

OPTIMIZACIJA NEISKORIŠĆENOG RESURSA DELOVA MOTORNIH VOZILA PRI NJIHOVOJ ZAMENI

OPTIMIZATION OF UNUSED VEHICLE PARTS RESOURCES AT THEIR REPLACEMENT

Vojislav Krstić

Saobraćajni fakultet u Beogradu, Srbija

Ivan Krstić

Fakultet tehničkih nauka u K.Mitrovici

Božidar Krstić, Vukić Lazić

Fakultet inženjerskih nauka u
Kragujevcu, Srbija

REZIME

Osnovni cilj primene tehnologija preventivnih održavanja vozila je eliminisati ili smanjiti na najmanju moguću meru mogućnost pojave otkaza tokom njegovog korišćenja.

Od pravovremenosti sprovođenja ovih postupaka, u velikoj meri zavisi pouzdanost, a samim tim i vek trajanja, gotovost, bezbednost korišćenja, ekonomičnost, kao i ukupna efektivnost vozila. To je osnovni razlog što se problematici određivanja trenutka sprovođenja postupaka preventivnih održavanja poklanja posebna pažnja.

U radu je pažnja posvećena održavanju optimalnog vremena preventivnih zamena delova vozila uz obezbeđenje minimalnih troškova i maksimalno moguće pouzdanosti.

Matematički model određivanja optimalnog vremena, posle koga je neophodno sprovesti preventivne zamene delove vozila, sa ciljem postizanja minimalnih troškova i maksimalno moguće pouzdanosti, a samim tim i bezbednosti korišćenja vozila, primenjen je na konkretnu grupu vozila, čije je ponašanje, sa aspekta pojave neispravnosti, praćeno u realnim uslovima eksploatacije.

Ključne reči: Optimizacija intervala neiskorišćenog resursa, motornih vozila, zamena delova

SUMMARY

Basic target for application of preventive vehicle maintenance technology is to eliminate or reduce the defects at its lowest level during the exploitation period. Procedures of the preventive vehicle maintenance technologies are carried out on the basis of maintenance plan including the presented moments of their performing. To a great extent the reliability and also life, readiness, economy as well as the whole vehicle efficiency depend on these timely procedures performing. It is basic reason why the problems regarding determination of moments for carrying out the preventive maintenance are specially paid attention. Mathematical model for optimal time determination, after which performing of preventive vehicle parts replacement is necessary, with aim to reach minimal costs and maximally possible reliability, as well as safety of the vehicle use, has been applied on a concrete vehicle group, which behavior was studied in real exploitation condition from the aspect of defects appearing.

Key words: optimization of unused vehicle parts resources

1. UVOD

Određivanje optimalne periodičnosti profilaktičkog remonta nije svrshodno vršiti bez uzimanja u obzir troškova neiskorišćenog resursa delova koji se zamenjuju.

Ekonomski je opravdano izvoditi planirane periodične zamene jedino kada troškovi izvođenja periodične zamene nisu veći od troškova neplaniranih zamena, koje se izvode pošto deo otkaze. Ovo znači da sprovođenje planiranih zamena je opravdano samo ako gubitci neiskorišćenog resursa nisu veći od gubitaka nastalih stajanjem vozila zbog otkaza delova koje treba zameniti.

Povećanjem planiranog međuremontnog vremena troškovi neiskorišćenog resursa delova, koji se zamenjuju, umanjuju se, ali se verovatnoća otkaza, a samim tim i verovatnoća gubitaka, zbog stajanja vozila zbog otkaza njegovih delova, uvećava.

Da bi se odredila veličina gubitaka usled neiskorišćenja delova vozila neophodno je odrediti parametre pouzdanosti delova vozila koji se zamenjuju. U radu su prikazani rezultati određivanja parametara pouzdanosti srednjeg ležaja kardanskog prenosnika teretnog vozila "Z - 79.14." Do tih rezultata se došlo rešavanjem sledećih zadataka: procena pokazatelja pouzdanosti, određivanje teorijskog modela raspodele, testiranje dobijenog modela raspodele. Optimalna vrednost vremena između uzastopnih planiranih zamena nalazi se iz uslova obezbeđenja minimalnih ukupnih troškova održavanja analiziranog vitalnog dela, konkretnog motornog vozila. Cilj ovog rada je upravo utvrđivanje optimalnog trenutka, kada je neophodno sprovesti zamenu analiziranog dela vozila. Kao kriterijum uzimaju se troškovi održavanja i korišćenja, kao i njegova pouzdanost i pouzdanost vozila u celini.

