se na striktno propisanim časovima i vremenskom roku rada. Posle isteka roka rada, avioni i motori se upućuju u remontni zavod na remont prema propisanoj tehnolo-

giji radova. Ovakav preventivan postupak održavanja ne uzima u obzir stvarna naponska i termička opterećenja svakog konkretnog sredstva u toku eksploatacije. Sa određenim stepenom sigurnosti, bez obzira na to da li je to stvarno neophodno ili ne, avioni i motori istog tipa se remontuju nakon propisanog vremenskog ili časovnog roka rada.

Početak osamdesetih godina došlo je do bitnih promena u održavanju mlaznih motora na borbenim avionima kada je na savremenim zapadnim motorima uspostavljen koncept preventivnog održavanja prema stanju (*on condition maintenance*). Od samog početka uvođenja bilo je jasno da primena koncepta održavanja aviona i mlaznih motora prema stanju zahteva da se još u toku projektovanja letelice i motora ugrade: odgovarajuća dijagnostička oprema za praćenje i utvrđivanje stanja komponenata, i za samopроверу dijagnostičkih uređaja; registrator zamora konstrukcije, koeficijenta opterećenja i ukupnog rada motora na svim režimima; registrator rada na režimima *maksimal*, *forsaž* i *specijalni režim*; registrator proračunskih termičkih ciklusa; otvori za kontrolu toplih delova. Pored toga, konstrukcija aviona i motora morale su da budu modularne, kako bi se obezbedio brz i jednostavan pristup delovima. Modularnost konstrukcije omogućila je eliminaciju tehnologije klasičnog remonta. Naime, sada je moguća zamena modula na nivou radionice u roku od nekoliko časova, čak i bez posebnog postupka uravnoteženja. Zahvaljujući tome, nakon nastanka otkaza, isteka dozvoljenog broja termičkih ciklusa opterećenja ili broja časova rada, skidaju se pojedini moduli i zamenjuju novim. Avion, a naročito motor, sačuvani su kao celina, a skinuti delovi se oppravljaju, remontuju ili odbacuju.

Savremeni avioni izrađeni su od velikog broja materijala sa različitim fizičko-hemijskim karakteristikama, a u toku eksploatacije trpe različite karaktere i intenzitete opterećenja. Zbog toga je u praksi veoma teško organizovati optimalni koncept održavanja, pa se obavljaju određene kombinacije kroz koje se avion dekomponuje na

sisteme bitne za bezbednost leta i sisteme čije umanjene performanse ili otkazi ne utiču na bezbednost leta. Na osnovu takve podele kreiraju se odgovarajući koncepti održavanja koji će zadovoljiti postavljene zahteve pouzdanosti i bezbednosti rada vazduhoplova kao celine.

Osnovni prilazi održavanju

Održavanjem se postiže potreban stepen operativne gotovosti i pouzdanosti, neophodan za efikasnu upotrebu borbenih aviona.

Teorija pouzdanosti i teorija održavanja predstavljaju osnovu za programiranje i praktičnu realizaciju kvalitetnih postupaka održavanja. U vazduhoplovstvu koje pripada sistemima visoke bezbednosti, metodologija održavanja je zasnovana na održavanju prema pouzdanosti.

U odnosu na uspostavljeni sistem održavanja, primenjenu tehnologiju i organizaciju, postoje sledeće koncepcije održavanja (slika 1):

- preventivno,
- korektivno,
- kombinovano.

Preventivno održavanje može da se realizuje prema stanju (POPS) — moderniji koncept održavanja i prema roku rada (engleski *HARD TIME*) — relativno starija i skuplja varijanta održavanja.

Održavanje prema stanju (POPS) odvija se kroz dve varijante:

- POPS sa proverom parametara stanja, pri čemu se stanje posmatra i prati diskretno ili kontinualno (*on condition* ili *condition monitoring*),
- POPS sa proverom pouzdanosti (*Reliability level inspection*).

