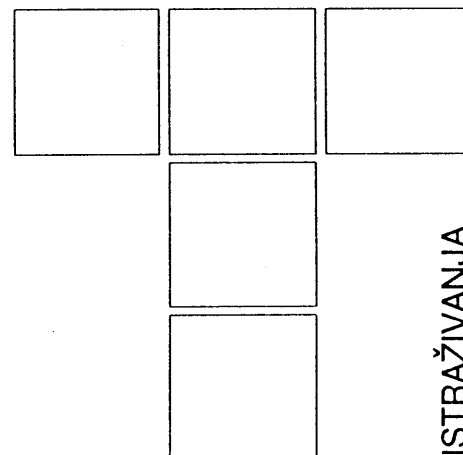


V. BULJAK

Prognoziranje veličine habanja radijalnih hidromotora



1. UVOD

Prognoziranje radne sposobnosti i resursa rada mehanizama uopšte pripada disciplini TEHNIČKA DIJAGNOSTIKA. Dijagnostika podrazumeva parametarsku dijagnostiku mašine u celini i dijagnostiku detalja. Zbog ovoga je potrebno poznavanje veličine habanja materijala od kojih su izrađeni pokretni detalji. Bez poznavanja veličine habanja nije ni moguće projektovanje savremenih mašina i uređaja visoke pouzdanosti i dugog veka trajanja. I pored postojanja u literaturi više matematičkih modela za prognoziranje habanja u zavisnosti od vrste habanja, pokazalo se da su ovi modeli nepraktični za primenu u praksi. Problem je što habanje materijala nije svojstvo materijala, već zavisi od kombinacije svih materijala i komponenti zahvaćenih procesom habanja, pa se habanje mora posmatrati kao opšta karakteristika sistema. Dalje se habanje mora posmatrati u funkciji kako radnih promenljivih tako i strukture sistema. Osnovne radne promenljive su vrsta pomeranja, opterećenje, brzina, temperatura i trajanje operacije. Strukturu sistema čine elementi sistema, svojstva elemenata i interakcije među elementima.

U radu je izložen matematički model za prognoziranje veličine habanja radijalnog hidromotora dobijen na osnovu ispitivanja dva industrijska modela hidromotora.

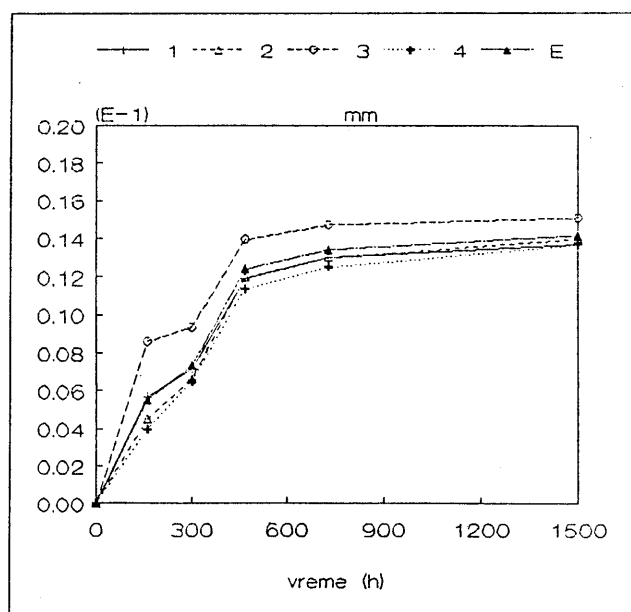
2. ISPITIVANJE HIDROMOTORA

Da bi se napravio matematički model prethodno je potrebno da se utvrdi koji sklop presudno utiče na radnu sposobnost hidromotora. U tu svrhu je korišćena sistem-ska analiza procesa habanja hidromotora [1] na osnovu koje je utvrđeno da radna sposobnost hidromotora dominantno zavisi od stanja klipa u cilindru rotora.

Za pravljenje funkcije integralne zavisnosti habanja klipa od vremena, u određenim vremenskim razmacima je merena promena prečnika klipa. Merenje prečnika klipova je vršeno na elektronskom dvokoordinatnom aparatu MITUTOYO. Pri merenju klipova na elektronskom dvokoordinatnom aparatu dobijeno je 16 vrednosti za jedan klip, a mereno je 4 klipa na jednom motoru i 6 klipova na drugom motoru. Podaci su statistički obrađeni, a na sl. 1. je prikazana dobijena integralna zavisnost habanja klipa u funkciji vremena [2, 3].

