Dr Svetomir Minić,
pukovnik, dipl. inž.
Generalštab VJ,
Beograd
Profesor dr Živan Arsenić,
dipl. inž.
Mašinski fakultet,
Beograd

PRIMENA „DELAY TIME“ MODELA PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA

UDC: 62-7.001.573:681.3.06

Rezime:

Osnovna postavka „delay time“ modela zasniva se na ideji „odlaganja“ postupka održavanja u zavisnosti od konstatovanog stanja tehničkog sistema, tj. od procenjenog „vremena odlaganja otkaza“ („delay time“). Izlazna karakteristika modela je optimalni interval „pregleda stanja“ tehničkog sistema. Imajući to u vidu u radu je, korišćenjem programskog paketa „MO_DE_TI“, analizirana mogućnost primenljivosti osnovnog „delay time“ modela za dobijanje optimalnog intervala „pregleda stanja“ sistema, uzimajući u obzir optimalne vrednosti vremena zastoja sistema i verovatnoće pojave „funkcionalnog otkaza“ sistema.

Ključne reči: model održavanja, „delay time“, pregled stanja, optimalni interval, simulacija.

THE APPLICATION OF DELAY-TIME MODEL FOR TECHNICAL SYSTEMS PREVENTIVE MAINTENANCE

Summary:

The „delay time“ preventive maintenance model which is based on the condition of a technical system stated during a scheduled checking, i.e., on so estimated „delay time“ to failure, is presented. In this paper, the optimal interval for „condition checking“ of technical systems is obtained by a simulation technique using the original „MO_DE_TI“ software.

Key words: maintenance model, „delay-time“, condition checking, optimal interval, simulation.

Uvod

Suština „delay time“ modela [1, 2, 3, 4] jeste ideja „odlaganja“ postupaka održavanja u zavisnosti od konstatovanog stanja tehničkog sistema, odnosno od tako procenjenog karakterističnog parametra ovog modela – „vremena odlaganja otkaza“ („delay time“). Kao i u slučaju drugih koncepcija preventivnog održavanja prema stanju, „pregledi stanja“ po ovoj koncepciji mogu biti ručni ili automatski, a u vremenskom smislu mogu se

sprovoditi „diskretno“ („on-condition“), tj. u određenim trenucima ili kao „kontinualno praćenje stanja“ („condition monitoring“) elemenata sistema. Međutim, treba istaći da se u svim ovim slučajevima „pregled stanja“ posmatra kao postupak kojim se ne sprečava pojava otkaza, već kao postupak koji ukazuje kada može doći do pojave „funkcionalnog otkaza“ posle kojeg sistem ne može da izvršava svoju funkciju.

„Vreme odlaganja otkaza“ u modelu „delay time“ (h) definiše se kao vreme

koje protekne od trenutka kada je otkaz prvi put mogao biti otkriven do trenutka kada otklanjanje otkaza više nije moguće odlagati zbog neprihvatljivih posledica. Pri tome se podrazumeva da se preduzimanje postupaka održavanja, tj. otklanjanje otkaza, može sprovesti u bilo kom trenutku u periodu vremena h . U operativnom smislu ovaj model je zasnovan na funkciji gustine verovatnoće vremena odlaganja otkaza (h), tj. na funkciji $f(h)$, koja omogućava uspostavljanje veze između intervala pregleda stanja (T) i posledičnih promenljivih – očekivanog vremena zastoja i očekivanih troškova radne snage po jedinici vremena.

Pri sprovođenju „pregleda stanja“ sistema mogu se postaviti sledeća pitanja:

– koliko vremena ranije je otkaz mogao biti prvi put otkriven, bilo pregledom stanja, bilo od rukovaoca sistema (How Long Ago = HLA)?

– ako postupci održavanja, tj. popravka nije sprovedena, koliko se još može odlagati (How Much Longer = HML)?

Konstatuje se da je vreme odlaganja otkaza (h):

$$h = HML + HLA$$

Na taj način, posle dovoljnog broja pregleda, odnosno dovoljnog broja otkaza, može se dobiti prethodna raspodela $f(h)$. Pri tome se pretpostavlja da su otkazi međusobno nezavisni. Ukoliko se ustanovi da postoji međusobna zavisnost između otkaza koji karakterišu rad posmatranog sistema, neophodno je modifikovati osnovni model shodno prirodi ove međuzavisnosti. Međutim, u primerima koji se navode u literaturi [2] za ovaj model uvek je prihvaćena pretpostavka nezavisnosti otkaza.