Sl. 1 — Konceptija održavanja borbenih aviona u svetu

Uslovi za izbor koncepcije održavanja

Definisanje sistema održavanja sa stanovišta koncepcije (preventivno, korektivno, kombinovano) i periodičnosti obavljanja postupaka održavanja, načelno se zasniva na optimizaciji sa stanovišta troškova [10]. U nekim slučajevima, određenim tehničkim, funkcionalnim ili, kao što je to slučaj u vazduhoplovstvu, bezbednosnim zahtevima, treba dati prednost. Pri optimizaciji održavanja pomenuta ograničenja moraju se uzeti u obzir. Dobar primer koji ilustruje ovu problematiku su propisi američke Savezne uprave za putnički vazdušni saobraćaj (FAA), poznati pod nazivom MSG [9]. Radi se o propisima koji detaljno razrađuju postupke održavanja i vreme njihovog provođenja na jednom avionu da bi mu bilo dozvoljeno učešće u javnom saobraćaju. Značajno je, međutim, da se održavanje aviona po ovim propisima zasniva na oceni njegove pouzdanosti.

U vazduhoplovstvu je, zbog potrebe zadovoljenja visoke bezbednosti le-

tenja, najvećim delom primenjeno preventivno održavanje — POPS ili po fiksnom roku rada. Konceptija POPS sa proverom parametara stanja koja spada u savremeni koncept održavanja, našla je svoju primenu u održavanju borbenih aviona novije generacije. Za prelazak na održavanje prema stanju neophodno je obezbediti [13]:

- raspoloživost sistema aviona za proveru stanja (sa ugrađenom opremom za praćenje stanja);

- savremenu ispitno-mernu opremu;

- obučeni kadar, čija edukacija mora biti izvršena tokom školovanja;

- odgovarajuću informatičku podršku sa bazom podataka o otkazima i održavanju.

Za elemente sa konstantnim intenzitetom otkaza (otkazi se pokoravaju eksponencijalnoj raspodeli) primeniće se korektivno održavanje, kada je to ekonomičnije od koncepcije POPS sa proverom parametara stanja, ukoliko nema drugih ograničenja. Obično su to elementi elektro-elektronskih siste-

ma, čije umanjene performanse ili otkazi bitno ne utiču na bezbednost leta i koji u sebi ne sadrže obrtne sklopove (žiroskope, elektromotore, itd.) [13].

Kod ovog sistema održavanja naročito je značajno izvršiti izbor dozvoljenog nivoa pouzdanosti R_d . On se može zadati ili uzeti na osnovu stečenog iskustva u procesu eksploatacije u ro-

PRIMENA KONCEPCIJE POPS I KOREKTIVNOG ODRŽAVANJA

Sl. 2 — Preporuke za održavanje borbenih aviona

Održavanje pojedinih elemenata borbenih aviona metodom preventivnog održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti

Za istotipske sastavne elemente sistema aviona sa približno konstantnim intenzitetom otkaza preporučuje se primena koncepcije POPS sa kontrolom nivoa pouzdanosti, period II (slika 2) [6, 8].

Koncepcija preventivnog održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti ($POPS_{knp}$) svodi se na princip da se istotipski sastavni elementi borbenog aviona koriste bez ograničenja roka rada, uz izvršenje neophodnih aktivnosti korektivnog održavanja do vremena kada je stvarni nivo pouzdanosti R_s veći od dozvoljenog nivoa pouzdanosti R_d (slika 3).

ku od 3 do 5 godina. Kada se ustanovi da je R_s ispod definisanog dozvoljenog nivoa R_d , vrši se analiza uzroka i preduzimaju mere za povećanje pouzdanosti. Kontrola nivoa pouzdanosti elemenata može se obavljati kvartalno, polugodišnje ili godišnje, što zavisi od značaja grupe elemenata za bezbednost letenja. Za elemente čiji je značaj za bezbednost letenja veći, vršice se češća kontrola nivoa pouzdanosti, tj. vremenski intervali kontrole biće manji i češći.

