A XIII-a Conferinţă Naţională multidisciplinară – cu participare internaţională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2013

METODĂ DE ESTIMARE A INTERVALELOR DE MENTENANŢĂ ȘI REDUCEREA CONSUMULUI DE ENERGIE LA UTILAJELE DE PROCES

Dorel BUNCIANU, Mihai JĂDĂNEANŢ

ESTIMATION METHOD OF MAINTENANCE INTERVALS AND TO REDUCE ENERGY CONSUMPTION IN PROCESS EQUIPMENT

Complex technical systems are subject to inherent failures caused by failure of equipment components in different phases of their operation. The existence of a database on the history of operation of each piece of equipment is absolutely necessary given that wants to establish a optimal maintenance schedule so as to avoid the occurrence of failures due to degradation over time components. This paper proposes a method for calculating the rate of occurrence of disposals due to wear (degradation time) or instant accident where an installation of process equipment.

Cuvinte cheie: mentenanţă, uzură, predicţie
Keywords: Maintenance, Wear out, Prediction

1. Introducere

Sistemele tehnice complexe sunt supuse, inerent, defectărilor cauzate de cedarea echipamentelor componente în diferite faze ale funcţionării acestora (la pornire, în intervalul dintre lucrările de mentenanţă preventivă, în timpul efectuării lucrărilor de mentenanţă etc.).

Existenţa unei baze de date referitoare la istoria funcţionării fiecărui echipament în parte este absolut necesară în condiţiile în care

se doreşte a se stabili un grafic optim al lucrărilor de mentenanţă aşa încât să se evite producerea unor cedări datorate degradării în timp a elementelor componente.

În continuare se propune o metodă de calcul a ratei de apariţie a cedărilor datorate uzurii (degradării în timp) sau accidentelor instantanee în cazul echipamentelor unei instalaţii de proces.

Din punct de vedere al mecanismului de producere, cedările se pot clasifica în: cedări instantanee (bruşte), generatoare în special de cedări critice; cedări cauzate de deteriorarea în timp a componentelor echipamentului, generatoare de căderi ale funcţiilor esenţiale sau chiar cedări critice.

Pentru exemplificare se consideră una din subunităţile componente ale unei instalaţii de proces, şi anume un compresor împreună cu anexele acestuia (motor de acţionare, sistem de ungere, sistem de pornire, sistem de control şi monitorizare).

Modelul de analiză a cedărilor are la bază clasificarea defectărilor prezentate anterior şi estimarea ratelor critice de defectare pe un interval de timp *x* corespunzător programului de mentenanţă preventivă dedicat echipamentului analizat.

2. Date tehnice

Clasificarea cedărilor şi a mecanismelor de producere a acestora se realizează pe baza menţiunilor din foile de observaţie a funcţionării echipamentului, aşa cum se prezintă în tabelele 1 şi 2.

Pentru simplificare se recomandă clasificarea cedărilor în două categorii distincte: critice şi non-critice. În această ultimă definire se acceptă ca în categoria defectelor non-critice să fie incluse cele incipiente şi cele cu degradare în timp.

Tabelul 1

Tipul cedării	Apreciere
Critică	- cauzatoare de pierdere imediată și completă a capabilității sistemului
Incipientă	- nu are efect imediat funcționarii echipamentului
Cu degradare în timp	- nu produce căderea imediată și completă a echipamentului dar compromite funcționarea corectă a acestuia
Cu grad necunoscut de severitate	- evenimente neprevăzute sau care nu periclitează funcționarea echipamentului

De asemenea, se acceptă existenţa a două mecanisme tipice de cedare: prin defectare, manifestată prin amplificarea în timp a fenomenelor de uzare care, în lipsa unor acţiuni de mentenanţă, pot genera cedări critice; instantanee (bruşte sau prin şoc), manifestate la momente de timp absolut aleatoare fără degradări sesizabile anterior căderii.

