Dr Svetomir Minić,
potpukovnik, dipl. inž.
Dr Živan Arsenić,
profesor, dipl. inž.

RAZVOJ MODELA PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA NA BAZI KOMPROMISA KRITERIJUMA GOTOVOSTI I TROŠKOVA

Rezime:

Razvijen je složeni model preventivnog održavanja tehničkih sistema na bazi kompromisa kriterijuma maksimalne gotovosti i minimalnih troškova. Koristeći izlazne operacione karakteristike definisanih modela i postupkom »kompromisnog izbora najpovoljnijeg rešenja« (trade-off), dobijen je optimalni interval postupaka preventivnog održavanja.

Ključne reči: model održavanja, kriterijum optimizacije, kompromisni izbor rešenja, optimalni interval održavanja.

THE DEVELOPMENT OF THE TECHNICAL SYSTEMS PREVENTIVE MAINTENANCE MODEL BASED ON AVAILABILITY AND COST CRITERIONS COMPROMISE

Summary:

The technical systems preventive maintenance somplex model based on maximum availability and cost effectiveness criterions compromise has been developed. The preventive maintenance activities optimal interval is got by application of the defined models output operational characteristics and (trade-off) method.

Key words: maintenance model, optimization criterion, trade-off, maintenance optimal interval.

Uvod

Modeli preventivnog održavanja tehničkih sistema zasnivaju se na pokazateljima pouzdanosti i kriterijumima optimizacije na osnovu kojih se, rešavanjem matematičkog modela, dobija optimalno rešenje za odlučivanje o trenutku kada treba sprovesti postupke preventivnog održavanja kako bi se sprečila ili odložila pojava stanja sistema »u otkazu« [1].

Koristeći rezultate simulacije modela preventivnog održavanja na bazi

kriterijuma maksimalne gotovosti (MAXGOT) i modela na bazi kriterijuma minimalnih troškova (MINTRO) [2], odnosno kombinovanom primenom izlaznih operacionih karakteristika ovih modela i postupkom »kompromisnog izbora najpovoljnijeg rešenja (trade-off) za definisane kriterijume i ograničenja, dobijen je »optimalni« interval preventivnog održavanja tehničkog sistema.

Predložena je i primena FUZZY optimizacije, kao pogodan metod za efikasno rešavanje ovog problema.

Model MAXGOT

Kod modela MAXGOT [2], definišu se stanja tehničkog sistema, i određuje se izraz za gotovost, čijim se rešavanjem dobija optimalni interval preventivnog održavanja koji obezbeđuje maksimalnu gotovost sistema. Ako je srednje vreme preventivnog održavanja (t_2) manje od srednjeg vremena korektivnog održavanja (t_3), tj. $\bar{t}_2 < \bar{t}_3$, i ako funkcija intenziteta otkaza (λ) ima monotono rastući karakter u vremenskoj bazi, tada postoji jedan optimalni interval preventivnog održavanja (t_0), koji obezbeđuje maksimalnu gotovost sistema (G_0) datu konačnom jednačinom, [2]:

$$G_0 = \frac{1}{1 + (\bar{t}_3 - \bar{t}_2) \cdot \lambda(t_0)} \quad (1)$$

Na osnovu algoritma za primenu modela MAXGOT razvijen je potprogram programskog paketa DMPOPS, [2], koji omogućava simulaciju modela primenom računara. Za simulaciju modela MAXGOT neophodno je unapred definisati ulazne podatke koji se odnose na parametre Vejbulove raspodele i srednja vremena održavanja elemenata sistema. Rezultati simulacije dobijaju se u obliku dijagramskog prikaza funkcije gotovosti, čija ekstremna vrednost definiše optimalni interval preventivnog održavanja. U konkretnom primeru simulacije modela MAXGOT (slika 1), za vrednost maksimalne gotovosti sistema $G_0 = 0,6985$ dobijena je izlazna operaciona karakteristika modela — optimalni interval postupaka preventivnog održavanja posmatranih elemenata sistema $t_0 = 1556$ km.

Model MINTRO

Model MINTRO zasniva optimizaciju procesa održavanja na kriterijumu minimalnih troškova održavanja.

U slučaju kada su troškovi korektivnog održavanja (C_k) veći od troškova preventivnog održavanja (C_p) tj. $C_k > C_p$, i kada se radi o sastavnim elementima sistema čiji je intenzitet otkaza (λ) mo-

Sl. 1 — Izlazna operaciona karakteristika modela MAXGOT

notono rastuća funkcija u vremenskoj bazi, postoji jedan optimalni interval preventivnog održavanja (t_{po}), koji daje minimum ukupnih troškova održavanja (C), uz ostvarenje zahtevane pouzdanosti sistema.

Model MINTRO zasniva se na jednačini za tzv. ukupne jedinične troškove održavanja (C_T), [2]:

$$C_T = C_k \cdot \lambda_{ktp} + C_p \cdot \lambda_{ptp} \quad (2)$$

gde je:

λ_{ktp} — intenzitet otkaza u slučaju korektivnog održavanja,

λ_{ptp} — intenzitet preventivnog održavanja.

Optimalni interval preventivnog održavanja (t_{po}), koji minimizira troškove po jedinici vremena, dobija se preko prvog izvoda po t_p :

$$\frac{dC_T}{dt_p} = 0 \quad (3)$$

gde je:

t_p — interval preventivnog održavanja.