Teoretska postavka modela POPS sa kontrolom nivoa pouzdanosti zasniva se na Poasonovoj raspodeli slučajno promenljive veličine [6, 8]. Nivo pouzdanosti skupa istotipskih elemenata kontroliše se na taj način što se vrši upoređivanje stvarnog broja otkaza ovih elemenata n sa gornjom gra-

nicom regulacije GGR, u čijim granicama praćeni broj otkaza ima slučajni karakter [6, 8]. Gornja granica re-

TRANZITIVNI DIJAGRAM STANJA SISTEMA

Sl. 3 — Model POPS sa kontrolom nivoa pouzdanosti $R(t)$

gulacije (GGR) zasniva se na Poasonovoj raspodeli, a definisana je usvojenom verovatnoćom od 0,975, koja predstavlja zadati nivo verovatnoće gornje granice broja otkaza [6, 8]:

$$p_z = \sum_{n=0}^{n=GGR} \frac{(\omega_s N t_{sr} a)^n}{n!} \exp(-\omega_s N t_{sr} a)$$

gde je:

- N — broj posmatranih sistema;
- t_{sr} — srednje vreme u radu elemenata;
- a — broj istotipskih elemenata u sklopu;
- n — broj otkaza elemenata za posmatrani period eksploatacije;
- ω_s — parametar toka otkaza (matematičko očekivanje broja otkaza).

Na osnovu veličina n i GGR donose se dalje odluke. Ako se utvrdi da je $n < GGR$, produžava se primena modela POPS sa kontrolom nivoa pouzdanosti, dok se u slučaju da je $n > GGR$ preduzimaju mere za povećanje pouzdanosti elemenata (ispituje se uzrok otkaza, menjaju se uslovi eksploatacije, razmatra se konstrukcijski nedostatak elemenata) ili se menja periodičnost kontrole. U slučaju da je sa ekonomskog ili bilo kog drugog aspekta nemoguće ići na povećanje pouzdanosti prelazi se na druge modele održavanja.

Praktični primeri koncepcija i organizacija održavanja borbenih aviona

Održavanje savremenih borbenih aviona u svetu

Koncepcija preventivnog održavanja uspešno je primenjena na avionu Mirage 2000 [10]. Zasniva se na principu *ispitaj i zameni ako je potrebno* i uređajima i računarima koji omogućuju autonomno testiranje ispravnosti aviona (built-in test). Navedena koncepcija ne predstavlja generalno rešenje za održavanje čitavog aviona. Održavanje pojedinih elemenata zahteva primenu drugih koncepcija održavanja, kao što su održavanje po fiksnom roku rada i korektivno održavanje. Glavni sistemi aviona se održavaju preventivno, avionika¹ korektivno, dok se

¹ avionika — zajednički termin za elektronsku i optoelektronsku opremu borbenog aviona.

struktura aviona održava na osnovu analize zamora [10]. Skoro istovetna koncepcija, sa malim nijansama u organizaciji, primenjena je kod aviona tornado.

Koncepcija i organizacija održavanja savremenih borbenih aviona u svestu postavljena je na način kao što je prikazano je na slici 4 [9].

ključivo u pet vazduhoplovnih logističkih centara (ALC). To su Warner Robins ALC u vazduhoplovnoj bazi Robins (Džordžija); Ogden ALC u vazduhoplovnoj bazi Hill (Utah); Oklahoma City ALC u vazduhoplovnoj bazi Tinker (Oklahoma); Sacramento ALC u vazduhoplovnoj bazi McClellan (Kali-

