

8. UTVRĐIVANJE STANJA TRANSPORTNOG SREDSTVA – DIJAGNOSTICIRANJE

Kako je promena stanja uzročnik pojave otkaza, to je veoma značajno utvrđivanje stanja i predviđanje perioda rada posmatranog sistema do pojave otkaza.

Visok zahtevani nivo pouzdanosti transportnih sredstava uslovljava kvalitetne pravovremene intervencije u cilju otklanjanja mogućih uzroka otkaza, a u slučaju pojave, putem tačnog definisanja otkaza, i njihovo efikasno otklanjanje. Na prvom mestu, neophodne su kvalitetne metode za utvrđivanje stanja. Merenje putem rasklapanja sklopova i uređaja, s obzirom na složenost konstrukcije savremenih transportnih sredstava, iziskuje znatne troškove i povezano je sa problemom narušavanja prvobitne sprege, čime se znatno smanjuje vek trajanja. To je uslovljalo razvoj metoda i uređaja kojima se određuje stanje nekog tehničkog sistema „bez rasklapanja“, na osnovu indirektnih obeležja. Tako je razvijena **dijagnostika**. Prema standardnoj definiciji^{[B.7], [B.16]} pod dijagnostikom se podrazumevaju pregledi transportnog sredstva u toku redovnog održavanja, kojima se utvrđuje njegovo stanje ili, u slučaju pojave otkaza, uzroci otkaza, pomoću uređaja koji su stalno ugrađeni na transportnom sredstvu ili se na njega postavljaju u toku tog ispitivanja, a povezani su sa uređajem za dijagnostiku.

Proces dijagnostike transportnog sredstva sastoji se iz obavljanja niza operacija u cilju utvrđivanja stanja objekta dijagnostike u datom momentu (*sopstvena dijagnostika*), određivanja njegovog stanja u budućnosti (*prognoziranje*), kao i određivanje stanja u kome se nalazio u prošlosti (*retrospekcija*).^[B.13]

8.1. Dijagnostički parametri

Polazeći od ograničenih mogućnosti direktnog merenja strukturnih parametara stanja, istraživani su načini njihovog indirektnog merenja. U ovom smislu, pokazali su se pogodnim izlazni procesi transportnog sredstva kao objekta koji se posmatra (u daljem tekstu: objekat dijagnostike ili objekat), jer ti procesi zavise od strukture i promena strukture objekta.

Izlazni procesi objekta su fizički i hemijski procesi koji se javljaju u toku rada (na primer pogonski agregat, tj. motor sa unutrašnjim sagorevanjem, stvara energiju pri istovremenoj potrošnji goriva i vazduha, zagreva se i izbacuje izduvne gasove stvarajući pri tome određeni šum i vibracije).

Izlazni procesi se dele na:^[B.13]

- **radne procese** koji određuju radne funkcije, zbog čega je i konstruisan i napravljen posmatrani sistem (na primer, kod menjačkog prenosnika: prenos i transformacija obrtnog momenta) i
- **prapatne** (ili parazitne) **procesne** – neizbežni procesi koji se javljaju uporedo sa radnim (na primer vibracije, zagrevanje i drugo).

Karakter međusobne veze elemenata strukture kliznog ležišta (rukavca i ležišta) zavisi od veličine strukturnog parametra: od radijalnog zazora. U slučaju povećanog zazora (na primer usled trošenja) narušava se uzajamna veza između rukavca i ležišta i u kliznom ležištu dolazi do pojave radijalnih i podužnih pomeranja, što izaziva vibracije, udare i zagrevanje. Znači da **izlazni procesi nose u sebi informaciju o stanju objekta dijagnostike**, tj. o vrednostima parametara stanja. Ovi procesi se nazivaju dijagnostičkim simptomima. Parametri procesa, ako nose dovoljno kvalitetnu informaciju o stanju, nazivaju se **dijagnostičkim parametrima**.

Parametri izlaznih radnih procesa koji određuju osnovne funkcionalne karakteristike transportnog sredstva (put kočenja, snaga motora, učestalost uključivanja spojnice itd.) daju opštu, vrlo široku informaciju (kompleksnu informaciju) o stanju transportnog sredstva u celini. Ta informacija se javlja kao osnova za dalji tok procesa dijagnostike.