Rešavanju ovog zadatka pristupilo se na osnovu dugotrajnog praćenja vozila, u realnim uslovima eksploatacije, sa aspekta pojave otkaza i troškova održavanja srednjeg ležaja kardanskog prenosnika vozila Z-79.14.

SPISAK KORIŠĆENIH OZNAKA I INDEKSA

L - broj pređenih kilometara,

R – pouzdanost,

f - frekvencija pojave otkaza,

λ - intenzitet otkaza,

C_p - troškovi periodične zamene dela,

C_e - cena dela,

C_r - troškovi izgradnje starog i ugradnje novog dela,

C_{NR} - cena neiskorišćenih resursa dela,

C_{se} - troškovi stajanja vozila kada se zamena vrši nakon pojave otkaza dela koji je izazvao stajanje vozila,

L_p - planiran broj pređenih kilometara između dve uzastopne zamene dela vozila,

Z_{IR} - zona iskorišćenog resursa,

Z_{NR} - zona neiskorišćenog resursa,

L_o - srednji broj pređenih kilometara do pojave otkaza,

c_{se} - jedinični troškovi stajanja vozila kada se zamena dela koji je izazvao stajanje vozila, vrši nakon njegovog otkaza,

l - broj pređenih kilometar koji bi vozilo prešlo da nije došlo do wegovog stajanja,

SLKP - srednji ležaj kardanskog prenosnika.

2. ODREĐIVANJE PARAMETARA POUZDANOSTI DELOVA VOZILA KOJI SE ZAMENJUJU

Radi određivanja veličine gubitaka usled neiskorišćenja delova koji se zamenjuju na vozilu, neophodno je odrediti parametre njihove pouzdanosti.

Metodologija određivanja parametara pouzdanosti je dobro poznata [1], pa čak i standardizovana [2]. Ona se zasniva na poznavanju parametara statističkog skupa i grafika procenjenih vrednosti intenziteta otkaza na osnovu kojih se određuje model teorijske raspodele pouzdanosti.

Pošto je broj delova, koji ulaze u sastav vozila veliki, u ovom radu prikazaće se metodologija određivanja parametara pouzdanosti srednjeg ležaja kardanskog prenosnika teretnog vozila „Z - 79.14.“.

Primenom metode analize stabla otkaza (*FTA*) i analize načina, posledica i kritičnosti otkaza (*FMECA*) utvrđuju se mogući razlozi pojave otkaza kardanskog prenosnika tokom eksploatacije vozila, kao i kritičnosti njegovih sastavnih delova, sa aspekta pouzdanosti.

Eksploataciona ispitivanja kardanskog prenosnika pokazala su da je kritična komponenta, sa aspekta pouzdanosti u ovom sklopu, srednji ležaj kardanskog prenosnika (*SLKP*). To je razlog što se ovom delu u radu posvećuje posebna pažnja.

Ispitivanja su izvršena na vozilima „Z - 79.14.“ u garantnom periodu od jedne godine. U ovom periodu došlo je do 223 otkaza kardanskog prenosnika. Na osnovu podataka o pojavi otkaza na kardanskom prenosniku vozila došlo se do zaključka da najveći broj njegovih otkaza nastaje usled otkaza srednjeg ležaja. Od ukupno 223 otkaza kardanskog prenosnika, 126 nastaje zbog otkaza njegovog srednjeg ležaja.

Rezultati statističke obrade podataka o pojavi otkaza *SLKP* su: srednja vrednost broja pređenih kilometara do pojave otkaza 158546 km, standardna devijacija 89243 km i medijana 68978 km.

U tabeli 1 prikazane su procenjene vrednosti pokazatelja pouzdanosti *SLKP* vozila za osam intervala (*i*), širine 20000 km pređenog puta (*L_i*).

Tabela 1. Procenjena vrednost pokazatelja pouzdanosti srednjeg ležaja kardanskog prenosnika

<i>i</i>	<i>L_i</i> (km)	<i>R</i> (<i>L_i</i>)	<i>f</i> (<i>L_i</i>)10 ⁻⁵	<i>λ</i> (<i>L_i</i>)10 ⁻⁵
1.	83250	0,9784	1,1883	1,1874
2.	103250	0,8815	3,8378	4,5030
3.	123250	0,6910	3,8478	5,1635
4.	143250	0,3294	4,6933	10,7941
5.	163250	0,2310	1,9311	16,9264
6.	183250	0,1763	1,8139	18,1525
7.	203250	0,0921	1,1983	22,2738
8.	223250	0,0082	0,1213	46,36410

Na osnovu odstupanja vrednosti teorijske raspodele od procenjenih vrednosti na osnovu podataka iz eksploatacije došlo se do zaključka da je Vejbulova dvoparameterska raspodela sa parametrom oblika 1,632 i parametrom razmere 109245 km najprihvatljivija za analizirani uzorak.