<p style="text-align: center;">Mirage 2000</p>	<p style="text-align: center;">Tornado</p>
<p>a. koncepcija</p> <ul style="list-style-type: none"> • održavanje prema stanju, • preventivne zamene po roku rada, • kontinualno praćenje stanja <p>b. organizacija</p> <p>Tri stepena održavanja: dva u jedinicama, a treći se vrši u zavodima</p>	<p>a. koncepcija</p> <ul style="list-style-type: none"> • održavanje prema stanju, .. • preventivne zamene po roku rada, • kontinualno praćenje stanja <p>b. organizacija</p> <p>Tri stepena održavanja u jedinicama plus održavanje u fabrikama.</p>

Sl. 4 — Koncepcija i organizacija održavanja aviona Mirage 2000 i Tornado

Organizacija održavanja vazduhoplova u RV SAD

Sistem održavanja vazduhoplovne tehnike u RV SAD obuhvata tri stepena. Postoje određene modifikacije prva dva stepena održavanja u zavisnosti od mesta lociranja aviona. Treći stepen održavanja ili remont vazduhoplovne tehnike RV SAD obavlja se is-

fornija) i San Antonio ALC u vazduhoplovnoj bazi Kelly (Teksas).

Bez obzira na stepen primenjenosti novih tehnologija, ispitno-merne i dijagnostičke opreme, na avionima se i dalje obavlja planski remont — isključivo prema časovnom naletu aviona. S obzirom na to da se najveći deo elektro, elektronske i optoelektronske opreme održava prema stanju, obim

remonta u logističkim centrima je manji. Naglašavaju se vezna mesta na strukturi, mehaničkim sistemima, zaštiti od korozije i zameni delova koji imaju ograničeni vek upotrebe (gumeno-zaptivni materijal). Umesto dugotrajnog, a često i nepotrebnog skidanja oplata, krila, repnih površina i rastavljanja trupa, uvodi se sistem skeniranja aviona pomoću specijalnih rentgenskih i neutronske skenera. Na primer, do sredine osamdesetih godina za pregled strukture aviona F-111 trebalo je više od mesec dana, a sada se taj proces sa neutronske skenerom završi samo za 36 sati.

Sadržaj pregleda je različit, pa tako npr. svake godine oko 28% aviona C-141 i C-130 prođe kroz određeni vid *remontnog* pregleda u logističkom centru.

Na primer, avion F-15 je projektovan na principima lakog održavanja (tzv. princip *klik-klik*), koji se kod elektro, elektronske i optoelektronske opreme realizuju kroz tri faze: skini — zameni — opravi. Ukoliko je otkaz takvog karaktera da se ne može otkloniti u radionici baze, sklop se šalje u logistički centar na opravku. Dakle, nema klasičnog remonta elektro, elektronske i optoelektronske opreme.

U Italiji su, takođe, uvođenjem u naoružanje aviona tornado i AMX, formirani logistički centri za remont i opravku ovih aviona.

Održavanje elektro-elektronske opreme u RV Francuske

Održavanje elektro, elektronske i optoelektronske opreme u RV Francuske obavlja se u tri nivoa održavanja: NT-1 (na nivou jedinice); NT-2 (na nivou aerodroma) i NT-3 (na nivou RV).

Na nivou NT-1 vrše se osnovna ispitivanja i dijagnostika stanja sistema, sa praćenjem stepena degradacije parametara. Ukoliko je test negativan

(izmereni parametar je van dozvoljenih granica ili je nastao otkaz), u proceduru se uključuje sistem VAMP. To je automatski modularni kompjuterski ispitni uređaj za lokalizaciju neispravnosti u elektro, elektronskim i optoelektronskim sistemima (koristi se za avione Mirage, Jaguar, Nord-262, Super-Etendard...). Neispravni blok se skida, zamenjuje sa novim i šalje na drugi nivo NT-2, gde ga preuzima sistem DIADEME. Na ovom nivou zamenjuju se komponente u bloku. Ukoliko opravka nije moguća na nivou NT-2, šalje se na nivo NT-3, gde ga preuzima sistem TERAPE. Ovaj nivo obezbeđuje automatsko ispitivanje štampanih ploča, njihovu opravku, izradu i zamenu. NT-3 nivo zasniva se na podršci francuske vazduhoplovne industrije i najvećim delom se realizuje kod proizvođača elektro, elektronske i optoelektronske opreme.

