



A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională  
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",  
SEBEȘ, 2012

## **CONSIDERAȚII TEORETICE PRIVIND MENTENANȚA PREDICTIVĂ A ANGRENAJELOR SUB ACȚIUNEA VIBRAȚIILOR**

Florin ȚEPEȘ-BOBESCU, Mariana ARGHIR

### **THEORETICAL CONSIDERATIONS ON PREDICTIVE MAINTENANCE UNDER THE VIBRATION GEAR**

This paper is a survey of the literature on gear vibration and is designed to offer a better understanding of the need for predictive maintenance for safe operation of machine-tools and minimizing idle time and reducing repair costs. The ultimate goal of predictive maintenance is the implementation of maintenance works "when appropriate" before the equipment is damaged during the operation. Main failure in a gear couple of a simple gearbox, are defects on all teeth and defects localized only on a group of teeth. These defects can be partitioned defects or localized defects.

Cuvinte cheie: unelte specifice, zgomot, vibrații de viteze, eroare de transmisie, de întreținere predictivă

Keywords: spur gear, noise, gear vibration, transmission error, predictive maintenance

#### **1. Noțiuni introductive**

Mentenanța poate fi considerată un ansamblu de activități tehnico-organizatorice care au ca scop menținerea în stare de funcționare, întreținerea și reparația sistemelor industriale [11].

Dezvoltarea și creșterea complexității sistemelor industriale a dus la modernizarea și actualizarea tehnicilor de mentenanță.

Dacă ar fi să facem un studiu asupra filozofiei mentenanței utilizate în diferite tipuri de procese vom observa destule similitudini în ciuda variațiilor îndelungate în tipul operațiilor [6]. Filozofia mentenanței se poate împărți în patru categorii diferite:

- Efectuarea întreținerii în caz de defecțiune totală;
- Întreținere preventivă bazată pe timp;
- Întreținere predictivă bazată de condiții;
- Întreținere proactivă folosită pentru prevenirea defectelor.

## **2. Mentenanța predictivă**

Mentanța predictivă reprezintă un salt calitativ superior într-un sistem de mentenanță modern, indiferent de ramura industrială sau de specificul de producție, deoarece oferă toate informațiile necesare pentru:

- depistarea din timp a apariției defecțiunilor;
- localizarea acestora;
- diagnosticarea defecțiunilor;
- calculul duratei de funcționare în condiții de siguranță a utilajului.

Procesul de detecție și diagnoză a defectelor presupune accesul la anumite mărimi/parametri semnificativi ai sistemului, care dau în orice moment informații asupra stării acestuia. Monitorizarea stării unui sistem se poate realiza utilizând echipamente/algoritmi sofisticăți, sau, pentru sistemele mai simple, se bazează pe experiența și pregătirea operatorului sistemului respectiv [10].

Dezvoltarea activității industriale, realizarea unor producții cât mai mari, la calitate cât mai bună și cu costuri cât mai mici, au determinat orientarea managementului firmelor și a experților în utilaje și echipamente spre elaborarea unor măsuri organizatorice și tehnologii (figura 1) care să reducă opririle accidentale ale utilajelor și reducerea timpilor de staționare în reparație, deci a costurilor de mentenanță.

Cea mai mare parte a problemelor pot fi minimizeze prin detectarea lor în fază incipientă.

Trebuie avut în vedere faptul că, în orice sistem, programul de mentenanță se va focaliza pe componentele critice ale acestuia. O componentă critică este definită ca elementul direct implicat în procesul productiv, de care depinde în mod esențial productivitatea întregului sistem, randamentul acestuia și, nu în ultimul rând, calitatea produsului.

Cu ajutorul tehnologiei predictive, un număr mare de echipamente cu probleme pot fi prezise. Măsurarea vibrațiilor la rotirea echipamentului, este probabil cel mai cunoscut procedeu din aplicațiile curente ale întreținerii predictive, dar și alte categorii de mecanisme din industria echipamentelor beneficiază de o întreținere predictivă (Tabelul 1) [5].