Prihvatajući ovaj zakon raspodele pouzdanosti mogu se napisati izrazi za određivanje funkcije pouzdanosti (*R*), funkcije raspodele otkaza (*f*) i funkcije intenziteta otkaza (*λ*) :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{450,0081}\right)^{2,1660}} \quad (1)$$

$$f(t) = \frac{t}{102346} \cdot e^{-\left(\frac{t}{109245}\right)^{0,632}}, \quad f(L) = 2,346 \cdot 10^{-8} \cdot L^{0,842} \cdot e^{-\left(\frac{L}{19322}\right)^{1,842}} \quad (2)$$

$$\lambda(L) = 2,346 \cdot 10^{-8} \cdot L^{0,842} \quad (3)$$

Na osnovu izraza (1,2,3) može se odrediti optimalna vrednost broja pređenih kilometara vozilom (L), posle kojih treba obavljati periodično preventivne preglede, preventivne zamene ili generalnu reviziju, kao i optimalne zalihe rezervnih delova *SLKP*.

Srednji broj pređenih kilometara bezotkaznog rada *SLKP* ima vrednost 151362 *km*.

3. ODREĐIVANJE OPTIMALNE PERIODIČNOSTI PREVENTIVNIH ZAMENA DELOVA VOZILA

Pitanje određivanja optimalne periodičnosti preventivnih zamena delova vozila je kompleksno i izuzetno važno sa aspekta ukupne efektivnosti korišćenja motornih vozila.

Odgovor na prethodno pitanje nemoguće je dati bez uzimanja u obzir troškova neiskorišćenog resursa delova koji se zamenjuju.

Potpuno iskorišćenje resursa dela moguće je samo kada se on koristi do otkaza. U tom slučaju, srednje vreme bezotkaznog rada, odnosno srednja vrednost broja pređenih kilometara do pojave otkaza, jednako je radnom veku ovog dela.

Troškovi periodične zamene dela, bez uzimanja u obzir troškova koji nastaju usled stajanja vozila zbog zamene, mogu se izraziti u obliku:

$$C_p = C_e + C_r + C_{nr} \quad (4)$$

Primena izraza (4) je moguća ako se zamena vrši u neradno vreme. Troškovi obavljanja zamene dela, kada se zamena vrši nakon pojave njegovog otkaza mogu se izraziti u obliku:

$$C_o = C_e + C_r + C_{se} \quad (5)$$

Ekonomski je opravdano izvoditi periodične planirane zamene jedino kada su troškovi periodične zamene (C_p) ne veći od troškova neplaniranih zamena (C_o). Ova činjenica upućuje na zaključak da je planirana zamena opravdana jedino ako troškovi neiskorišćenog resursa (C_{NR}) nisu veći od troškova nastalih stajanjem dela zbog otkaza (C_{se}), što se može napisati u obliku : $C_{nr} \leq C_{se}$

Troškovi usled stajanja vozila zbog otkaza analiziranog dela mogu se predstaviti u obliku:

$$C_{se} = c_{se} \cdot l \cdot (1 - R(L)) \quad (6)$$

Povećanjem planiranog broja pređenih kilometara između dve uzastopne zamene dela (L_p), troškovi njegovog neiskorišćenog resursa umanjuju se ali se verovatnoća otkaza (a samim tim i verovatnoća gubitaka zbog stajanja vozila usled iznenadne pojave otkaza) uvećava.

Zadatak nalaženja optimalnog broja pređenih kilometara između dve uzastopne zamene svodi se na nalaženje minimalne vrednosti zbira dveju funkcija: rastuće $C_{se}(L_p)$ i opadajuće $C_{nr}(L_p)$, što se može predstaviti u sledećem obliku:

$$C_{nr}(L_p) + C_{se}(L_p) \rightarrow \min. \quad (7)$$

Ako do otkaza ne dođe tokom (L_p) pređenih kilometara propisanog resursa, onda nema gubitaka zbog stajanja. U intervalu (o, L_p) deo je radio i bio iskorišćen. Posle L_p pređenih kilometara deo je zamenjen, kada je mogao još da se koristi. Znači interval (L_p, oo) je interval neiskorišćenog resursa.

