Dr Nikola Žegarac,
kapetan I klase,
dipl. inž.

Vibracije kućišta dizel-motora u zavisnosti od brzine vrtnje, opterećenja i zračnosti ležajeva

Uvod

U okviru ove studije ispitan je utjecaj povećanja zračnosti temeljnih ležajeva koljenastog vratila (KV) pri različitim brzinama vrtnje i opterećenjima motora na vibracijsko stanje kućišta ležajeva i motora. Pored toga, ispitani su i utjecaji drugih parametara na vibracije nezavisno od zračnosti ležajeva. Problem istraživanja sveo se na pronalaznje pogodne dijagnostičke metode na osnovi koje će se moći pouzdano određivati veličina zračnosti temeljnih ležajeva KV motora.

Sva ispitivanja izvedena su na kruto temeljnom motoru tipa 6ASL-25D. Ukoliko bi se mjerenja vibracija vršila na elastično temeljenim motorima iz iste familije s jednakim ili većim brojem cilindara, za očekivati je da će se dobiti drugačiji rezultati mjerenja. U stvarnim uvjetima rada motora nastaju razlike i u tlakovima izgaranja u cilindrima motora, a mogući su slučajevi da je u nekom cilindru nepravilno izgaranje (ili čak da ne radi), zbog čega bi se pojavile još veće razlike u nivou vibracija.

Definiranje režima rada i program ispitivanja motora

Motor u cjelini predstavlja dinamički sistem s mnogo povezanih procesa.

Osobine pojedinih procesa su složene, jer su rezultat velikog broja utjecajnih parametara. Dinamički sistem se može opisati ulaznim i izlaznim parametrima motora. Ulazne parametre čine uzbudne sile koje su rezultat zajedničkog djelovanja sila izgaranja u cilindrima motora i sila inercije gibajućih masa motornog mehanizma. Izlazni parametri zavise od elasto-mehaničkih svojstava sistema koji se mijenjaju zavisno od režima rada i zračnosti ležajeva KV motora. Radi toga je potrebno odabrati takve režime rada na kojima su dominantni utjecaji zračnosti ležajeva na vibracijske parametre motora. U procesu proizvodnje motora izvršena su mjerenja na svim dijelovima motora, pri čemu se utvrdilo da su ostvareni određeni zahtjevi tehničke dokumentacije kojima se osiguravaju normalne funkcije motora. Rezultati tih mjerenja služe kao polazna osnova za ocjenu utjecaja dimenzionalnih veličina, prvenstveno zračnosti ležajeva na vibracijske parametre motora.

Na slici 1 prikazana su mjerna mjesta (Mm) na motoru na kojima su mjereni vibracijski parametri.

Vibracije kućišta ležaja i motora mjerene su pomoću piezo-senzora tipa 4321, 4371 i 4390. Mjerene su vibracijske brzine na kućištu prvog i sedmog

ležaja u horizontalnom i vertikalnom smjeru (x_{p1} , y_{p1} i x_{z7} , y_{z7}) — mjerna mjesta 1, 2, 6 i 7, te na vanjskom dijelu kućišta motora u nivou temeljnih ležajeva, u horizontalnom smjeru i to na mjestu prvog, četvrtog i sedmog ležaja

— održavanje stalne temperature ulja za podmazivanje i vode za hlađenje motora;

— kontinuirano mjerenje temperature na svim temeljnim ležajevima KV motora.

Sl. 1 Raspored mjernih mjesta na motoru:

- x_{p1} — vibracije na 1. temeljnom ležaju, horizontalni smjer — Mm 1;
- y_{p1} — vibracije na 1. temeljnom ležaju, vertikalni smjer — Mm 2;
- x_{b1} — vibracije na bočnom vijku 1. temeljnog ležaja, horizontalni smjer — Mm 8;
- x_{b4} — vibracije na bočnom vijku 4. temeljnog ležaja, horizontalni smjer — Mm 4;
- x_{b7} — vibracije na bočnom vijku 7. temeljnog ležaja — Mm 5;
- x_{z7} — vibracije na 7. temeljnom ležaju, horizontalni smjer — Mm 6;
- y_{z7} — vibracije na 7. temeljnom ležaju, vertikalni smjer — Mm 7.

