Neki aspekti predviđanja pogodnosti održavanja i popravljivosti sistema, sa osvrtom na način izračunavanja pouzdanosti u slučaju preventivne zamene

U radu se obrađuju faktori koji definišu proceduru predviđanja pogodnosti održavanja (ili popravljivosti) sistema. Date su neke terminološke napomene, navedeni elementi predviđanja i dat je kraći pregled najčešće korišćenih metoda predviđanja pogodnosti održavanja.

Zbog značaja razmatranja pouzdanosti u slučaju preventivne zamene, dat je osvrt na jedan mogući način izračunavanja pouzdanosti primenom koncepta tzv. stabilisanog intenziteta otkaza.

Uvod

Predviđanje pogodnosti održavanja odnosi se na kvantitativno određivanje parametara pogodnosti održavanja određene konstrukcije, radi utvrđivanja da li ta konstrukcija može da zadovolji specificirane zahteve za pogodnost održavanja, kao i da identifikuje probleme iz oblasti pogodnosti održavanja koji zahtevaju promene u konstrukciji.

Predviđanje pogodnosti održavanja procenjuje konstrukciju u pogledu njenog uticaja na održavanje i popravke sistema, vreme zastoja sistema, radove u vezi održavanja, rezervne delove i troškove u vezi održavanja. Osnovni cilj je, međutim, predviđanje vremen-
skih parametara održavanja na osnovu kvalitativnih karakteristika konstrukcije, razmatrajući sva vremena vezana za aktivnosti u toku održavanja: priprema, dijagnoza, zamena, podešavanje, servisiranje, provera i popravka dela koji je otkazao (ukoliko se taj deo ne baca). Isto tako, predviđanje se može vršiti i za razne nivoe održavanja (I, II i III nivo), jer su za raspoloživost sistema, osim vremena zastoja sistema, značajni i časovi ljudskog rada na održavanju, kao i rezervni delovi potrošeni na nižim nivoima održavanja.

Predviđanja u toku korišćenja obično su najtačnija ako su podaci ko-

jima se raspolaže (obično iz tehničkih knjižica) statistički verodostojni. Korisnost predviđanja pogodnosti održavanja u fazi korišćenja je dvostruka: prvo, ovakvo predviđanje obezbeđuje procene za narednu godinu sa vrlo visokim nivoom poverenja, i drugo, poredi operativne rezultate sa predviđanjima iz ranijih faza, što doprinosi dobijanju potrebnih iskustava.

Korisnost predviđanja pogodnosti održavanja u fazi razvoja je očigledna, jer je tada najpogodniji trenutak za ugrađivanje osnovnih parametara pogodnosti održavanja u konstrukciju, kako bi se kasnije izbegle skupe rekonstrukcije, nepoštovanje rokova, pa čak i veliki promašaji. Zajedno sa pouzdanošću, pogodnost održavanja ima direktan uticaj na operativnu raspoloživost i sveukupne troškove kroz čitav vek trajanja sistema. Zbog toga, predviđanje pogodnosti održavanja mora se vršiti u svim fazama veka trajanja sistema, da bi se otkrili svi značajni nedostaci i u najkraćem mogućem vremenu započela korektivna akcija.

Što se tiče konstruktora, predviđanje pogodnosti održavanja ukazuje mu na one oblasti koje zahtevaju dalje poboljšanje, modifikacije, ili promene u konstrukciji. Predviđanje pogodnosti održavanja omogućuje korisniku da na vreme utvrdi da li su predviđeno vreme zastoja sistema, kvalitet i broj ljud-

stva za održavanje, alati i ispitna oprema, adekvatni i u saglasnosti sa potrebama operativnih zahteva sistema.

Terminološke napomene

Da bi se izbegle jezičke nedoumice, korisno je uvesti formalne definicije za termine ocena, procena i predviđanje.

Ocena pogodnosti održavanja predstavlja određivanje tekućeg stanja pogodnosti održavanja sistema, pri čemu su uslovi okoline poznati ili pretpostavljeni. Ocena se može izvršiti u toku faze razvoja na osnovu raspoloživih podataka, posle proizvodnje i u toku korišćenja, ali se u svim ovim slučajevima zasniva na tekućim uslovima i postojećim podacima.

Procena pogodnosti održavanja predstavlja jedno inženjersko rasuđivanje u vezi s pogodnošću održavanja sistema, obično u ranoj fazi razvoja, a zasniva se na iskustvu sa identičnim ili sličnim sistemima, u identičnim ili sličnim uslovima okoline. Nekada se procena vrši i za već konstruisan sistem, a opšta karakteristika procene je nužnost trenutnog rasuđivanja.

Predviđanje pogodnosti održavanja predstavlja procenu ili ocenu pogodnosti održavanja sistema u nekom budućem trenutku vremena. Važno je znati da li je predviđanje izvršeno na osnovu ocene ili na osnovu procene pogodnosti održavanja. Obično se procena vrši kada nema dovoljno sredstava ili vremena, dok se ocena vrši tamo gde ima dovoljno i sredstava i vremena.