Globalne promene u sistemu održavanja RV Rusije

Uvođenjem u naoružanje aviona MiG-29 i Su-27, uočene su određene promene u sistemu održavanja RV Rusije. Očigledno, suočeni sa znatno većim rokovima rada zapadne vazduhoplovne tehnike, nemilosrdnom konkurencijom na svetskom tržištu i zahtevima za smanjenjem vremena i cene održavanja, Rusi uvode određene oblike održavanja prema tehničkom stanju (npr. motora RD-33), modularnu konstrukciju pogonske grupe (AL-31F za Su-27), trostepeni sistem održavanja i prenoše remont elektronske i optoelektronske opreme kod proizvođača.

Organizacija održavanja borbenih aviona u RV i PVO Vojske Jugoslavije

Održavanje aviona u RV i PVO VJ organizuje se u četiri stepena održavanja, od čega se tri izvode u jedinicama

(slika 5). Četvrti stepen održavanja namenjen je za remont i odvija se u vazduhoplovnim zavodima. U svim stepenima vazduhoplovnotehničkog održavanja primenjeno je preventivno održavanje, uglavnom, po fiksnom resursu (*Hard time*). Postupci održavanja izvode se u prvom, drugom i trećem stepenu održavanja, nakon određenih časova naleta. Kod održavanja nekih aviona primenjuje se održavanje po fiksnom vremenu koje ima određene

Remont strukture i elektroopreme borbenih aviona

Remont predstavlja najsloženiji vid održavanja, kojim se borbenim vazduhoplovima obnavlja rok rada i povećava pouzdanost za vreme novo-propisanog roka rada. Za strukturu i mehaničke sisteme uglavnom se primenjuje klasični remont, koji je uspostavljen na sledećim osnovama: naletu, uslovima eksploatacije, uspostavljenom evidenciji o otkazima, broju avio-

a. koncepcija

- održavanje motora prema stanju,
- preventivne zamene po roku rada,
- delimično kontinualno praćenje stanja

b. organizacija

Tri stepena održavanja u jedinicama, a četvrti se vrši u zavodima

Sl. 5 — Koncepcija i organizacija održavanja aviona MiG-29

organizacijske prednosti u odnosu na održavanje po fiksnom resursu.

U novije vreme otpočelo se sa primenom preventivnog održavanja prema stanju (sa kontrolom parametara stanja — na nekim savremenim mlaznim motorima) i produženjem postojećih rokova rada — kroz nove programe obnove rokova rada na pojedinim avionima.

Tom prilikom uvedeni su posebni kriterijumi pri proveru sistema aviona bitnih za bezbednost leta i za misiju aviona.

na koji služe kao uzorak za uočavanje svih kritičnih mesta i pojava (zamor, habanje, deformacije, pukotine, nedovoljna dimenzionisanost itd.); karakteristikama materijala (sastav i mehaničke osobine) i konstruktivnim karakteristikama pojedinih delova strukture aviona; uslovima ispitivanja i radnim karakteristikama većeg broja vitalnih komponenti sistema i agregata aviona.

Prilog ovom opredeljenju je i saznanje iz oblasti pouzdanosti koje potvrđuje da se otkazi mehaničkih komponentata pokoravaju, uglavnom, zakonima normalne i Vejbulove raspodele, zbog neposrednog habanja u toku rada.

Uspostavljanjem odgovarajuće baze podataka o stanju glavnih veza na avionima u funkciji opterećenja i časova leta, mogu se egzaktno primeniti nedestruktivni metodi kontrole u nerastavljenom ili delimično rastavljenom stanju.

