Dr Svetomir Minić,
pukovnik, dipl. inž.
Odeljenje za naučno-
istraživačku delatnost GŠVJ,
Beograd
Dr Živan Arsenić,
profesor, dipl. inž.
Mašinski fakultet,
Beograd

»TRADE - OFF« MODEL PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA

UDC: 62-7.001.575:519.86

Rezime:

U radu je prikazan načelni model za preventivno održavanje motornih vozila i drugih tehničkih sistema na osnovu »kompromisa« kriterijuma maksimalne gotovosti i minimalnih troškova. Primenom razvijenog programskog paketa i koristeći izlazne rezultate simulacije poznatih matematičkih modela za preventivno održavanje, metodom »kompromisnog izbora najpovoljnijeg rešenja« (»trade off«) može da se odredi optimalna periodičnost preventivnog održavanja posmatranih elemenata motornog vozila, na vremenskom intervalu definisanom ekstremnim vrednostima kriterijumskih funkcija gotovosti i troškova.

Ključne reči: model održavanja, simulacija, interval održavanja, kompromisno rešenje.

THE PREVENTIVE MAINTENANCE TRADE-OFF MODEL

Summary:

The paper presents a general model for preventive maintenance of motor vehicles and other systems based on a »trade-off« between maximum availability and minimum maintenance cost. This model and developed software give optimal intervals for preventive maintenance as a compromise between the extremes of the corresponding criterion functions for elements of motor vehicles and other systems.

Key words: maintenance Model, simulation, maintenance interval, trade-off.

Uvod

Dosadašnja mnogobrojna istraživanja pokazala su i dokazala da se razvijeni modeli preventivnog održavanja tehničkih sistema zasnivaju na pokazateljima pouzdanosti i kriterijumima optimizacije sa stanovišta maksimalne gotovosti ili minimalnih troškova na osnovu kojih se, rešavanjem matematičkog modela, dobija »optimalno« rešenje za odlučivanje o trenutku kada treba sprovesti postupke preventivnog održavanja [1, 2].

Za određivanje optimalnih intervala preventivnog održavanja primenjuju se dva tipa modela:

- modeli na bazi kriterijuma maksimalne gotovosti,
- modeli na bazi kriterijuma minimalnih troškova.

Modeli na bazi kriterijuma maksimalne gotovosti, kakav je npr. model MAXGOT [1], predstavljaju kriterijumsku funkciju čijim se rešavanjem dobija optimalno vreme sprovođenja preventivnog održavanja koje obezbeđuje maksimalnu gotovost tehničkog siste-

ma $G(t)$, dok se sa modelima na bazi troškova, kakav je npr. model MINTRO, optimum određuje kao minimum ukupnih troškova održavanja $C(t)$, svedenih na jedinicu vremena rada, u zavisnosti od vremena rada do pojave otkaza.

Za primenu modela MAXGOT neophodno je poznavati vremena trajanja postupaka korektivnog i preventivnog održavanja i funkciju pouzdanosti posmatranog elementa, dok je za primenu modela MINTRO, pored funkcije pouzdanosti, nužno poznavati i troškove posmatranih postupaka korektivnog i preventivnog održavanja.

Kriterijum gotovosti i kriterijum troškova ne mogu se, međutim, istovremeno uzeti u obzir, 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. Drugim rečima, kada se optimizacija vrši prema kriterijumu gotovosti, najveći dozvoljeni troškovi predstavljaju ograničenja, a u obrnutom slučaju, ako su troškovi održavanja definisani kao kriterijum optimizacije, minimalni nivo gotovosti definiše se kao ograničenje [1, 5]. To znači da se može govoriti o dve vrste »optimuma«: rešenje koje pruža najveću gotovost posmatranog sistema ili rešenje koje daje najmanje troškove održavanja.

Ova činjenica predstavlja osnovu za iznalaženje modela koji će objединiti ova dva suprotna kriterijuma. Autori ovog rada su pokušali da reše ovaj veoma delikatni zadatak u prethodnim radovima [5, 7]. Nadovezujući se na u njima objašnjene postavke, u ovom radu je prikazan jedan programski paket koji omogućava »kompromisni izbor najpovoljnijeg rešenja« (»trade-off«), Programski paket je proveren na više elemenata vozila, koristeći realne podatke dobijene praćenjem vozila u eksploataciji.

Programski paket

Programski paket koji omogućava kompromis optimalnih vremena preventivnog održavanja, dobijenih modelom preventivnog održavanja na osnovu kriterijuma maksimalne gotovosti (MAXGOT) i modelom na osnovu kriterijuma minimalnih troškova (MINTRO) nazvan je »KOREPOPS«. Algoritam ovog programa prikazan je na slici 1.

Kao što se iz prikazanog algoritma vidi, za početak rada sa ovim programskim paketom neophodno je da postoji baza podataka o radu (t_r — vreme rada) i održavanju (t_o — vreme održavanja) posmatranog elementa. Zatim se za ove ulazne podatke obavlja izbor odgovarajućih raspodela posmatranih vremena, korišćenjem potprograma »RSM« [3], koji kao izlazne informacije daje funkcije pouzdanosti ($R(t_r)$) i pogodnosti održavanja ($F(t_o)$). Definisane raspodele i odnosi troškova preventivnog i korektivnog održavanja predstavljaju ulazne parametre za određivanje vremena preventivnog održavanja (T_p) posmatranog elementa pomoću modela »MINTRO« i »MAXGOT«.