Teorijske postavke „delay time“ modela

Radi primene „delay time“ modela usvojene su sledeće pretpostavke:

(a) *Pregled stanja se preduzima svakih T jedinica vremena, košta I novčanih jedinica i zahteva d jedinica vremena za njegovo sprovođenje, gde je $d \ll T$.*

(b) *Pregledi stanja su idealni i svaki prisutni otkaz sistema biće otkriven.*

(c) *Otkazi uočeni pri pregledu stanja biće otklonjeni u vremenskom periodu predviđenom za pregled stanja.*

(d) *Početni trenutak za koji se može usvojiti da je trenutak prve pojave otkaza elementa sistema ravnomerno je raspoređen tokom vremena od poslednjeg „pregleda stanja“ i nezavisan je od h . Otkazi se javljaju po stopi k po jedinici vremena.*

(e) *Poznata je funkcija gustine verovatnoće vremena odlaganja otkaza $f(h)$.*

U vezi sa tim treba da se naglasi da pretpostavka (c) zahteva da sve popravke koje slede posle „pregleda stanja“ mogu da se završe u fiksnom periodu d , nezavisno od broja popravki. To je realna pretpostavka ukoliko se raspolaze dovoljnom radnom snagom da se popravke izvode simultano. Pretpostavka (d) omogućava procenu očekivanog broja pojava otkaza u periodu T , tj. kT . Ovom pretpostavkom zanemaruju se zastoji izazvani „funktionalnim otkazima“ sistema tokom kojih se ne pojavljuju drugi otkazi, jer sistem ne radi. Međutim, ako je ovo vreme zastoja kratko u poređenju sa vremenom T , tada će i greška biti mala.

Pretpostavimo da otkaz koji se javlja u periodu $(0, T)$ ima vreme odlaganja otkaza u intervalu $(h, h + dh)$ i verovatnoću pojave ovog događaja $f(h)dh$. Ovaj otkaz će se pojaviti kao „funktionalni“ u periodu $(0, T - h)$ (slika 1), a u ostalim

„slučajevima biće uočen pri redovnom „pregledu stanja“. Verovatnoća pojave otkaza pre vremena (T-h) je (T-h/T). Dakle, verovatnoća b(T) da će se otkaz

Sl. 1 – „Delay time“ proces održavanja:
T – interval pregleda stanja, h – vreme odlaganja otkaza (delay time)

pojaviti kao „funktionalni“ i da će imati vreme odlaganja otkaza u intervalu (h, h + dh) je:

$$b(T) = \frac{T - h}{T} \cdot f(h) \cdot dh.$$

Sumirajući sve moguće vrednosti h, dobijamo da je verovatnoća da se otkaz pojavi kao „funktionalni otkaz“ b(T):

$$b(T) = \int_{k=0}^T \left(\frac{T - h}{T} \right) \cdot f(h) \cdot dh \quad (1)$$

Ukoliko je prosečno vreme zastoja sistema potrebno za otklanjanje „funktionalnog otkaza“ d_b, tada je očekivano vreme zastoja po jedinici vremena rada pri primeni redovnih „pregleda stanja“ svakih T jedinica vremena, obeleženo sa D(T);

$$D(T) = \frac{1}{(T + d)} [k \cdot T \cdot d_b \cdot b(T) + d] \quad (2)$$

gde je k – „stopa nastanka“ – („arrival rate“) otkaza u jedinici vremena.

Ako su prosečni troškovi popravke funkcionalnog otkaza (C_b) i prosečni tro-

škovi popravke otkaza otkrivenog pri pregledu stanja (C_i), tada će očekivani troškovi održavanja sistema po jedinici vremena za „delay time“ model preventivnog održavanja putem „pregleda stanja“ sa intervalom pregleda stanja (T) biti:

$$C(T) = \frac{1}{(T + d)} \{k \cdot T \cdot [C_b \cdot b(T) + C_i \cdot (1 - b(T))] + I\} \quad (3)$$

Jednačine (1), (2) i (3) predstavljaju osnovni „delay time“ model održavanja koji se može modifikovati prema potrebama konkretnog slučaja.

Opis programskog paketa za određivanje optimalnog intervala „pregleda stanja“ „MO_DE_TI“

Koristeći osnovne teorijske postavke razvijen je originalni programski paket „MO_DE_TI“ za određivanje optimalnog intervala „pregleda stanja“ tehničkog sistema kako je to algoritamski prikazano na slici 2.