Remont prema stanju elektroopreme, elektronske i optoelektronske opreme podrazumeva opšti pregled stanja električnih veza i spojeva, opravku štampanih ploča i zamenu komponentata koje tokom vremena smanjuju svoje radne osobine, utičući na rad celokupne opreme i njenu pouzdanost. Ovde se podrazumeva planska zamena kondenzatora, otpornika, cevi sa putujućim talasima, kao i kompletnih delova kritičnih za bezbednost leta aviona, odnosno delova koji ne podležu opravci. To opredeljenje zasniva se i na saznanju da se većina otkaza elektro, elektronske i optoelektronske opreme pokorava eksponencijalnom zakonu raspodele, kod koje otkazi ne zavise od vremena, već su slučajnog karaktera.

Održavanje mlaznih motora

Kao polazni elementi moguće primene koncepta održavanja prema stanju razmotriće se komparativno postojeća dijagnostička oprema i primenjeni postupci na motorima RB-199 (na avionu tornado), F-404 (na avionu F/A-18) i RD-33 (na avionu MiG-29).

Glavne karakteristike koncepta održavanja motora prema stanju na zapadu su:

- definisanje veka upotrebe motora prema sumarnom termičkom ciklusu opterećenja, a pojedinih modula ili agregata prema vremenskom roku rada;

- kontinualno praćenje stanja svih komponentata motora, koje utiču na bezbednost leta i misiju vazduhoplova, radi utvrđivanja njihove funkcionalnosti i tehničkog stanja;

- podešavanje i provera rada kada se utvrdi odstupanje parametara van dozvoljenih granica koje su definisane odgovarajućom tehničkom dokumentacijom za održavanje;

- periodična provera parametara rada motora;

- skidanje motora sa aviona samo kada se otkrije greška koja zahteva složeniju intervenciju u radionici, ili kada prođe propisani vek upotrebe modula;

- remont modula;

- ukidanje klasičnog remonta motora.

Iz tabele 1 vidi se da i motor RD-33, sa tehničko-tehnološkog aspekta, u velikoj meri zadovoljava neophodne uslove za uspostavljanje koncepta održavanja prema stanju [11]. Osnovni problem je nedostatak informacija o karakteru i broju dozvoljenih ciklusa termičkog opterećenja u toku veka upotrebe. Umesto njih, proizvođač je u definisanju roka rada uveo sledeća bazna ograničenja:

- dozvoljeni časovni rad u vazduhu Δ_1 ;

- dozvoljeni broj startovanja motora Δ_2 ;

- dozvoljeni časovni rad na režimima maksimal-forsaž Δ_3 ;

- dozvoljeni časovni rad na *specijalnom* režimu Δ_4 ;

- odobren rok rada agregata Δ_5 .

Kao nezamenjiv deo koncepta pokazala se spektralna analiza ulja, koja je dala pouzdane pokazatelje o stanju transmisije i ležajeva motora.

Mogućnosti za optimizaciju održavanja u RV i PVO

Polazeći od opštih karakteristika i kriterijuma za izbor odgovarajuće koncepcije održavanja i optimalno potrebnog održavanja borbenih aviona, i kon-