Prema tome, kod procene mi kažemo da *mislimo* da je to vrednost pogodnosti održavanja, kod ocene kažemo da je to vrednost pogodnosti održavanja, i kod predviđanja kažemo da će to *biti* vrednost pogodnosti održavanja. Ovo razmatranje koje se odnosi na ocenu, procenu i predviđanje pogodnosti održavanja, može se, isto tako, proširiti i na pouzdanost sistema.

Elementi predviđanja

Mada se razne metode predviđanja pogodnosti održavanja zasnivaju na elementima predviđanja koji se donekle razlikuju, može se reći da su dva osnovna elementa predviđanja:

1) Kombinacija intenziteta otkaza (funkcija korektivnog održavanja) i planiranog održavanja funkcija preventivnog održavanja).

2) Aktivno vreme popravke (funkcija korektivnog i preventivnog održavanja).

Frekvencija korektivnog održavanja meri se preko srednjeg vremena između otkaza, dok se frekvencija preventivnog održavanja meri preko srednjeg vremena između planiranog održavanja. Obe ove mere mogu se izražavati u časovima, broju metaka, kilometrima, itd. Analitičar treba uvek da ima na umu da potreba za preventivnim održavanjem mora da se zasniva na sprečavanju pojave otkaza usled istrošenja. Frekvencija korektivnog i preventivnog održavanja treba da bude izražena u istim jedinicama, jer se na taj način omogućuje jednostavna korelacija pri matematičkim izračunavanjima.

Aktivno vreme popravke, kao funkcija korektivnog i preventivnog održavanja, dobija se iz obrasca:

$$\overline{M} = \frac{\overline{M}_c f_c + \overline{M}_p f_p}{f_c + f_p}$$

gde su:

$\overline{M}$ — srednje aktivno vreme korektivnog i preventivnog održavanja sistema,

f_c — frekvencija korektivnog održavanja sistema,

f_p — frekvencija preventivnog održavanja sistema,

$\overline{M}_c$ — srednje aktivno vreme korektivnog održavanja sistema,

$\overline{M}_p$ — srednje aktivno vreme preventivnog održavanja sistema.

Metode predviđanja pogodnosti održavanja

Postoji više metoda koje se koriste za predviđanje pogodnosti održavanja. One se razlikuju u zavisnosti od postavljenih zahteva za sistem, kao i specifičnih svojstava i sličnosti razmatranog sistema.

Utvrđivanje srednjeg aktivnog vremena popravke zasniva se na kvalitativnim karakteristikama konstrukcije sistema. Vremena održavanja dobijaju se iz raspoloživih podataka za slične sisteme, podataka dobijenih u raznim fazama razvoja, stručnim rasuđivanjima, simulacijom i sintezom, proverom konstrukcije, ekstrapolacijom i metodom tabelarnih matrica.

Prilikom izbora određene metode predviđanja pogodnosti održavanja ne moramo se ograničiti na korišćenje samo jedne metode. Može se koristiti više metoda predviđanja u jednom projektu, s tim što će biti jedna osnovna metoda na kojoj će biti glavni oslonac. Izbor metode imaće uticaj samo na planove za prikupljanje podataka i kontrolu programa.

Postoje sledeće metode predviđanja pogodnosti održavanja:

- metode ekstrapolacije;
- metode sabiranja vremena;
- metode simulacije;
- metode tabelarnih matrica.

Jedno od prvih razmatranja pri izboru metode predviđanja je proučavanje mogućnosti raznih metoda u odnosu na ograničenja koja se postavljaju zbog prirode samog sistema. Na osnovu raspoloživih podataka za dati sistem bira se metoda koja najviše odgovara, pri čemu se uzimaju u obzir uslovi korišćenja, priroda sistema i planirani koncept održavanja.

Osvrti na izračunavanje pouzdanosti u slučaju preventivne zamene

Kod složenih sistema uvek postoji jedan ili više podsistema kod kojih je opravdano vršiti preventivnu zamenu delova koji imaju rastući intenzitet otkaza. Neka se u okviru jednog takvog podsistema nalazi N delova, pri čemu se K delova preventivno zamenjuje svakih T_{p1} časova, a S delova se preventivno zamenjuje svakih T_{p2} časova. Znači, ukupno $N-(K+S)$ delova se ne zamenjuje preventivno, već samo u slučaju otkaza. U toj kategoriji su delovi sa velikom vrednošću srednjeg vremena između otkaza i dugačkim periodom konstantnog intenziteta otkaza sa veoma malo izraženim periodom rastućeg intenziteta otkaza (vidi sl. 1).