3. IZBOR MATEMATIČKOG MODELA

Stvaranje metoda prognoziranja u opštem slučaju predpostavlja rešenje sledećih zadataka:



Sl. 1.
Fig. 1.
Ris. 1.

Mr. Vladeta Buljak, dipl. ing.,
Instituit Mihajlo Pupin, Beograd

- 1) izbor kontrolnih parametara stanja i njihovih graničnih vrednosti na osnovu izučavanja procesa promene radne sposobnosti;
- 2) obrada dobijenih dijagnostičkih informacija;
- 3) izbor matematičkog modela ili metoda prognoziranja;
- 4) ocena rezultata prognoziranja.

Predloženi model je regresionog tipa. Pri rešavanju zadatka individualnog prognoziranja ovaj metod omogućava dobijanje ocene pokazatelja sigurnosti i dugovečnosti svakog konkretnog mehanizma. Za prognoziranje je neophodno da se prethodno odredi ocena statističkih karakteristika parametara tehničkog stanja i greške merenja dijagnostičkih obeležja.

Razmotrimo metodičke osnove dobijanja ocene koeficijenata linearne regresije pomoću metoda najmanjih kvadrata i ekstrapolaciju regresionog metoda. Proces promene parametara tehničkog stanja u toku ispitivanja obično se opisuje regresionim modelom

$$Y(t) = B^T \cdot F(t) + \varepsilon(t) \quad 3.1$$

gde je $Y(t)$ - veličina kontrolišućeg parametra;
 $B = [b_1; b_2; \dots; b_k]^T$ - vektor koeficijenata modela;
 $F(t) = [\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_k(t)]$ - vektor nekih funkcija nezavisne promenljive t ;
 $\varepsilon(t)$ - greška posmatranja;
 T - znak transponovanja.

Pri korišćenju metoda najmanjih kvadrata, predpostavljamo, da rezultati merenja nemaju sistematsku grešku, tj. matematičko očekivanje je $M[\varepsilon(t)] = 0$, i karakteriše se jednakom disperzijom $\sigma_0^2 = const.$, a greške posmatranja u različitim momentima vremena nisu u korelaciji, tj.

$$cov[\varepsilon(t_i), \varepsilon(t_j)] = 0 \quad i = j$$

Ako model odgovara procesu koji opisujemo to se disperzija σ_0^2 , vezana sa greškom merenja ε određuje po formuli

$$\sigma_0^2 = s_0^2 = \frac{1}{(n-k)} \cdot \sum_{i=1}^n [Y(t_i) - y(t_i)]^2$$

gde je: n - broj merenja;
 k - broj koeficijenata koji učestvuju u modelu;
 $y(t)$ - izmerena veličina parametra koji se kontroliše.

Adekvatnost usvojenog regresionog modela je nemoguće proveriti metodama teorije planiranja eksperimenta, pošto u datom slučaju nedostaje disperzija reproduktivnosti. Ocena adekvatnosti modela izvodi se proverom statističke hipoteze o adekvatnosti dva alternativna modela ili po rezultatima njegove ekstrapolacije, tj. po oceni tačnosti prognoziranja.

3.1. Matematički model sa linearnim koeficijentima linearno nezavisnih funkcija

Dijagnostička obeležja definisana parametrima habanja se određuju uvek sa nekom sistemskom greškom $\varepsilon(t)$ povezanom sa stohastičkim karakterom procesa koji se prati i greškom merenja. Tehničko stanje hidromotora se opisuje jednačinom

$$Y(t) = \psi(B, x) + \varepsilon(t) \quad 3.1.1$$

gde je: $\psi(B, x)$ - funkcionalna zavisnost modela
 $B = [b_1; b_2; \dots; b_k]^T$
i vektora argumenta x , koji se javljaju kao funkcije nezavisne promenljive.

Smatramo da greška $\varepsilon(t)$ ima normalnu raspodelu sa nultim matematičkim očekivanjem i unapred nepoznatom ocenom S_0^2 disperzije σ_0^2 .

Pravljenje matematičkog modela prognoziranja 3.1.1. počinje sa izborom determinisane osnove procesa promene tehničkog stanja hidromotora $\psi(B, x)$. Za to se na osnovu fizičkog procesa habanja klipova hidromotora i izučavanja sprovedenih tokom ispitivanja bira jedan ili nekoliko alternativnih modela promene stanja klipova u vidu jednačine (3.1.1).