Komparativna pogodnost za održavanje prema stanju motora F-404, RB-199 i RD-33

Rbr	Pogodnost za održavanje prema stanju	F-404	RB-199	RD-33
1	Ugrađen sistem za integrisano praćenje stanja komponenata motora sa memorijskom registracijom otkaza i odstupanja parametara	+ built-in test + registrator parametara leta	+ built-in test + registrator parametara leta	+ built-in test + registrator parametara leta
2	Magnetni detektori opiljaka	+	+	+
3	Spektralna analiza motorskog ulja	+	+	+
4	Merenje vibracija kućišta motora i ležajeva	+	+	+
5	Otvori za pregled stanja protočnog trakta motora,	13 otvora	13 otvora	13 otvora
6	Registrator vremena rada i sumarnog termičkog ciklusa opterećenja	+	+	registrator ukupnog rada; rada na M+F i na specijalnom režimu; nema registrator termičkog ciklusa opterećenja, ali ima registrator pomeranja ručice gasa u funkciji vremena
7	Višestruka signalizacija i registrovanje otkaza	+	+	+
8	Modularnost konstrukcije	6 modula	16 modula	uslovno 13 modula
9	Vrsta regulacije motora	elektronska (FADEC)*	elektronska (FADEC)	elektro-hidromehanička**
10	Samokontrola dijagnostičkih i regulacionih uređaja	+	+	+

LEGENDA:

Nepodudarnost sa zapadnim motorima
Uslovna podudarnost
Podudarnost sa zapadnim motorima

* FADEC-full authority digital electronic system.

** Kod savremenih dvostrujnih turboblaznih motora (DTMM) primenjuju se složeni programi za upravljanje koji uzimaju u obzir: realne karakteristike elemenata motora; stvarno potrebno povećanje potiska na zadanom režimu leta; ograničenja protoka; uslove za hlađenje elemenata konstrukcije; položaj upravljačkih površina aviona; napadni ugao aviona, itd. Sistem za upravljanje može biti: hidromehanički (npr. motor R-25-300 za avione MiG-21), elektrohromehanički (npr. motor AL-31F za avione Su-27) i digitalni (npr. RB-199 na avionu tornado ili PW1120 na avionu lavi). Kod hidromehaničkog sistema za upravljanje komande

se, od ručice gasa do izvršnih mehanizama, prenose preko mehaničkih poluga, a regulacija se obavlja pomoću mehaničkih elemenata pumpi-regulatora za gorivo. U elektrohromehaničkom sistemu postoji dodatni elektronski blok za upravljanje, koji po određenom zakonu na zadanim režimima formira korektivne električne signale i šalje ih na elektromagnetne ventile za izmenu upravljačkih parametara rada. Kod digitalnog upravljanja postoji elektronski blok za regulaciju, koji prima signale: o položaju ručice gasa, uvodnika vazduha, Mahovom broju, o položaju vektora sile potiska, o položaju upravljačkih površina aviona, i na osnovu njih formira optimalni zakon upravljanja. Sve komande se električnim putem prenose na izvršne mehanizme.

statacije da ni jedna organizacija nije postavljena tako dobro da ne može biti bolja, može se zaključiti da je neophodna stalna dogradnja i osavremenjivanje sistema i koncepta održavanja u RV i PVO.

Avionika savremenih vazduhoplova izgrađena na bazi poluprovodničke tehnologije, za ispravno funkcionisanje zahteva ispitivanje i eventualno podešavanje, što se i radi u sklopu radova predviđenih za II i III stepen održavanja. Ne postoje opravdani razlozi, sa stanovišta troškova održavanja, da se ona i remontuje, pogotovu što jedan veći deo avionike ima frekvenciju otkaza koja se pokorava zakonu eksponencijalne raspodele, a spada u grupu opreme koja bitno ne utiče na bezbednost letenja. Na avioniku, što se inače i radi u svetu, može se većim delom primeniti preventivno održavanje prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti ili korektivno održavanje (ukoliko znatno ne utiče na bezbednost leta).

Analizom svih faktora odlučujućih za pouzdanost i raspoloživost borbenih aviona i cenu remonta, može se zaključiti da se promenom koncepcije održavanja u I, II i III stepenu (kombinacijom POPS i korektivnog), može realizovati znatno jeftiniji remont nego što je sada. Faktički, klasični remont obavljao bi se samo na delovima strukture i integralnim-gorivnim spremnicima, a ostali elementi menjali bi se prema stanju u nižim stepenima održavanja.