Na osnovu razvijenog algoritma za primenu modela MINTRO u okviru programskog paketa izrađen je DMPOPS, potprogram za simulaciju modela. Za simulaciju modela MINTRO potrebno je uneti ulazne podatke za broj posmatranih sistema, ukupno vreme rada, parametre Vejbulove raspodele i troškove preventivnog i korektivnog održavanja, a zatim se automatizovano dobija dijagram funkcije troškova u zavisnosti od vremena rada, za razne vrednosti intervala preventivnog održavanja. Optimalni interval preventivnog održavanja egzaktno je definisan minimumom funkcije troškova.

Interpretacija simulacije modela MINTRO prikazana je na slici 2, gde je za troškove preventivnog održavanja $C_p=3300$ novčanih jedinica, dobijen optimalni interval preventivnog održavanja posmatranih elemenata sistema $t_{po}=1460$ h.

Model preventivnog održavanja na bazi kompromisa kriterijuma gotovosti i troškova

U literaturi, koliko je poznato, nisu dostupni matematički modeli održavanja koji povezuju kriterijume gotovosti i troškova, kao kompromisno rešenje optimizacije, odnosno, razmena koja ide od jednog u korist drugog kriterijuma (trade-off), kojem se teži. Ako bi se želeo istovremeno uzeti u obzir kriterijum gotovosti i kriterijum troškova javio bi se kontradiktoran problem koji je matematički nerešiv, jer se ne može postići maksimalna gotovost uz minimalne troškove održavanja.

Umesto toga, moguće je postići maksimalnu gotovost pri zadatim troškovima održavanja ili minimizirati troškove održavanja pri zadatoj gotovosti. Dakle, ili gotovost ili troškovi moraju se unapred zadati, a samo jedna od tih dveju veličina može se optimizirati.

Drugim rečima, kada se optimizacija vrši prema kriterijumu gotovosti, najveći dozvoljeni troškovi predstavljaju ograničenje, a u obrnutom slučaju, ako su troškovi održavanja definisani kao kriterijum optimizacije, minimalni nivo gotovosti definiše se kao ograničenje.

Problem »kompromisnog izbora najpovoljnijeg rešenja« (trade-off) re-

Sl. 2 — Izlazna operaciona karakteristika modela MINTRO

šen je na hipotetičkom primeru (slika 3), korišćenjem rezultata simulacije modela MAXGOT i MINTRO.

Prema kriterijumu maksimalne gotovosti, u primeru na slici 1, optimalni interval održavanja je $t_o=1556$ km. Međutim, to nije u skladu sa definisanim ograničenjem, tj. najvećim dozvoljenim troškovima (C_{max}), kako je simbolično prikazano na slici 3. Zadatak je da se odredi t_{opt} koji daje najveću gotovost,

s tim da se ne prekorače zadati troškovi održavanja $C_{\max}$. U ovom slučaju »optimalno« rešenje je određeno kompromisom kriterijuma gotovosti i troškova, na način objašnjen na slici 3, tj. optimalni interval preventivnog održavanja iznosi $t_{\text{opt}}=750$ km, a gotovost sistema $G_{\text{opt}}=0,6$.

Sl. 3 — Kompromisni izbor najpovoljnijeg rešenja (trade-off)

Izbor optimalnog rešenja primenom FUZZY optimizacije

Kriterijume i ograničenja u modelu održavanja moguće je predstaviti odgovarajućim fuzzy skupovima [3].

Neka se fuzzy skup G odnosi na kriterijum i neka je postavljeni cilj iskazan težnjom — željom da » x bude znatno veće od b « (slika 4). Takođe, postavimo da u modelu postoji ograničenje tipa » x je znatno manje od a «, koje je okarakterisano fuzzy skupom C . Fuzzy skup D predstavlja presek fuzzy skupova G i C , odnosno skup svih

rešenja posmatranog problema koja istovremeno zadovoljavaju kriterijum i ograničenje. Finalno rešenje x_f bira se iz skupa onih rešenja kojima odgovara najveći stepen pripadnosti skupu D .

Sl. 4 — Funkcije pripadnosti fuzzy skupova G , C i D (FUZZY optimizacija)

Zaključak

Kao rezultat razvijenog modela preventivnog održavanja tehničkih sistema na bazi kriterijuma maksimalne gotovosti i minimalnih troškova dobija se, primenom postupka »kompromisnog izbora najpovoljnijeg rešenja« (trade-off), izlazna operaciona karakteristika modela »optimalni« interval vremena koji predstavlja relevantnu informaciju u procesu donošenja odluke korisnika za pravovremeno preduzimanje postupaka preventivnog održavanja.

Za alternativno rešavanje posmatranog problema moguća je primena FUZZY optimizacije.

Literatura:

- [1] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema — MAINTAINABILITY ENGINEERING, JUMV, Beograd, 1993.
- [2] Minić, S.: Dinamički model preventivnog održavanja prema stanju motornih vozila, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.
- [3] Teodorović, D., Kikuchi, S.: FUZZY skupovi i primene u saobraćaju, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1993.

- [4] Arsenić, Ž., Vasić, B.: Efektivnost tehničkih sistema — rešavanje karakterističnih problema primenom računara, Mašinski fakultet, Beograd, 1991.
- [5] Graham, I., Jones, P. L.: Knowledge, Uncertainty and Decision, Shapman and Hall, New York, 1988.