Parametri prapatnih procesa (grejanje, šumovi, buka, vibracije itd.) daju užu informaciju (lokalnu informaciju) o stanju objekta dijagnostike. Oni se mogu dosta tačno, široko i univerzalno primenjivati pri dijagnostici složenih sistema.

Geometrijski parametri koji određuju pojedine elementarne veze između pojedinih elemenata u sklopu (zazor, slobodan hod i sl.) daju ograničenu, ali konkretnu informaciju o stanju objekta.

Analogno strukturnim, dijagnostički parametri imaju:

- nominalne veličine D_{M-i} (odgovaraju ispravnom stanju objekta dijagnostike);

- dozvoljene veličine D_{d-i} (odgovaraju momentu pojave delimičnog otkaza – neispravnosti) i
- granične veličine D_{g-i} (veličine koje odgovaraju momentu pojave otkaza objekta dijagnostike).

Granična vrednost dijagnostičkog parametra treba da se utvrdi na osnovu ispitivanja i analiza, kao i na osnovu dobijenih podataka iz eksploatacije, a na osnovu tri kriterijuma i to :

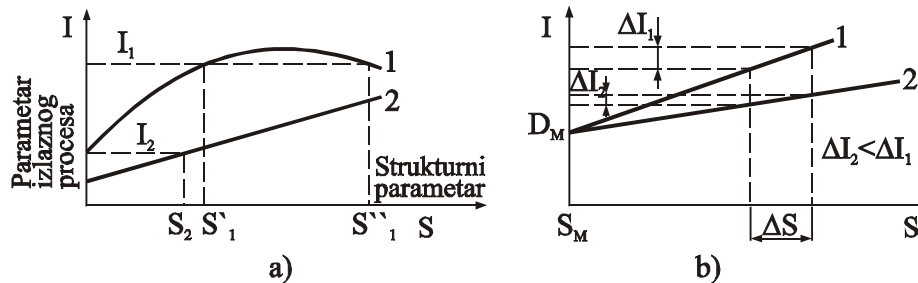
- *tehničkog kriterijuma*, pretpostavljajući kada će element da dostigne granično stanje (razaranje-lom, istrošenje i sl.),
- *kriterijuma efikasnosti* (tehnoekonomskog kriterijuma), pretpostavljajući opadanje efektivnosti korišćenja transportnog sredstva ispod dozvoljenih granica (na primer: smanjenje snage motora, povećanje potrošnje goriva i maziva, povećanje troškova za održavanje itd.),
- *funkcionalnog kriterijuma*, koji pretpostavlja opadanje udobnosti upravljanja transportnim sredstvom, odnosno pogoršanje uslova kretanja transportnog sredstva sa stanovišta bezbednosti saobraćaja (na primer: pregrejavanje pojedinih sklopova, povećani šumovi, proklizavanje spojnice itd.).

Potrebno je da se poznaju veze između strukturnih i dijagnostičkih parametara da bi, na osnovu izmerenih dijagnostičkih parametara, mogla da se donese ocena stanja objekta. Karakter ovih direktnih i povratnih veza određuje kvalitet dijagnostičkog parametra i utiče na izbor metode obrade informacije pri postavljanju dijagnoze.

Da bi neki parametar mogao da bude usvojen kao *dijagnostički* treba da zadovolji sledeće uslove.^{[B.7], [B.13]}

- da je **jednoznačan**, tj. svakoj vrednosti strukturnog parametra, koji karakteriše stanje objekta, odgovara samo jedna određena vrednost dijagnostičkog parametra;
- da je **osetljiv**, tj. najmanja promena parametra dovodi do znatne promene dijagnostičkog parametra;
- da je **stabilan**, tj. da je disperzija dijagnostičkog parametra u slučaju ponovnog merenja u prihvatljivim granicama (veoma mala);
- da je **dostupan i pogodan za merenje**.

