Dr Svetomir Minić,
pukovnik, dipl. inž.
Odeljenje za naučnoistraživačku delatnost GŠ VJ,
Beograd

Dr Živan Arsenić,
profesor, dipl. inž.

Dr Jovan Todorović,
profesor, dipl. inž.
Mašinski fakultet,
Beograd

TRADE-OFF MODEL PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA

UDC: 62-7.001.573:519.872

Rezime:

Razvijen je složeni model preventivnog održavanja tehničkih sistema na bazi »kompromisa« kriterijuma maksimalne gotovosti i minimalnih troškova. Za različite odnose troškova preventivnog i korektivnog održavanja dobijeni su rezultati simuliranja modela. Postupkom »kompromisnog izbora najpovoljnijeg rešenja« (»trade-off«) određen je »optimalni« interval postupaka preventivnog održavanja.

Ključne reči: model održavanja, simulacija, interval održavanja, kompromisni izbor rešenja.

THE TECHNICAL SYSTEMS PREVENTIVE MAINTENANCE TRADE-OFF MODEL

Summary:

A complex technical system preventive maintenance model based on a »trade-off« between maximum availability and cost-effectiveness criteria was developed. The model simulation results are obtained for different relations of preventive and corrective maintenance costs. The optimal interval of preventive maintenance activities is obtained by the »trade-off« analysis.

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

Uvod

Modeli preventivnog održavanja tehničkih sistema zasnivaju se 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].

Koristeći posebno razvijen programski paket [3, 4] za simulaciju modela preventivnog održavanja na osnovu kriterijuma maksimalne gotovosti (MAXGOT) i modela na osnovu krite-

rijuma minimalnih troškova (MIN-TRO), [1] dobijeni su, za ulazne podatke iz realnog sistema održavanja i različite odnose troškova preventivnog i korektivnog održavanja (C_p/C_k), rezultati simulacije definisanih matematičkih modela u grafičkom i analitičkom obliku.

Postupkom »kompromisnog izbora najpovoljnijeg rešenja« (»trade-off«), [1, 5], određen je »optimalni« interval postupaka preventivnog održavanja posmatranih elemenata sistema, na vremenskom intervalu definisanom ekstremnim vrednostima kriterijumskih funkcija gotovosti i troškova.

Model MAXGOT

Modelom MAXGOT [1] definiše se izraz za gotovost, čijim se rešavanjem dobija optimalni interval preventivnog održavanja koji obezbeđuje maksimalnu gotovost tehničkog sistema.

Matematički model MAXGOT ima oblik [1]:

$$G(t) = \frac{t_r}{t_r + t_o} = \frac{t_r}{t_r + t_p + t_k} = \frac{t_r}{t_r + t_p + \frac{F(t)}{R(t)} \cdot t_p} \quad (1)$$

gde je:

- $G(t)$ — gotovost,
- t — interval preventivnog održavanja,
- t_r — vreme »u radu«,
- t_o — vreme »u otkazu«,
- t_p — vreme preventivnog održavanja,
- t_k — vreme korektivnog održavanja,
- $F(t)$ — funkcija nepouzdanosti,
- $R(t)$ — funkcija pouzdanosti.

Sl. 1 — Rezultati simulacije modela MAXGOT

Dakle, za rešavanje modela MAXGOT neophodno je poznavati vreme preventivnog i korektivnog održavanja i funkciju nepouzdanosti posmatranog elementa sistema.

Rezultati simulacije modela MAXGOT dobijaju se u obliku dijagramskog prikaza funkcije gotovosti, čija ekstremna vrednost definiše optimalni interval preventivnog održavanja. U konkretnom primeru simulacije (slika 1), dobijen je grafik funkcije gotovosti.

Model MINTRO

Model MINTRO (model Vajsbauma) [1, 5] zasniva optimizaciju procesa održavanja na kriterijumu minimalnih troškova održavanja.

Matematički model MINTRO ima oblik [1]:

$$C(t) = \frac{C_k - (C_k - C_p) \cdot R(t)}{\int_0^t R(t) dt} \quad (2)$$

gde je:

- $C(t)$ — ukupni troškovi održavanja,
- C_p — troškovi preventivnog održavanja,
- C_k — troškovi korektivnog održavanja,
- $R(t)$ — zakon pouzdanosti posmatranog elementa.

Modelom MINTRO određuju se ukupni troškovi održavanja $C(t)$ svedeni

Sl. 2 — Rezultati simulacije modela MINTRO

na jedinicu rada u zavisnosti od vremena rada do pojave otkaza. Za rešavanje modela neophodno je poznavati troškove korektivnog i preventivnog održavanja i funkciju pouzdanosti posmatranog elementa. Optimalni interval preventivnog održavanja egzaktno je definisan minimumom funkcije troškova.