Sl. 1 — Grupe delova bez preventivne zamene i sa različitim intervalom preventivne zamene

U takvom slučaju, tzv. stabilisani intenzitet otkaza datog podsistema λ_{stab} dobija se iz izraza:

$$\lambda_{stab} = \sum_{h=1}^{N-(K+S)} \frac{1}{M_h} + \sum_{i=1}^K \frac{1}{M_i (T_{pi})} + \sum_{j=1}^S \frac{1}{M_j (T_{pj})}$$

gde su:

- M_h — srednje vreme između otkaza delova koji se zamenjuju samo u slučaju otkaza;

$M_i(T_{p1})$ — srednje vreme između ot-
kaza delova koji se pre-
ventivno zamenjuju svakih
 T_{p1} časova;

$M_j(T_{p2})$ — srednje vreme između ot-
kaza delova koji se pre-
ventivno zamenjuju svakih
 T_{p2} časova.

Veoma dobra procena pouzdanosti
takvog podsistema dobija se iz jedna-
čine:

$$R(t) = e^{-\lambda_{stab} t}$$

Primer predviđanja popravlljivosti sistema u slučaju korektivnog održavanja

U tabeli data su aktivna vremena
korektivnog održavanja za neki sistem.
Podaci se odnose na I nivo održavanja,
a poređani su u rastućem nizu, zajedno
sa frekvencijama njihovog javljanja n_i
i vrednostima popravlljivosti $M_R(t)$, ko-
ja se dobija iz obrasca:

$$\hat{M}_R(t_i) = \frac{\sum_{j=1}^i n_j}{N+1}$$

gde je:

n_j — broj slučajeva kada je vreme za-
vršetka aktivnosti održavanja t_j ,

N — ukupan broj aktivnosti održava-
nja, tj. zbir svih n_j .

Korišćenjem Kolmogorov-Smirno-
ve metode utvrđeno je da vremena po-
pravke iz tabele pripadaju lognormal-
noj raspodeli. Izračunati su parametri
lognormalne raspodele $\hat{m}$ i $\hat{s}$ i iznose
 $\hat{m} = 0,59$ i $\hat{s} = 0,88$.

Funkcija popravlljivosti sistema u
slučaju korektivnog održavanja sistema
na I nivou održavanja biće:

$$M_R(t) = \int_0^t \frac{1}{0.88 t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - 0.59}{0.88} \right)^2 \right] dt$$

Aktivno vreme korektivnog održavanja
sistema za I nivo održavanja

t_i (časovi)	n_i	$\hat{M}_R(t)$
0,3	1	0,0294
0,4	1	0,0588
0,5	1	0,0882
0,8	4	0,2059
1,0	2	0,2647
1,2	5	0,4118
1,4	3	0,5000
1,5	1	0,5294
2,0	1	0,5588
2,2	1	0,5882
2,7	2	0,6471
3,0	2	0,7059
3,4	1	0,7353
3,5	1	0,7647
4,0	1	0,7941
4,3	1	0,8235
5,5	2	0,8824
7,8	2	0,9412
11,1	1	0,9706

Pošto je poznata raspodela kojoj
pripadaju aktivna vremena korektivnog
održavanja, određivanjem srednje vre-
dnosti te raspodele istovremeno se do-
bija srednje aktivno vreme korektiv-
nog održavanja. Srednja vrednost log-
normalne raspodele dobija se iz izraza:

$$\mu = e^{m + 0,5 s^2}$$

Prema tome, srednje aktivno vre-
me korektivnog održavanja za I nivo o-
državanja biće:

$$\mu_{el} = e^{0,59 + 0,5(0,88)^2} = 2,66 \text{ čas.}$$

Zaključak

Za razliku od predviđanja pouzda-
nosti koje se u jednom dobro organizo-
vanom i vođenom programu razvoja

nekog sistema obavezno vrši, predviđanje pogodnosti održavanja u fazi razvoja je pre izuzetak nego pravilo. U radu je učinjen jedan pokušaj da se ukaže na korisnost predviđanja pogodnosti održavanja u fazi razvoja, sa osnovnim ciljem da se predvide pojedina vremena održavanja — sve to vezano za vrste i nivoe održavanja.

Posle uvodnih napomena data su određena terminološka razjašnjenja koja pomažu da se otklone nedoumice u pogledu korišćenja termina ocena, procena i predviđanje. Zatim su navedeni elementi predviđanja i dat kraći preg-

led najčešće korišćenih metoda predviđanja pogodnosti održavanja.

Dat je jedan osvrt na način izračunavanja pouzdanosti kod složenih sistema, kod kojih se pojedini delovi preventivno zamenjuju u različitim vremenskim periodima. Ovaj pristup se zasniva na uvođenju koncepta tzv. stabilisanog intenziteta otkaza, koji omogućuje izračunavanje pouzdanosti primenom standardnog obrasca.

Na kraju je urađen jedan praktičan primer radi ilustracije prethodno izloženih postavki.

Literatura:

- [1] Omdahl, T. P.: Reliability, Availability, and Maintainability (RAM) Dictionary, QUALITY PRESS, Milwaukee, WI 53203, 1990.
- [2] Vujanović, N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema (drugo dopunjeno izdanje), Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1990.

- [3] : Maintainability Engineering Theory and Practice, AMCS 706—133, Headquarters, US Army Materiel Command, 1976.