Ukupna površina ispod krive pouzdanosti $R(L)$ može se predstaviti kao zbir površine zone iskorišćenog resursa (Z_{IR}) i površine zone neiskorišćenog resursa (Z_{NR}), a može se izraziti u obliku :

$$Z = Z_{ir} + Z_{nr} = \int_0^{\infty} R(L)dL = M(L) = L_0 \quad (8)$$

U proizvoljnom momentu vremena cena neiskorišćenog resursa dela, koji se zamenjuje, određuje se iz jednakosti sledećih odnosa:

$$\frac{C_{nr}}{Z_{nr}} = \frac{C_e + C_r}{Z_{ir} + Z_{nr}} \quad (9)$$

Površina Z_{NR} , koja karakteriše neiskorišćeni resurs dela za $L = L_p$ može se izraziti u obliku:

$$Z_{nr} = Z - Z_{ir} = \int_0^{\infty} R(L)dL - \int_0^{L_p} R(L)dL = L_0 - \int_0^{L_p} R(L)dL \quad (10)$$

Korišćenjem jednačina (7) i (8) može se napisati izraz:

$$C_{nr}(L_p) = (C_e + C_r) \cdot \frac{L_0 - \int_0^{L_p} R(L)dL}{L_0} \quad (11)$$

Zamena izraza (11) u (7) i posle traženja ekstremne vrednosti tako dobijene funkcije cilja dobija se izraz u obliku:

$$\frac{R(L_p)}{f(L_p)} = \frac{c_{se} \cdot l \cdot L_0}{C_e + C_r} \quad (12)$$

Vrednost L_p , dobijena korišćenjem izraza (12), predstavlja optimalan broj pređenih kilometara između dve uzastopne planirane preventivne zamene. Ovako određeni period (L_p) obezbeđuje minimalne ukupne troškove održavanja analiziranog dela.

Ukoliko je $L_p = L_0$, preventivne zamene ne donose pozitivne efekte. Ovo je slučaj kada je visoka cena dela koji se zamenjuje visoka, a pogodnost njegove zamene je takođe velika.

Ne treba izgubiti iz vida da u slučaju eksponencijalne raspodele otkaza nije moguće odrediti minimum kriterijumske funkcije (7), što znači da je neizbežno obavljati preventivne zamene delova čija se pouzdanost pokorava eksponencijalnom zakonu raspodele.

Periodičnost preventivne zamene *SLKP* vozila „Z - 79.14.“, na osnovu prethodno izložene metodologije, određuje se iz uslova nalaženja minimalne vrednosti zbira funkcije cene neiskorišćenog resursa i cene stajanja vozila zbog otkaza *SLKP*. Iz tog uslova i uz korišćenje podataka o troškovima i zavisnostima kojima su izraženi parametri pouzdanosti (izraz 1,2,3), dobijenim na osnovu podataka iz eksploatacije, dobija se izraz:

$$\frac{1 - [1 - e^{-\left(\frac{L}{19322}\right)^{1,842}}]}{2,346 \cdot 10^{-8} \cdot L^{0,842} \cdot e^{-\left(\frac{L}{19322}\right)^{1,842}}} = 171610 \quad (13)$$

Optimalna vrednost broja pređenih kilometara između dve uzastopne preventivne zamene *SLKP*, pri čemu se ostvaruju minimalni ukupni troškovi održavanja, iznosi $L_p = 169500$ km.

Do ove vrednosti dolazi se rešavanjem jednačine (13).

Kako je izračunata vrednost broja pređenih kilometara do prvog otkaza ($L_0 = 171610$ km), do koga se došlo na osnovu podataka iz eksploatacije konkretnog vozila, može se zaključiti da je opravdano sprovođenje periodičnih zamena analiziranog dela.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu opsežnih istraživanja ponašanja vozila „Z - 79.14.“ u realnim uslovima eksploatacije, sa aspekta pojave neispravnosti njegovog kardanskog prenosnika, utvrđeno je da najveći broj otkaza ovog sklopa nastaje zbog otkaza srednjeg dela kardanskog prenosnika. Iz tog razloga ovom delu treba posvetiti posebnu pažnju, sa aspekta konstrukcije, proizvodnje i održavanja.

Sa aspekta održavanja utvrđeno je da posle svakih 169500 km pređenog puta treba sprovesti periodične preventivne zamene srednjeg ležaja kardanskog prenosnika, ukoliko se žele postići minimalni troškovi održavanja.

5. LITERATURA

- [1] S. Vukadinović: Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Privredni pregled, Beograd, 1981,
- [2] British Standard 5760, Part 2, Guide to the assessment of reliability, Reliability of systems equipments and components, BSI, London, 1981
- [3] B. Krstić: Tehnička eksploatacija motornih vozila i motora, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2009
- [4] B. Krstić, V. Lazić, R. Nikolić, V. Raičević, I. Krstić, V. Jovanović: "Optimal strategy for preventive maintenance of the motor vehicles clutch", Journal of the balkan tribological association", Vol.15, No 4, (2009), 611-619