Po rezultatima eksperimenta pravimo statističku diskriminaciju svakog para modela ψ_m i ψ_e pomoću odnosa sličnosti. Taj zadatak se svodi na sravnjenje ocena zaostalih disperzija modela po kriterijumu Fišera:

$$S_0^2 = \frac{Q}{(n-k)} \quad 3.1.2$$

gde je $Q = \sum_{i=1}^n [\psi(B, x) - y(t)]^2$ - zaostala suma kvadrata
 n - broj merenja,
 k - broj koeficijenata koji učestvuju u modelu,
 $y(t_i)$ - eksperimentalna vrednost parametra stanja,
 B - ocena vektora koeficijenta modela.

Pri ispunjenju uslova

$$\frac{S_{om}^2}{S_{oe}^2} > F_{1-\alpha}(v_m, v_e)$$

gde je $F_{1-\alpha}(v_m, v_e)$ - slučajna promenljiva raspodele

Fišera pri nivou verovatnoće α i za stepene verovatnoće $v_m = n-k_m$ i $v_e = n-k_e$, usvaja se model ψ_e .

Ako je razlika disperzija S_{om}^2 i S_{oe}^2 statistički nezatna, to se obično usvaja prostiji model. Da li je neki model prostiji to se ocenjuje stepenom nelinearnosti i brojem koeficijenata koji učestvuju u jednačini za ocenjivanje procesa.

Kao dijagnostičko obeležje, koje određuje tehničko stanje hidromotora, javlja se srednja integralna vrednost habanja klipova. Sledi da se proces promene određujućeg parametra, koji opisuje jednačina (3.1.1), predstavlja pozitivnom neopadajućom funkcijom čiji je izvod ravan brzini habanja, ograničenoj konačnim brojem. Ta osobina suštinski smanjuje broj mogućih matematičkih modela, koji opisuju promenu radne sposobnosti hidromotora.

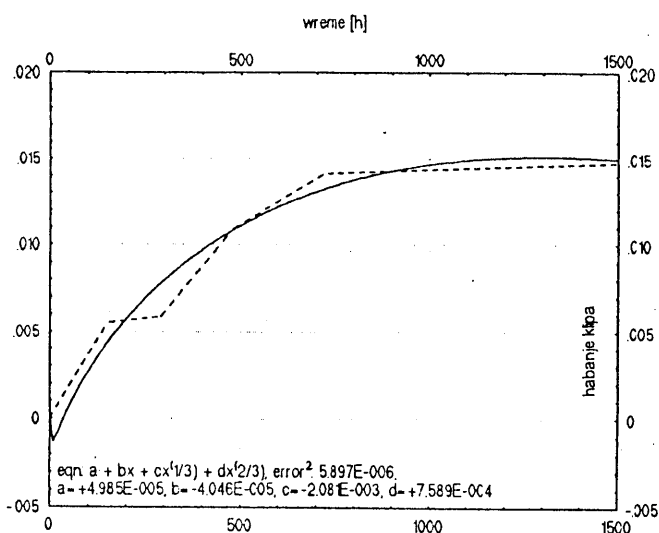
Analiza krivih, koje predstavljaju habanje klipova hidromotora, je pokazala da mogu biti predstavljene modelima tipa linearnim po koeficijentima

$$y(t) = b_0 + b_1 t^\alpha + b_2 t^\beta + \dots + b_k t^\tau + \varepsilon(t) \quad 3.1.3$$

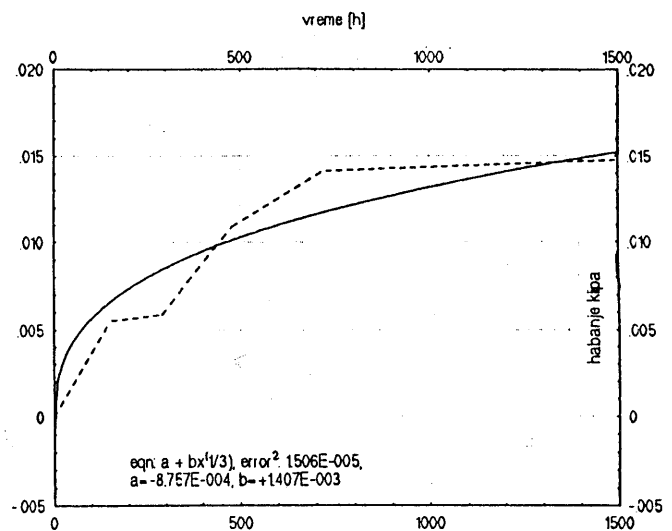
Za takve zavisnosti zadatak izbora optimalnog modela se svodi na argumentaciju broja članova jednačine. U sledećoj tabeli su prikazani različiti matematički modeli, dobijeni pri analiziranju rezultata dijagnostičkih ispitivanja hidromotora. Tu je prikazana zaostala suma kvadrata (dispersija neadekvatnosti) i zaostala dispersija, sačunata za razmatrane modele.