Koristeći dobijene podatke za vremena preventivnog održavanja, programski paket dalje obezbeđuje izbor »optimalnog« intervala preventivnog održavanja, određivanjem funkcionalne zavisnosti troškova ($C_u(t_p)$) od vremena preventivnog održavanja (t_p). Za iznalaženje ove zavisnosti korišćena je već do sada, za ovakve i slične potrebe, proverena metoda matematičkog modeliranja, koja je delimično prikazana u algoritmu [6].

Primer primene programa

Za proveru razvijenog programa korišćeni su podaci iz realne eksploatacije izabranih vozila u jednom voznom parku, dobijeni pomoću potpro-

grama ROV 5.0, koji je razvijen u okviru posebno projektovanog informacionog sistema [3, 8]. Izabrana su četiri različita i karakteristična elemen-

— prema modelu »MAXGOT«

$$C_u(t_p) = \frac{0,038}{\ln(0,75 \cdot 10^{-3} \cdot t_p)} \quad (2)$$

Sl. 1.

ta vozila i pomoću paketa »KORE-POPS« pristupilo se određivanju optimuma po obe kriterijumske funkcije, a zatim i iznalaženju traženih »kompromisnih najpovoljnijih rešenja« (»TRADE-OFF«).

Za izabrane elemente tako su dobijene sledeće funkcije:

a) Element »A«

— prema modelu »MINTRO«

$$C_u(t_p) = \frac{0,046}{\ln(1,01 \cdot 10^{-3} \cdot t_p)} \quad (1)$$

b) Element »B«

— prema modelu »MINTRO«

$$C_u(t_p) = \frac{0,052}{\ln(1,1 \cdot 10^{-3} \cdot t_p)} \quad (3)$$

— prema modelu »MAXGOT«

$$C_u(t_p) = \frac{0,044}{\ln(0,77 \cdot 10^{-3} \cdot t_p)} \quad (4)$$

c) Element »C«

— prema modelu »MINTRO«

$$C_u(t_p) = \frac{0,0515}{\ln(1,1 \cdot 10^{-3} \cdot t_p)} \quad (5)$$

— prema modelu »MAXGOT«

$$C_u(t_p) = \frac{0,0436}{\ln(0,756 \cdot 10^{-3} \cdot t_p)} \quad (6)$$

d) Element »D«

— prema modelu »MINTRO«

$$C_u(t_p) = \frac{0,028}{\ln(0,605 \cdot 10^{-3} \cdot t_p)} \quad (7)$$

— prema modelu »MAXGOT«

$$C_u(t_p) = \frac{0,0155}{\ln(0,279 \cdot 10^{-3} \cdot t_p)} \quad (8)$$

Ilustracije radi, na slikama 2 do 5 prikazane su dijagramske interpretacije

Sl. 2.

Sl. 3.

cije zavisnosti ukupnih troškova održavanja od vremena preventivne zamene za sva četiri posmatrana elementa.

Sl. 4.

Sl. 5.

Analizirajući rezultate prikazane na ovim slikama može da se konstatuje da ovaj programski paket, odnosno primenjeni postupak matematičkog modeliranja, obezbeđuje adekvatnu simulaciju zavisnosti $C_u(t_p) = f(t_p)$. Time se ostvaruje dobra osnova za usvajanje »optimalnog« intervala preventivnog održavanja. U navedenim primerima »kompromisno najbolja rešenja« za interval preventivnog održavanja su

približno $t_{opt}=3200$ km (slika 2), $t_{opt}=3300$ km (slika 3), $t_{opt}=3400$ km (slika 4) i $t_{opt}=6500$ km (slika 5).

Zaključak

U radu je pokazano da razvijeni program omogućava relativno lako iznalaženje »kompromisnog najpovoljnijeg rešenja« između optimalnih vremena preventivnog održavanja dobijenih na osnovu kriterijuma maksimalne gotovosti i minimalnih troškova. Ovakvo dobijeno »najpovoljnije rešenje« je

samo približno, pošto se zasniva na procenama najpovoljnijih vrednosti unutar odgovarajućeg intervala. Da bi dobijeni rezultati predstavljali relevantnu informaciju za donošenje odluke korisnika za pravovremeno i efikasno preduzimanje postupaka preventivnog održavanja motornih vozila potrebno je da se razvijeni programski paket usavrši i dopuni, te da se potvrdi u stvarnom procesu rada i održavanja motornih vozila ili drugih prikladnih tehničkih sistema. To je zadatak na čijem se rešavanju upravo radi.

Literatura:

- [1] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema — Maintainability Engineering, JUMV, Beograd, 1993.
- [2] Gertsbakh, I. B.: Models of Preventive Maintenance, North-Holland Publishing Company, Amsterdam-New York-Oxford, 1977.
- [3] Arsenić, Ž., Vasić, B.: Efektivnost tehničkih sistema — rešavanje karakterističnih problema primenom računara, Mašinski fakultet, Beograd, 1991.
- [4] Minić, S.: Dinamički model preventivnog održavanja prema stanju motornih vozila, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.
- [5] Minić, S., Arsenić, Ž.: Razvoj modela preventivnog održavanja tehničkih sistema na bazi kompromisa kriterijuma gotovosti i troškova, XXII jugoslovenski simpozijum o operacionim istraživanjima, Donji Milanovac, 1995.
- [6] Arsenić, Ž.: Istraživanja mogućnosti predviđanja funkcionalnih karakteristika frikcionih materijala za kočnice motornih vozila, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1986.
- [7] Minić, S., Arsenić, Ž., Todorović, J.: »Trade-off« model preventivnog održavanja tehničkih sistema, XXIII jugoslovenski simpozijum za operaciona istraživanja, Zlatibor, 1996.
- [8] Arsenić, Ž. i dr.: Informacioni sistemi u održavanju vozila — Monografija, JUMV, Beograd, 1994.