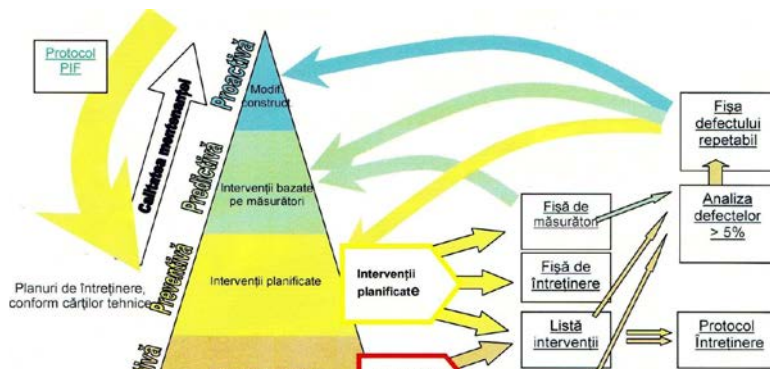


Fig.1 Fluxul informațional al mentenanței

Tabelul 1

Categoria echipamentelor	Tipul echipamentelor	Modul de cădere	Cauza căderii	Modul de detectare
Mașini rotative	Pompe, motoare, compresoare	Lubrifiere insuficientă	Forță excesivă	Analiza vibrațiilor și lubrifianțului
Echipament electric	Motoare, cabluri, transformatoare	Defectul de izolație	Căldură, umezeală	Temp. Teste de rezistență. Scanarea analizei
Schimbătoare de căldură	Schimbător, compresoare	Murdărie	Sediment	Calculule transferului de căldură
Rezervoare și echipamente de transfer	Rezervoare, reactoare	Coroziune	Atacul chimic	Verificarea grosimii de coroziune. Răspundere acustică

Spectrul întreținerii predictive

De cele mai multe ori cauza unui defect se găsește la nivelul variațiilor parametrilor de proces și o abordare neintegrativă a monitorizării și diagnozei sistemului poate duce la acțiuni ineficiente. Astfel, pe lângă cele mai cunoscute tehnici de monitorizare și diagnoză (monitorizarea vibrațiilor, termografia, tribologia) trebuie avut în vedere

și alți parametri ai unui sistem precum: debite, tensiuni, curenți, temperaturi etc [7].

Monitorizarea vibrațiilor poate fi efectuată cu o gamă variată de aparate care au ca scop măsurarea cu precizie a amplitudinilor vibrațiilor, frecvența și faza vibrației pentru a permite o diagnoză eficientă a stării de funcționare a mașinilor unelte.

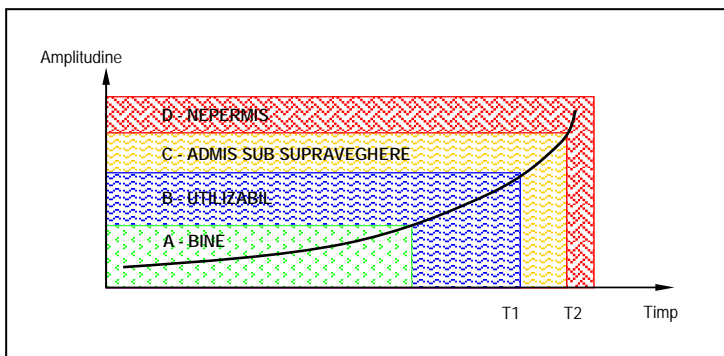


Fig. 2 Domeniile care indică starea de funcționare a utilajelor

Toate standardele internaționale recomandă ca, în momentul în care utilajul a intrat în prima limită de alarmare - A1T1 - *admis sub supraveghere*, el să fie diagnosticat și, în funcție de defect, să se urmărească evoluția lui, cât mai des, până la oprire - A2T2 - *nepermis*, care va avea loc după un interval de timp optim ales, în funcție de tipul defectului, evoluția lui și considerentele economice, astfel încât să fie evitată o oprire bruscă (necontrolată) a utilajului în avarie. Utilajele ce funcționează în domeniile A și B sunt în stare bună de funcționare.

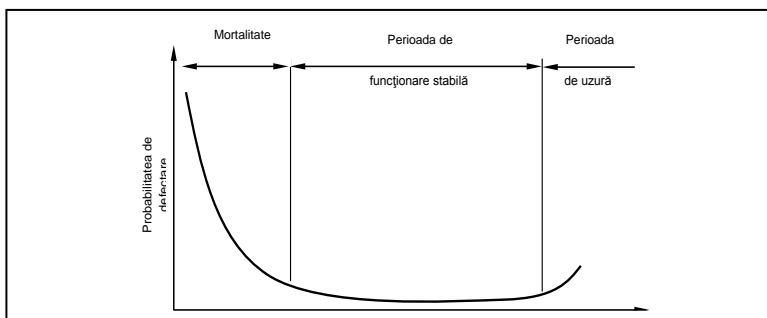


Fig. 3 Ciclul de viață al unei mașini

Domeniile care indică starea de funcționare a utilajelor sunt prezentate în figura 2 [4].

Ca rezultat al cercetărilor în figura 3 se observă curba reală de viață a mașinii unelte față de transpunerea teoretică referitoare la utilajul în cauză [5].