Tabelul 2

Tipul cedării	Mecanism specific de cedare
Prin degradare	uzare de natură mecanică; vibraţii; defect de material; defecte tribologice; contaminarea produsului; parametri de operare eronaţi;
Instantanee	- avarii electrice; - instrumente de măsură defecte; - lipsă semnalizare proces; alarmare de avarie

Pentru echipamentul studiat, evidenţa cedărilor pe o perioadă de supraveghere de 52.000 ore (5,94 ani) a furnizat datele tehnice prezentate în tabelele 3, 4 şi 5.

Tabelul 3

Număr compresoare	2 (unul în rezervă)
Număr total de cedări, ne	26
Număr de cedări critice, nc,c	4
Număr de cedări non-critice, ncjsc	22
Durata totală de operare/compresor, TOP	31500 (3,60 ani)
Durata totală de supraveghere, xs	52000 (5,94 ani)
Număr total de manevre oprire/pornire, nop	75<

Datele prezentate în tabelul 3 au stat la baza a numeroase acţiuni de mentenanţă efectuate asupra utilajului studiat. Clasificarea cedărilor (critice sau non-critice) s-a realizat în principal prin identificarea metodelor care au stat la baza detectării lor. Detectarea s-a realizat în condiţii diferite după cum urmează: cu ocazia derulării activităţilor de mentenanţă preventivă - acestea se execută periodic şi constau în verificarea stării funcţionale a aparaturii, testarea elementelor susceptibile de degradare şi înlocuirea pieselor defecte; prin observaţii aleatoare, care au, în fapt, caracter accidental în detectarea eventualelor cedări (se

bazează pe observarea şi controlul întâmplător al operatorului, în principal); prin observare/monitorizare - în acest caz cedarea este remarcată în baza indicaţiilor/semnalizărilor aparaturii de măsură şi control care supraveghează procesul.

Tabelul 4

Metode de de detec-tare	Cedări non-critice		Cedări critice		Total
	Prin degradare	Instantanee	Prin degradare	Instantanee	
Mentenanţă preventivă	67	8	1	0	76
Observaţii aleatoare	13	1	0	0	14
Alarmare /monitorizare	59	71	19	21	170
Altele	0	2	0	0	2
Total	139	81	20	23	262

3. Modelul de calcul

În cele ce urmează se consideră că funcţionarea componentelor compresorului se supune următoarelor ipoteze simplificatoare: cedările critice instantanee şi cele critice datorate degradării nu pot surveni în acelaşi moment; cedările instantanee (bruşte) se consideră a avea o rată de apariţie constantă λ_i indiferent dacă elementul studiat prezintă o stare de degradare datorată uzurii; componentele reparate sunt asimilate cu componentele noi; cedările non-critice pot fi în totalitate detectate prin acţiuni de mentenanţă preventivă (MP), observare aleatoare (OA) sau alarmare (A); mediile timpilor totali de reparare (MTTR) se consideră a avea valori foarte mici în comparaţie cu duratele de funcţionare şi se pot neglija; se vor considera ca importante numai acele cedări instantanee care sunt critice; cedările instantanee non-critice sunt ignorate; toate calculele se raportează la duratele de timp operaţionale.

Modelarea cedărilor se realizează cu ajutorul unei diagrame de stare (figura 1) în care stările sistemului capătă semnificaţiile prezentate în tabelul 5. O astfel de reprezentare se bazează pe

utilizarea proceselor Markov în scopul analizării evoluţiei sistemului redată prin stările ocupate de acestea la diferite momente de timp.

Aşa cum reiese din figura 1, diferitele stări posibile ale sistemului sunt legate între ele prin aşa-numitele rate de transfer (ratele de oprire/defectare corespunzătoare tipurilor de cedări respective) care, aici, au semnificaţia ratelor de defectare. Utilizarea proceselor de tip Markov pentru a estima fiabilitatea operaţională a sistemului presupune acceptarea unor rate de transfer cu valoare constantă în timp. Această ipoteză permite efectuarea de analize pertinente şi în situaţii în care, pentru sistemul studiat, nu se dispune de date statistice suficiente modelării distribuţiei cedărilor în timp.