(x_{b1} , x_{b4} i x_{b7}) — mjerna mjesta 3, 4 i 5. Vibracije su mjerene u zavisnosti od brzine vrtnje n , opterećenja i zračnosti temeljnih ležajeva KV motora. Pored toga, ispitivanjima su obuhvaćeni i opći zahtjevi koji se odnose na:

— obavezno baždarenje hidraulične kočnice i ispitivanje motora na ispitnom mjestu, uz stalnu kontrolu utjecaja okoline i vibracija koje stvaraju drugi motori za vrijeme ispitivanja u ispitnoj stanici;

— podešavanje sistema za napajanje gorivom, tako da dobava po svim cilindrima motora bude što ravnomjernija;

— mjerenje tlaka kompresije u svim cilindrima motora;

— mjerenje tlaka na kraju procesa izgaranja u svim cilindrima motora, a, po potrebi, i podešavanje sistema za napajanje gorivom radi postizanja minimalne razlike u tlakovima između pojedinih cilindara;

Rezultati mjerenja i analiza

Rezultati mjerenja obrađeni su pomoću analizatora signala i računala. Uz efektivne vrijednosti vibracijske brzine, vršena je i spektralna analiza signala do 9. reda.

Na slici 2 prikazane su efektivne vrijednosti vibracijske brzine, v za neopterećen, a na slici 3 za opterećen motor po propelerskom zakonu na mjernom mjestu 3 i 4. Iz dijagrama se ne može dobiti jaka korelacija vibracija i veličine zračnosti za razne brzine vrtnje i opterećenja motora.

Na slici 4 prikazane su efektivne vrijednosti vibracijske brzine, v_k , harmonika reda 0,5 i 1,5 za neopterećen, a na slici 5 za opterećen motor na mjernom mjestu 3 i 5. Analize su rađene i za druge harmonike. Pokazalo se da su za zračnosti ležajeva najviše vezane frekvencijske komponente reda 0,5 i 1, a u manjoj mjeri komponente reda 1,5, 2, 2,5 i 3,5.

Sl. 2 Efektivne vrijednosti vibracijske brzine za različite zračnosti ležajeva i brzine vrtanje, bez opterećenja motora

Sl. 3 Efektivne vrijednosti vibracijske brzine za različite zračnosti ležajeva i brzine vrtnje — opterećen motor

Sl. 4 Efektivne vrijednosti vibracijske brzine, v_k , harmonika reda $k = 0,5$ i $1,5$ za različite zračnosti ležajeva i brzine vrtnje, bez opterećenja motora

Sl. 5 Efektivne vrijednosti vibracijske brzine, v_k , harmonika reda $k = 0,5$ i $1,5$ za različite zračnosti ležjeva i brzine vrtnje — opterećen motor

Na slici 6 i 7 prikazan je 1. harmonik vibracija za sedam mjernih mjesta na motoru Mm(—) u zavisnosti od brzine vrtnje, opterećenja motora i zračnosti ležajeva. Vidi se da postoje velike razlike za razne tačke mjerenja. Najveće vibracije izmjerene su u nivou prvog temeljnog ležaja u horizontalnom

rizontalnoj i vertikalnoj ravnini motora. Intenzitet uzбудnih sila veći je u horizontalnoj ravnini motora, što je dokazano na osnovu provedenih proračuna [1].