Optimizaciju koncepcije i organizacije održavanja moguće je izvršiti uz primenu zakona pouzdanosti, pošto se

kompletno preventivno održavanje zasniva na njima. Da bi se to ostvarilo, neophodno je uspostavljanje kvalitetnog sistema za praćenje pouzdanosti sa ugrađenim ekspertskim algoritmima za odlučivanje o održavanju.

Zaključak

Dosadašnja iskustva u održavanju vazduhoplovne tehnike pokazuju da se obavlja kontinualno usavršavanje koncepta održavanja; da se u održavanju primenjuju kombinovani principi održavanja — za deo sistema i uređaja preventivno održavanje prema časovnom/vremenskom roku rada, a za deo sistema i uređaja (primarno motore, elektroopremu, elektronsku opremu i optoelektronsku opremu) uveden je koncept održavanja prema stanju. Dominantno mesto i ulogu u održavanju vazduhoplovne tehnike dobija nova ispitno-merna i dijagnostička oprema, koja u prvi plan stavlja nedestruktivne metode provere stanja komponenti, veza i spojeva (rentgenske i ultrazvučne metode; neutronske skeneri; penetranti; TV endoskopi; spektralna analiza motornog ulja itd.).

Međutim, za primenu navedenih metoda nužno je izgraditi i utvrditi kriterijume za toleranciju parametara, dozvoljenih oštećenja i sadržaja pojedinih metalnih i nemetalnih elemenata u ispitivanim uzorcima, kao i definisati granice kada se mora intervenirati na zamenu ili opravci dela. Takođe, neophodna je značajna informatička podrška sa bazom podataka o otkazima i postupcima održavanja.

Literatura:

- [1] Arsenić, Ž.: Upravljanje održavanjem mobilnih tehničkih sistema, Naučni skup Efektivnost sistema i logistika, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.
- [2] Barzilović, E. J. i grupa autora: Nadežnost aviacionih sistem, Visšaja škola, Moskva, 1982.
- [3] Barzilović, E. J.: Modeli tehničkog opsluživanja složenih sistem, Visšaja škola, Moskva, 1982.
- [4] Dragović, T., Rašuo, B.: Savremeni koncept vazduhoplovne logistike u svetu, Naučni skup Efektivnost sistema i logistika, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.
- [5] Grupa starešina VTSI RV i PVO: Predlog nove organizacije i koncepta održavanja lovačke avijacije RV i PVO, 1992.
- [6] Minić, S.: Dinamički model preventivnog održavanja prema stanju motornih vozila, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.
- [7] Minić, S., Todorović, J.: Sistemski prilaz izboru koncepcije i modela preventivnog održavanja prema stanju motornih vozila, Vojnotehnički glasnik br. 3, 1993.
- [8] Smirnov, N. N.: Obsluživanje i remont aviacionoj tehnici po sastojanju, Transport, Moskva, 1980.
- [9] Todorović, J.: Održavanje tehničkih sredstava u RV i PVO, Informativno predavanje za komandni sastav, Beograd, 13. april 1995.
- [10] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, Jugoslovensko društvo za motore i vozila, Novi Beograd, 1993.
- [11] Siladić, M., Komljenović, Đ., Milosavljević, D.: Jedan primer uvođenja koncepta održavanja prema stanju turboventilatorskog motora na borbenom avionu, Međunarodni naučno-stručni skup Vazduhoplovstvo '95, Beograd 1995.
- [12] Živaljević, M., Milosavljević, D., Duboka, Č.: Održavanje borbenih aviona u funkciji obezbeđenja potrebne pouzdanosti i operativne gotovosti, Međunarodni naučno-stručni skup Vazduhoplovstvo '95, Beograd 1995.
- [13] Živaljević, M.: Prilog istraživanju sistema za praćenje pouzdanosti lovačko-bombarderske avijacije i njegova optimizacija, Doktorska disertacija, Beograd 1996.