Tabelul 5

Starea	Semnificaţia
OK	- Sistemul este în stare de funcţionare; sistem nou;
Instantanee	- Sistemul este în stare de nefuncţionare datorată unei cedări critice;
Critică	- Sistemul este în curs de degradare în ceea ce priveşte funcţiunile; sistem încă funcţional;
Degradare non-critică MP	- În timpul activităţilor de mentenanţă preventivă (MP) s-a detectat o cedare non-critică;
Degradare, Critică	- Sistemul este în stare de nefuncţionare datorită unei degradări critice;
Observaţie aleatoare	- Detectarea unei cedări non-critice de către personalul supraveghetor sau semnalarea acestora prin sistemele de alarmare ale instalaţiei.

Literatura de specialitate şi experienţa practică în domeniul analizei funcţionale a sistemelor recomandă [1, 2, 3, 4, 5], în situaţii de genul celor prezentate aici, utilizarea, în scopul modelării evoluţiei sistemului, a unui model de tip Weibull biparametric.

Pentru fiecare dintre subunităţile sistemului studiat sunt bine precizate intervalele de timp de operare (funcţionare efectivă) scurse între două intervenţii de mentenanţă preventivă. De exemplu, pentru subsistemul de comprimare la care, corespunzător unei durate de supraveghere de 5,94 ani, s-au prevăzut intervale de inspecţie MP de 6 luni, intervalul de mentenanţă preventivă efectiv este (conform datelor din tabelul 3):

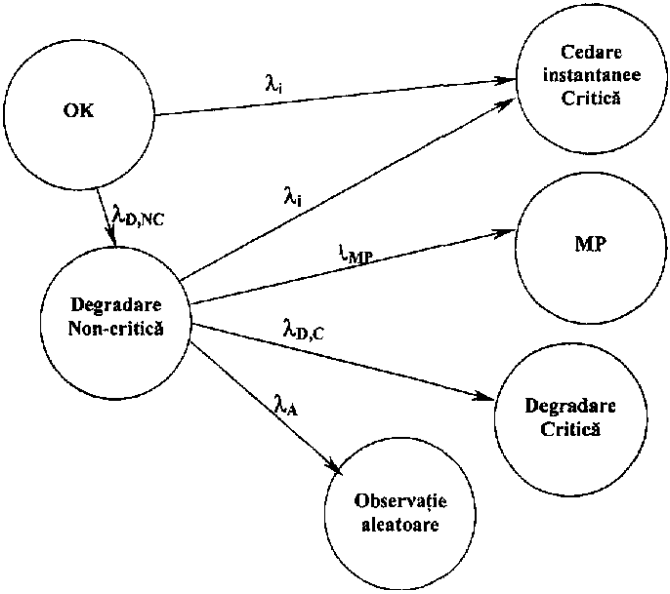

Fig. 1

Diagrama de stare a sistemului considerat

Modificarea intervalelor de mentenanţă conduce la schimbarea ratelor de transfer precizate în diagrama de stare (figura 1), cu menţiunea că o astfel de modificare presupune iniţierea unui program propriu de urmărire şi sistematizare a datelor cu privire la funcţionarea sistemului sau subunităţii studiate.

Totodată, utilizarea datelor din exploatare (de tipul celor prezentate în tabelul 5), permite iniţierea unor evaluări privind influenţa exercitată de modificarea intervalelor de mentenanţă asupra timpului de bună funcţionare a subunităţii studiate.

De exemplu, pentru subsistemul în care se face comprimarea, media timpului de bună funcţionare (MTBF) este sensibil influenţată de modul de programare a lucrărilor de mentenanţă .

În conformitate cu recomandările din lucrările [6, 10, 11, 12, 13, 14, 15] s-a considerat drept timp de bună funcţionare (şi faţă de care s-a calculat MTBF) timpul dintre două cedări critice datorate degradării echipamentului.