Sl. 6 Efektivne vrijednosti vibracijske brzine, v_k , harmonika reda $k = 1$, za različite zračnosti ležajeva i brzine vrtnje, bez opterećenja motora

smjeru (mjerno mjesto 3), koje su rezultat djelovanja izrazito promjenljivih uzbudnih sila od ležaja do ležaja u ho-

Sl. 7 Efektivne vrijednosti vibracijske brzine, v_k , harmonika reda $k = 1$, za različite zračnosti ležajeva i brzine vrtnje — opterećen motor

Rezultati mjerenja vibracija statistički su obrađeni. Ispitana je koreliranost [2] efektivne vrijednosti vibracijske brzine kućišta motora na mjernom mjestu 3 i zračnosti ležajeva kod raz-

ličitih brzina vrtnje i opterećenja motora. Dobivena je slijedeća zavisnost (sl. 8):

$$z = 1,82 v + 35,56 \quad (1)$$

gdje je:

z — zračnost ležajeva [μm];

v — efektivna vibracijska brzina [mm/s].

tora ne mogu biti pouzdano dijagnostičko sredstvo za određivanje zračnosti u temeljnim ležajevima KV motora. Slični rezultati dobiveni su i za vibracije koje su izmjerene na drugim mjestima, kao i za pojedine frekvencijske komponente tih vibracija. Razlog za to su jaki utjecaji drugih parametara na vibracije kućišta motora. To su, osim zračnosti

Sl. 8 Vibracije kućišta motora u zavisnosti od zračnosti ležajeva za razna opterećenja i brzine vrtnje

Koeficijent korelacije iznosi 0,36. Rasipanje iznosa z , izvedenih preko (1) iz v , ocijenjeno standardnom devijacijom, iznosi $\pm 50 \mu\text{m}$. Iz toga proizlazi da su moguća odstupanja ocjene zračnosti na osnovi mjerenja vibracijske brzine veća od dozvoljenih odstupanja zračnosti ležaja. Dakle, vibracije kućišta mo-

temeljnih ležajeva i zračnosti ležajeva klipnjače, zračnosti klipova i cilindarskih košuljica, konstrukcijska i tehnološka neizbalansiranost dijelova motornog mehanizma [3, 4], veličine tlakova sila izgaranja, rezonantne pojave na kućištu, temelju i motorom mehanizmu, i drugo.

Zaključak

Ispitivanja vibracija kućišta dizel-motora, u zavisnosti od brzine vrtnje, opterećenja i zračnosti ležajeva, bila su ograničena na jedan tip motora uz idealizaciju uvjeta rada. Analizom rezultata mjerenja nije utvrđena jaka korelacija vibracija i veličine zračnosti ležajeva koljenastog vratila motora. Zbog toga ne bi bilo opravdano nastaviti daljnja ispitivanja motora s različitim brojem cilindara, različitog temeljenja, različite namjene, uzimajući u obzir i uvjete eksploatacije, jer bi to najvjerojatnije rezultiralo u još slabijoj vezi vibracija i zračnosti ležajeva.

Spektralnom analizom signala dobivenih mjerenjem vibracijskih parametara na unutrašnjim i vanjskim po-

vršinama samo su se djelomično uspjele izdvojiti frekvencijske komponente koje su vezane za zračnosti ležajeva, što nije dovoljno za definiranje dijagnostičke metode.

Vibracije kućišta motora ne mogu biti pouzdano dijagnostičko sredstvo za određivanje stanja zračnosti temeljnih ležajeva koljenastog vratila motora, s obzirom na to da je utjecaj zračnosti samo jedan od parametara koji utječe na vibracije motora i nije dovoljno signifikantan, pa se ne može jednoznačno povezati nivo vibracija i zračnost ležajeva.

Pri izboru režima rada motora u svrhu dijagnostike stanja ležajeva utvrdilo se da je pogodniji režim praznog hoda motora.

Literatura:

- [1] Žegarac, N.: Dijagnostika kliznih ležajeva u dizel-motoru. Doktorska disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1989.
- [2] Pavlič, I.: Statistička teorija i primjena, Panorama, Zagreb, 1965.

- [3] Genkin, M. D., Sokolova, A. G.: Vibroakustičeska dijagnostika mašina i mehanizmov, Mašinostroenie, Moskva, 1987.
- [4] Butković, M.: Analiza dozvoljene tehnološke neuravnoteženosti dizel-motora, Skup IFTO-MM-a »Vibracije rotacionih strojeva i sistema«, Karlovac, 1983, str. 387-403.