Kao rezultat simulacije modela MINTRO dobijeni su dijagrami funkcije troškova u zavisnosti od vremena rada sistema, za razne vrednosti odnosa troškova preventivnog i korektivnog održavanja (C_p/C_k), (slika 2).

Trade-off model održavanja

U literaturi, koliko je poznato, nisu dostupni matematički modeli 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. Postupak optimizacije zahteva da se prethodno precizno definišu kriterijumi prema kojima treba odabrati »najbolje« rešenje, odnosno »optimalno« rešenje za interval preventivnog održavanja, kao i bitna ograničenja o kojima treba voditi računa.

Prema [1] »optimalno« je ono rešenje koje pruža najveću gotovost posmatranog tehničkog sistema i »optimalno« je ono rešenje koje daje najmanje troškove 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, mini-

malni nivo gotovosti definiše se kao ograničenje [1, 5].

Radi rešavanja problema »kompromisnog izbora najpovoljnijeg rešenja« (»trade-off«), neophodno je rezultate simulacije modela MAXGOT (slika 1) i MINTRO (slika 2), sistematizovati kako je to prikazano na slici 3.

Sl. 3 — »Trade-off« model — »kompromisni izbor najpovoljnijeg rešenja za interval preventivnog održavanja«

Koristeći sistematizovane podatke (slika 3), a radi mogućnosti izbora »optimalnog« intervala preventivnog održavanja, neophodno je odrediti funkcionalne zavisnosti troškova ($C_u(t_p)$) od vremena preventivnog održavanja (t_p). Za iznalaženje ove zavisnosti korišćena je već dosada, za ovakve i slične potrebe, proverena metoda matematičkog modeliranja [6]. Dobijeni su sledeći modeli:

a) prema rezultatima dobijenim pomoću modela MINTRO:

$$C_u(t_p) = \frac{0,048}{\ln(1,02 \cdot 10^{-3} \cdot t_p)} \quad (3)$$

b) prema rezultatima dobijenim prema modelu MAXGOT:

$$C_u(t_p) = \frac{0,038}{\ln(0,75 \cdot 10^{-3} \cdot t_p)} \quad (4)$$

Na slici 4 dati su dijagramski prikazi zavisnosti $C_u(t_p) = f(t_p)$ dobijeni pomoću modela MAXGOT i MINTRO i

pomoću izraza (3) i (4), kao i intervali graničnih vrednosti »optimalnog« vremena preventivnog održavanja prema kriterijumu maksimalne gotovosti — donja linija i prema kriterijumu maksimalnih troškova — gornja linija.

Sl. 4 — Izbor »optimalnog« intervala preventivnog održavanja

Analizirajući rezultate prikazane na slici 4 može se konstatovati da primenjeni postupak matematičkog modeliranja obezbeđuje adekvatnu simulaciju zavisnosti $C_u(t_p) = f(t_p)$, čime se ostvaruje dobra osnova za usvajanje »optimalnog« intervala preventivnog održavanja. Za navedeni primer simulacije usvaja se »optimalni« interval preventivnog održavanja $t_{opt} = 3200$ km.

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.

Zaključak

Kao rezultat razvijenog složenog modela preventivnog održavanja na osnovu kriterijuma maksimalne gotovosti i minimalnih troškova, dobija se, primenom tehnike simulacije i »kompromisnog izbora najpovoljnijeg rešenja« (»trade-off«) »optimalni« interval preventivnog održavanja, koji predstavlja relevantnu informaciju prilikom donošenja odluke korisnika za pravovremeno i efikasno preduzimanje postupaka preventivnog održavanja tehničkih sistema. Međutim, to je samo jedan novi pokušaj u načinu rešavanja problema, što, svakako, ukazuje na konstataciju da je u toku daljih istraživanja neophodno:

a) potvrditi, tj. proveriti opravdanost ovakvog načina usvajanja »optimalnog« vremena preventivnog održavanja na većem broju elemenata istih ili sličnih tehničkih sistema,

b) u slučaju pozitivnih rezultata iz zadataka navedenih u tački a), učiniti pokušaj iznalaženja sledećih metoda koje bi obezbedile iznalaženje, a ne usvajanje »optimalnog« vremena preventivnog održavanja,

c) izvršiti verifikaciju ostvarenih rezultata iz tačke b) u stvarnom procesu rada i održavanja nekog tehničkog sistema.

- [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.