De asemenea, s-a considerat că cedările critice sunt uniform repartizate pe perioada de funcţionare a echipamentului.

S-au exclus cedările non-critice considerându-se că acestea se remediază în cadrul opririlor de mentenanţă.

4. Concluzii

■ Pe baza analizei efectuate se poate stabili o valoare optimă pentru intervalul de mentenanţă preventivă (TMP), ţinând cont de volumul cedărilor, corespunzătoare ratei totale de cedare cu valoare minimă. În cazul subsistemului studiat, se recomandă ca intervenţiile specifice activităţilor de mentenanţă preventivă să se execute la un interval de 12 luni.

■ Efectuând studii asemănătoare pentru toate subsistemele se poate stabili valoarea optimă a intervalului de mentenanţă recomandată pentru utilajul aflat în exploatare (se consideră drept interval de mentenanţă pentru utilaj, intervalul de mentenanţă al unei subunităţi având valoarea minimă, din totalul subunităţilor componente).

■ În practică se poate renunţa la studierea unei părţi dintre subsisteme, luând în calcul numai pe acelea care au suferit un număr mare de cedări şi care au un interval de mentenanţă recomandat cât mai mic ca valoare.

■ La stabilirea intervalului optim de mentenanţă, pe lângă rata cedărilor, se recomandă a fi luate în consideraţie şi costurile aferente întreţinerii echipamentelor în intervalul dintre două opriri planificate, rezultatele astfel obţinute beneficiind de o mai bună justificare economică.

BIBLIOGRAFIE

[1] Barbet, J. F., *Les methods d'analyse de la securité des systemes,* Revue Generale de Preventation, 30, pag. 42, 1984.
[2] Cătuneanu, V.M., Mihalache, A., *Bazele teoretice ale fiabilităţii,* Editura Academiei, Bucureşti, 1983.
[3] Gnedenko, B., Beliaev, V., Soloviev, A., *Methodes mathematiques en theorie de la fiabilité,* Moscov, 1972.
[4] Masschelein, C.A., Ryder, D.S., and Simon, J.P., *Immobilized cell technology in beer production.* Crit. Rev. Biotechnol. 14:155-177, 1994.
[5] Niţu, V., ş.a,, *Fiabilitatea instalaţiilor energetice, Culegere de probleme,* Editura tehnică, Bucureşti, 1979.
[6] Anon, G., *Industry analysts focus on US, Asian, Latin American markets,* Oil and Gas Journal Special, April 25, pag. 45, 1994.

[7] Batteau, P., Marciano, J.P., *Probabilité et decision dans l'incertain,* PUF, 1976.
[8] Antonescu, N.N., Ulmanu, V., *Fabricarea, repararea şi întreţinerea utilajului chimic şi petrochimic,* Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1981.
[9] Baron, T., *Calitatea şi fiabilitatea produselor,* Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1976.
[10] Sandtorv, Helge, ş.a., *Practical experience with a data collection project - The OREDA projec, 1995t.*
[11] Jorn Vatn, *OREDA Data Analysis - Compressor study,* SÎNTEF Report STF 75 - F 92034.
[12] Haugen Knut, Hokstad Per and Sandtorv Helge, *The analysis of failure data in the presence of critical and degraded failures*\ ESREL;95, Bournemouth, 1995.
[13] OREDA *"Guidelines for Data Collection",* 6th edition, 1995.
[14] Per, H., Anders, T.F., *The modelling of degraded and critical failures for components with dormant failures,* London, 2000.
[15] Roger, C., *The Design of Reliability Data Bases. Part I and II,* Cambridge, 2002.

Drd.Ing. Dorel BUNCIANU
Şcoala Doctorală, Universitatea „Politehnica” din Timişoara,
e-mail: dorelbuncianu@yahoo.com

Prof.Dr.Ing. Mihai JĂDĂNEANŢ
Şcoala Doctorală, Universitatea „Politehnica” din Timişoara,
membru AGIR
e-mail: mihai_jadaneant@yahoo.com