Grafička zavisnost parametra izlaznog procesa od veličine strukturnog parametra prikazana je na slici 8.1 a), tako što je na apscisu naneta veličina strukturnog parametra (S), npr. zazor, a na ordinatu parametar izlaznog procesa (I). Ako između strukturnog i izlaznog parametra postoji linearna zavisnost (2), onda je u potpunosti zadovoljen uslov jednoznačnosti, pošto svakoj vrednosti parametra izlaznog procesa I_2 odgovara jedna vrednost strukturnog parametra S_2 . U slučaju postojanja zavisnosti tipa (1) zahtev jednoznačnosti nije ispunjen, pošto jednoj vrednosti parametra I_1 , odgovaraju dve vrednosti strukturnog parametra: S'_1 i S''_1 .



Slika 8.1. Zavisnost parametra izlaznog procesa od veličine strukturnog parametra
a) jednoznačnost; b) osetljivost

Za linearne zavisnosti (1) i (2) (Slika 8.1.b) izlaznog parametra od strukturnog, može se zaključiti da se pri promeni ΔS izlazni parametar I_1 menja više nego parametar I_2 , tj. $I_1 > I_2$. Znači da je parametar I_1 osetljiviji od parametra I_2 , pa se prema njegovoj promeni može lakše i tačnije utvrditi promena strukturnog parametra.

Dijagnostički parametri, po obimu, karakteru i povezanosti informacija koje daju o otkazu dijagnosticiranog objekta, grupišu se obično u tri grupe:^[B.13]

- **Specijalni dijagnostički parametri** koji nezavisno od drugih potpuno ukazuju na konkretan otkaz elementa ili uređaja: na primer, strogo lokalizovani parametri šuma ili vibracija ukazuju na habanje i povećanje zazor konkretnog ležaja dijagnosticiranog sklopa;
- **Opšti (integralni) dijagnostički parametri**, koji karakterišu stanje objekta dijagnostike u celini. Tako npr. integralni dijagnostički parametar može da bude snaga pogonskog agregata pri zatom brzinskom režimu, slobodni hod volana itd. Integralni parametri ne omogućavaju donošenje konkretnih zaključaka o otkazu;
- **Uzajamno zavisni (kompleksni) dijagnostički parametri**, koji karakterišu otkaz samo u skupu više identifikovanih i izmerenih parametara istovremeno.

8.2. Postavljanje dijagnoze

Postavljanje dijagnoze nekog objekta ima za cilj utvrđivanje njegove sposobnosti za dalju eksploataciju u datom trenutku i u budućnosti, a u periodu do sledeće planirane dijagnostike.

Pri utvrđivanju dijagnoze *kod jednostavnih objekata*, tj. u slučaju kada se kontroliše samo jedan dijagnostički parametar, dijagnoza se svodi na utvrđivanje veličine dijagnostičkog parametra (D) i upoređenje sa normativom. Za sisteme kod kojih se dijagnoza utvrđuje pomoću diskretnih dijagnostičkih parametara moguće su samo dve varijante dijagnoze:

$D < D_g$ – objekat dijagnostike nije u otkazu,

$D > D_g$ – objekat je u otkazu.

Shodno tome, u drugom slučaju zahteva se intervencija, a u prvom ne.

Postavljanje dijagnoze za pojedine elemente *kod složenijih sistema* (transportna sredstva), kod kojih se koristi veći broj dijagnostičkih parametara, bitno je složenije. Svaki dijagnostički parametar može biti povezan sa više strukturnih, a veličina svakog od njih može ukazati na tu ili neku drugu neispravnost. Znači da, ako je broj dijagnostičkih parametara n , broj mogućih stanja dijagnosticiranog sistema je 2^n .

Postavljanje dijagnoze se svodi na problem da se *iz niza mogućih stanja* dijagnosticiranog sistema *izdvoji ono stvarno*. Pri tom je zadatak pripreme dijagnoze da i pored velikog broja dijagnostičkih parametara, otkrije i definiše veze između strukturnih parametara i odgovarajućih dijagnostičkih parametara. Dijagnostikom se, dalje, izmerene vrednosti dijagnostičkih parametara upoređuju sa utvrđenim kriterijumima. Uz pomoć dijagnostičkih matrica^[B.13] i danas sve češće primene posebno razvijenih ekspertskih sistema, tzv. mislećih sistema i sistema podrške odlučivanju,^[B.7] određuje se slika stanja objekta i predlog mera koje je potrebno preduzeti u procesu održavanja.