Kao što se vidi sa slike, određivanje optimalnog intervala „pregleda stanja“ tehničkog sistema primenom programskog paketa sprovodi se kroz nekoliko faza, i to:

faza 1: definisanje ulaznih podataka (vreme odlaganja otkaza (h), stopa nastanka otkaza (k), prosečno vreme zastoja sistema (d_b), vreme pregleda stanja (d), prosečni troškovi popravke „funktionalnih otkaza“ C_b, prosečni troškovi popravke otkaza otkriveni prilikom pregleda stanja C_i, itd.);

faza 2: određivanje funkcije, raspodele vremena odlaganja otkaza f(h);

faza 3: određivanje verovatnoće da će se otkaz pojaviti kao „funktionalni otkaz“ $b(t)$;

Sl. 2 – Algoritam programskog paketa „MO_DE_TI“

faza 4: određivanje očekivanog vremena zastoja sistema potrebnog za otklanjanje „funktionalnog otkaza“ $D(t)$;

faza 5: određivanje očekivanih troškova;

faza 6: definisanje optimalnog intervala „pregleda stanja“.

Određivanje optimalnog intervala „pregleda stanja“

Praktična primena programskog paketa „MO_DE_TI“ obavljena je na tri uzorka, a kao izlazni rezultati dobijene su vrednosti optimalnog intervala „pregleda stanja“. Pri tome su, pre svega, za svaki od posmatranih uzoraka definisani ulazni podaci onako kako je to opisano

u prethodnoj tački. Na osnovu podataka unetih u računar programski paket je simulacijom modela dao sledeće izlazne karakteristike:

– raspodela vremena odlaganja otkaza $f(h)$ – izrazi (4), (5) i (6), slika 3:

Uzorak A:

$$f(h) = 0,04 \cdot e^{-0,4 \cdot t} \tag{4}$$

Uzorak B:

$$f(h) = 0,0455 \cdot e^{-0,455 \cdot t} \tag{5}$$

Uzorak C:

$$f(h) = 0,051 \cdot e^{-0,51 \cdot t} \tag{6}$$

– verovatnoća „funktionalnog otkaza“ $b(t)$ – slika 4,

– vreme zastoja sistema radi otklanjanja „funktionalnog otkaza“ $D(t)$ – slika 5,

Slika 3

Slika 4

Slika 5

Slika 6

– troškovi za otklanjanje „funkcionalnog otkaza“ $C(t)$ – slika 6

Simulacijom su dobijene sledeće vrednosti:

za Uzorak A: $T_{oA} = 25$ časova

za Uzorak B: $T_{oB} = 23$ časa

za Uzorak C: $T_{oC} = 20$ časova

Zaključak

Može se zaključiti da je primenom programskog paketa za određivanje op-

timalnog intervala „pregleda stanja“ „MO_DE_TI“ moguće uspešno definisati optimalni interval „pregleda stanja“ sistema (T_o) kao parametra za pravovremeno sprovođenje postupka preventivnog održavanja tehničkih sistema prema stanju. Kako je za primenu ovog modela neophodno prihvatiti određeni broj pretpostavki koje u principu mogu da predstavljaju ograničenja u smislu verodostojnosti izlaznih karakteristika – optimalnog intervala „pregleda stanja“, nameće se potreba da u budućem radu treba:

– analizirati mogućnosti korigovanja modela radi uključivanja navedenih pretpostavki,

– izvršiti uporednu analizu ovog i korigovanog ili korigovanih modela međusobno u odnosu na dobijene vrednosti optimalnog intervala „pregleda stanja“ na više različitih uzoraka i odabrati „najbolji“ oblik modela,

– analizirati mogućnosti praktične primene odabranog modela u stvarnim uslovima sprovođenja postupka preventivnog održavanja.

Literatura:

- [1] Minić, S., Arsenić, Ž.: Modeli održavanja tehničkih sistema, monografija, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1998.
- [2] Crister, A.H., Wang W.M.: Delay Time Models of Industrial Inspection Maintenance Problems, J. Operational Research Society, Vol. 35, Great Britain, 1984.
- [3] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, Jugoslovensko društvo za motore i vozila, Beograd, 1993.
- [4] Minić, S., Todorović J.: „Delay-time“ model preventivnog održavanja tehničkih sistema, Vojnotehnički glasnik br. 1., Beograd, 1996.