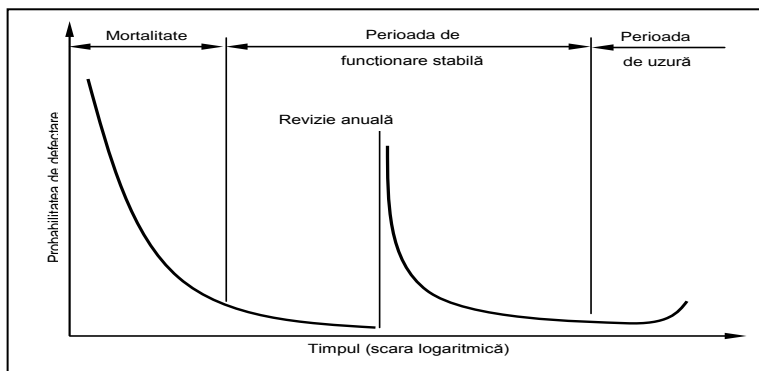


Fig. 4 Ciclul de viață a unei mașini recondiționate

În figura 4 se observă ciclul de viață a unei mașinii care este repusă în funcțiune imediat după efectuarea reparațiilor, existând o mare probabilitate a identificării unor defecte datorate imperfecțiunilor din timpul reparațiilor sau datorate chiar subansamblelor din componența respectivei lucrări.

Este bine să se respecte teorema fiabilității pentru că se pot face economii importante deoarece un produs dacă funcționează corect nu necesită intervenții inutile, respectiv costisitoare.

Prin implementarea mentenanței predictive se înregistrează creșteri economice obținute din reducerea costurilor de reparație. Implementarea mentenanței proactive poate fi aplicată numai în termeni de mentenanță predictivă fiind o continuare a acesteia.

### 3. Vibrațiile din angrenajele mașinilor-unelte

Există patru categorii principale de deteriorare a dinților unui angrenaj, dar cel mai semnificativ este ruperea dintelui.

Cele patru defecte majore sunt:

- Slăbirea rezistenței particulelor de material:
  - Exfoliere;
  - Pori;

- Sudarea asperităților suprafețelor în contact:

- Gripare;
  - Crețuri și striuri;
- Uzură abrazivă;
- Ruperea dinților.

În cazul angrenajelor, uzura poate fi repartizată pe toți dinții. Defectele se localizează la nivelul contactului între elementele mecanice ceea ce înseamnă modificarea geometriei și a condițiilor de transmitere a puterii lucru care duce la producerea vibrațiilor și a șocurilor importante. Legătura dintre rulmenți și angrenaje este realizată prin elemente mobile și imobile precum arbore, elementele rulmentului, generând vibrații naturale [1].

Identificarea defectelor se face prin studierea semnalului vibrator produs și modificarea acestui semnal raportat la prezența defectelor angrenajelor.

#### 4. Transmisibilitatea vibrațiilor

Un sistem execută vibrații forțate dacă este perturbat de forțe din exteriorul acestuia. Aceste forțe vor influența mișcările tuturor părților componente ale sistemului. În unele probleme tehnice este importantă determinarea influenței forțelor de excitație asupra unor instalații ale sistemului sau chiar asupra fundației de care este legat acel sistem [1].

Izolarea antivibratorie se realizează prin prin fixarea mașinii pe fundații speciale, pe placi de beton, pe suporturi izolatoare sau covoare amortizoare. În realitate, fundațiile sunt așezate pe pământ sau pe platforme care pot reprezenta la rândul lor medii elastice [1].

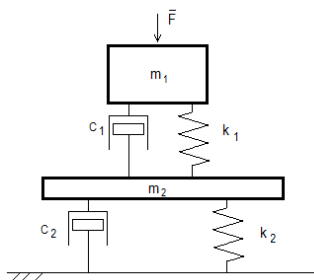


Fig. 5 Model mecanic

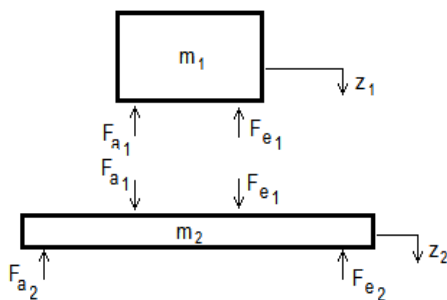


Fig. 6 Schema modelului mecanic

Modelul mecanic al sistemului oscilant conține mașina de masă  $m_1$  asupra căreia acționează forța perturbatoare  $F = F_{10} \cos pt$  și fundația de masă  $m_2$ . Între mașină și fundație se introduc materiale elastice de constantă  $k_1$  și un strat amortizor de coeficient  $c_1$  (figura 5).