8.3. Metode dijagnostike

Razvoj tehnologije merenja, sa jedne strane, i priroda dijagnostičkih parametara, sa druge, usloveli su razvoj više metoda dijagnostike stanja transportnih sredstava, njihovih sklopova i elemenata. Prema postavljenom cilju, najopštije posmatrano, razlikuje se opšta i lokalna dijagnostika.

Opšta (osnovna) *dijagnostika*^[B.13] ima za cilj da utvrdi stanje objekta dijagnostike bez utvrđivanja konkretnih neispravnosti, tj. da li je moguće njegovo dalje korišćenje bez regulisanja, odnosno opravke. Ovaj vid dijagnostike vrlo često se naziva ekspres ili funkcionalna dijagnostika.

Lokalna (detaljna, pojedinačna) *dijagnostika* ima za cilj da utvrdi stanje određenih sklopova i elemenata, kao i da utvrdi uzroke i karakter skrivenih otkaza.

Zavisno od činjenice da li su pri utvrđivanju dijagnostičkih parametara dominantna čula i sposobnost samog izvršioca ili dijagnostički uređaji i njihov

kvalitet, dijagnostika može da bude subjektivna i objektivna. **Subjektivna dijagnostika** koristi relativno jednostavne metode i sredstva, a zasniva se na iskustvu i navikama kontrolora (npr. introskopija – za određivanje stanja zatvorenih radnih površina). **Objektivna dijagnostika** u cilju utvrđivanja dijagnostičkih parametara koristi savremene specijalne uređaje i pribore koji obezbeđuju donošenje objektivne ocene stanja dijagnosticiranog tehničkog sistema.

Danas se, uglavnom, koriste sledeće metode objektivne dijagnostike stanja.^[B.13]

- **Energetske metode** – koje se često nazivaju vučno-brzinske ili metode utvrđivanja funkcionalnih karakteristika transportnog sredstva.

Energetske metode zasnovane su na merenju promene izlaznih parametara energetskog procesa, merenju potrošnje goriva i maziva i merenju karakteristika efikasnosti (put kočenja, hlađenja pogonskog agregata itd.). Ove metode se koriste u cilju donošenja opšte ocene o stanju transportnog sredstva i njegovih sistema, a pomoću dinamometrijskih probnih stolova. Transportno sredstvo se navozi na probni sto i proces dijagnostike se obavlja u uslovima koji su bliski uslovima eksploatacije (npr. transportno sredstvo se može „ubrzati“ do željene brzine, kočiti ili pogonski agregat može da radi na određenom režimu itd.).

Korišćenje energetske metoda kao osnovnih, vrlo je rašireno u procesu primene opšte dijagnostike transportnog sredstva.

- **Vibroakustične metode** – kao dijagnostički simptom koriste zvučni signal (nivo buke, udari, šum) ili parametre vibracija (frekvencija i amplituda).

Kako su zvučni signali u većini slučajeva rezultat vibracija, vrlo često se vrši registrovanje oba vida ovih signala. Ovaj metod je univerzalan, što omogućava da se primeni praktično kod svih sklopova i elemenata koji se relativno pomeraju i obrću, ali sa druge strane, iziskuje primenu složenih elektronskih uređaja.

- **Toplotne metode** – zasnovane su na merenju zagrevanja spregnutih veza (ležajeva), ulja za podmazivanje i tečnosti za hlađenje. Kao parametar zagrevanja koristi se nivo temperature i brzina njene promene.
- **Stroboskopske metode** – zasnovane su na korišćenju principa stroboskopskog efekta. Omogućavaju dijagnostiku svih elemenata koji imaju periodično kretanje i obrtanje. Danas se ove metode koriste u cilju dijagnostike brizgaljki, točkova, nezavisnog oslanjanja, spojnice, zglobnih prenosnika itd.