Matematički model za opisivanje procesa habanja	zaostala suma kvadrata	broj stepeni slobode	zaostala dispersija
$4.985 \cdot 10^{-5} - 4.046 \cdot 10^{-5} \cdot x - 2.081 \cdot 10^{-3} \cdot x^{1/3} + 7.589 \cdot 10^{-4} \cdot x^{2/3}$	0.62	2	0.31
$-3.15 \cdot 10^{-4} + 1.024 \cdot 10^{-3} \cdot x^{1/3} + 3.488 \cdot 10^{-5} \cdot x^{2/3}$ 1.	1.37	3	0.46
$-8.757 \cdot 10^{-4} + 1.407 \cdot 10^{-3} \cdot x^{1/3}$	1.51	4	0.38

Na slikama 2 i 3 je prikazana grafička interpretacija prvog i trećeg modela iz prethodne table.



Sl. 2.
Fig. 2.
Ris. 2.



Sl. 3.
Fig. 3.
Ris. 3.

4. ZAKLJUČAK

Analizom tabličnih vrednosti funkcija može se zaključiti da uvećanje broja koeficijenata, više od dva, u matematičkom modelu sa linearnim koeficijentima ne daje statistički značajno sniženje zaostale disperzije σ_0^2 . To znači da se mogu usvojiti funkcije sa dva člana. Osim toga funkcija sa četiri koeficijenta data na prvom mestu, za veće vrednosti vremena dobija talasasti oblik.

Rešenje zadatka prognoziranja metodom statističke analize procesa sprovedeno je na računaru PC 386 sa softverskim paketom EASY PLOT.

LITERATURA

- [1.] VLADETA BULJAK: **Sistemska analiza procesa habanja radijalnih hidromotora**, Beograd, HIP-NEF 1990.
- [2.] VLADETA BULJAK, SNEŽANA KOSTIĆ, DRAGAN STRUJIĆ: **Matematičko modeliranje funkcije habanja**, Kopaonik, JUPITER 1992.
- [3.] VLADETA BULJAK: **Matematički model ponašanja materijala u parovima trenja hidromotora**, magistarska teza, Beograd, 1992.
- [4.] I. S. KUZMIN, V. N. RAŽIKOV, **Melko modulnye cilindričeskie zupčatye predači**, Mašinostroenie, Leningrad, 1987.66

Prediction of Wear in Radial Hydraulic Motors

In solving the problems of safety and life prediction of radial hydraulic motors, a method for predicting wear was to be developed. A test on hydraulic motors was carried out. During tests it was determined that dominant wear, which influences the reliability and life of hydraulic motors, takes place between piston and cylinder. Recording wear of pistons during 2000 hours an integral function of wear versus time was asquired. Based on this function a method of prediction of hydraulic motors was developed. The suggested model is of the regression type.

Прогнозирование степени изнашивания радиальных гидравлических двигателей

При прогнозировании надёжности и долговечности работы гидравлических двигателей необходимо построить метод, позволяющий получение оценки этих показателей. С этой целью нами были проведены исследования, которые показали чётко решающее воздействие на надёжность и долговечность гидравлических двигателей оказываемое изнашивание, возникающее между поршнем и цилиндром ротора. При наблюдении изнашивания поршней в течение 2000-часовых испытаний получена интегральная зависимость изнашивания поршней со временем. На основании этой зависимости построен метод прогнозирования работы гидравлических двигателей и определения их ресурсов. Предложенная математическая модель регрессивного типа.

MIXER MX - 93

Koristi se za pripremu sredstava za hladjenje i podmazivanje (emulzija i rastvora).



Obezbedjuje smanjenje:

potrošnje mineralnih emulgirajućih ulja, polusintetičkih i hemijskih sredstava,

vremena pripreme emulzija i rastvora,

troškova poslovanja sa sredstvima za hladjenje i podmazivanje,

troškova alata.

Omogućava pripremu emulzija i rastvora sa optimalnim koncentracijama.