Legătura dintre fundație și reperul fix se reduce la un arc de constantă elastică  $k_2$  și la un amortizor de coeficient  $c_2$ .

Forțele de amortizare  $F_{a_1}$ ,  $F_{a_2}$  respectiv forțele elastice  $F_{e_1}$ ,  $F_{e_2}$  sunt reprezentate în figura 6 și se calculează astfel:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{z}_1 = -k_1(z_1 - z_2) - c_1(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + F \\ m_2 \ddot{z}_2 = -c_1(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) - k_1(z_2 - z_1) - c_2 \dot{z}_2 - k_2 z_2 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} m_1 \ddot{z}_1 + c_1(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + k_1(z_1 - z_2) = F \\ m_2 \ddot{z}_2 + c_1(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + k_1(z_2 - z_1) + c_2 \dot{z}_2 + k_2 z_2 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Se adoptă soluția de formă exponențială și se stabilește determinantul sistemului precum și ecuația caracteristică din care se obțin pulsațiile proprii. Dacă  $\Delta = 0 \Rightarrow$  ecuația caracteristică, cu pulsațiile proprii ale sistemului are patru soluții cea ce înseamnă că sistemul are patru pulsații proprii.

$$p_1^2 = \frac{(k_1 m - c^2)^2 - \sqrt{\Delta}}{2m^2}, \quad p_2^2 = \frac{(k_1 m - c^2)^2 + \sqrt{\Delta}}{2m^2} \quad (3)$$

## 5. Concluzii

- Dezvoltarea tehnicilor de monitorizare și diagnoză și implementarea lor pe sistemele industriale asigură funcționarea în condiții de siguranță și de performanță a acestora, cu efecte pozitive asupra fiabilității, productivității și protecției muncii.

- Prin metoda analizei vibrațiilor se pot identifica diverse defecte ce pot apărea în angrenajele din componența mașinilor unelte.

■ Dacă se montează diferit paralelismul sau perpendicularitatea a două organe de mașini, în timpul funcționării apar tensiuni variabile în timp, care vor produce vibrații.

■ În timpul funcționării angrenajelor, acestea se uzează diferit, astfel se modifică suprafața în contact, forța se distribuie diferit în spațiu și timp și se produc vibrații.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Darabont, Al., Iorga, I., Ciodaru, M., *Măsurarea zgomotului și vibrațiilor în tehnică*, Editura tehnică, București, 1983, pag.1-113.
- [2] Marin, C., *Vibrațiile structurilor mecanice*, Editura Impuls, ISBN 973-8132-43-6, București, 2003, pag.390.
- [3] Ispas, C., Simion, F., *Vibrațiile mașinilor-unelte teorie și aplicații*, Editura Academiei Republicii Socialiste România, București, 1986, pag. 229.
- [4] Genta, G., *Vibration of Structures and Machines*, Springer-Verlag, New York, 1993.
- [5] Arghir, Mariana, Baidoc, M., Țepeș-Bobescu, F., Pașca, Alina Sabina, Lumei, C.V., *Maintenance strategies in the correlation man-machine-environment*, Acta Technica Napocensis, Series: Applied Mathematics and Mechanics, Vol.54, Issue 4, 2011.
- [6] Bayer, M., *Fiabilitatea și mentenabilitatea sistemelor*, Editura Bren, București, 1999.
- [7] Benston, M., ș.a., *Technical Design of Condition Based Maintenance System - A Case Study using Sound Analysis and Case-Based Reasoning*, Maintenance and Reliability Conference – Proceedings of the 8th Congress, 2004, Knoxville, USA.
- [8] Ispas, V., Olea, G., Arghir, Mariana, ș.a., *Mecanică*, Editura Dacia, ISBN: 973-35-0697-4, Cluj-Napoca, 1997, pag. 389-429.
- [9] \* \* \* [http://doc.trane-eur.com/marketing/cdtrane.nsf/PdfByName/ECTV-SLB032-RO\\_0410.pdf/\\$file/ECTV-SLB032-RO\\_0410.pdf](http://doc.trane-eur.com/marketing/cdtrane.nsf/PdfByName/ECTV-SLB032-RO_0410.pdf/$file/ECTV-SLB032-RO_0410.pdf)
- [10] \* \* \* [http://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/OM\\_5.pdf](http://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/OM_5.pdf)
- [11] \* \* \* [http://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/OM\\_5.pdf](http://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/OM_5.pdf)

Drd. Ing. Florin ȚEPEȘ-BOBESCU

Prof. Dr. Ing. Mariana ARGHIR

Facultatea de Construcții de Masini, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,

e-mail: tepes\_b\_florin@yahoo.com, mariananaarghir@yahoo.com,

telefon: 0264 401759, 0264 401657

membri AGIR