Sve prethodne metode dijagnostike su univerzalne, što omogućava njihovu primenu praktično na svim sistemima i sklopovima transportnog sredstva.

- **Specijalne metode dijagnostike** – uključuju metode koje se mogu koristiti samo na ograničenom broju sklopova. Razlikuju se sledeće specijalne metode dijagnostike:
 - *po stepenu hermetičnosti radnih zapremina* (pojedinih sklopova ili sistema): kod motora cilindarsko-klipna grupa, hidraulične i pneumatske instalacije sistema za kočenje, pneumatika itd.;

- *po geometrijskim parametrima* dostupnim za merenje (uglovi postavljanja upravljačkih točkova, zazori itd.);
- *po veličini i dijagramu napona i struje* (npr. dijagnostika sistema za paljenje primenom osciloskopa);
- *po hemijskom sastavu i koncentraciji pojedinih komponenti u izduvnim gasovima*;
- *po dinamici promene i skupljanja produkata habanja u ulju* koje služi za podmazivanje motora, menjačkog i glavnog prenosnika.

Ako je transportno sredstvo tokom dijagnosticiranja u radnom stanju dijagnostika je **dinamička**. **Statička** dijagnostika se obavlja u neradnom stanju transportnog sredstva i obuhvata uglavnom merenje geometrijskih odnosa.

Prema načinu rada i sredstvima koja se pri tome koriste, dijagnostika može biti stacionarna i putna.

Stacionarna dijagnostika se obavlja na probnim stolovima gde se simuliraju radna opterećenja.

Putna dijagnostika obuhvata ispitivanja u realnim uslovima eksploatacije sa mernom opremom koja je postavljena na transportnim sredstvima.

U zavisnosti od primene dijagnostičke opreme, koja može da bude stacionarna (fiksni probni stolovi) i prenosna, način obavljanja dijagnostike može da bude *sa fiksiranom* i *sa prenosnom opremom*.

8.4. Sistem dijagnostike

Razviti sistem dijagnostike bilo kog agregata ili uređaja transportnog sredstva znači: utvrditi parametre stanja objekta, oceniti njihovu pogodnost za kontrolu, izabrati dijagnostičke parametre, odrediti karakteristike njihovih promena i veza sa parametrima stanja objekta, utvrditi normative značenja dijagnostičkih parametara, odrediti mogućnosti postavljanja dijagnoze, izabrati i tehnokonomske obrazložiti odgovarajuće metode i merna sredstva, odrediti optimalnu proceduru ili algoritam dijagnostike.

Sistem dijagnostike gradi proizvođač transportnih sredstava, sa jedne strane i pogon za održavanje transportnih sredstava, sa druge strane.

Proizvođač transportnih sredstava u okviru razvoja konkretnog tipa transportnog sredstva razvija i sistem dijagnostike tog tipa. Tendencija koju omogućava savremeni tehnološki razvoj, jeste tendencija ka široj primeni dinamičke putne dijagnostike. Proizvođači na transportnim sredstvima povećavaju broj senzora koji služe i za automatizovani nadzor stanja (*on-condition monitoring*). Ob-

rada podataka sa senzora se delom obavlja direktno na transportnom sredstvu, a delom u okviru pogona za održavanje. Ukupno posmatrano, teži se tzv. „poluautomatizovanoj“ dijagnostici koja obuhvata sistem senzora, prenos podataka i računarske sisteme sa integrisanim „ekspertskim“ znanjima i omogućava postavljanje dijagnoze i određivanje povoljnog postupka održavanja.

Pogon za održavanje transportnih sredstava razvija dijagnostiku prema specifičnim zahtevima transportnih sredstava za čije je održavanje namenjen i prema vrstama intervencija koje se u okviru pogona obavljaju. Tako se kao rezultat dobija neophodna dijagnostička oprema, normativi dijagnostičkih parametara, postupci rada i slično.

U pogonima za održavanje još uvek su dominantni standardni dijagnostički uređaji (vidi prilog 9 „Dijagnostika motornih vozila“), a normativne vrednosti dijagnostičkih parametara se definišu od strane proizvođača.