

# CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND MODELAREA FIABILITAȚII SISTEMELOR MECANICE COMPLEXE

## GENERAL CONSIDERATIONS ON RELIABILITY MODELING OF COMPLEX MECHANICAL SYSTEMS.

CONSTANTIN BUCURESCU, S.I.univ.dr.ing.  
Universitatea Tehnică de Construcții București – Facultatea de Utilaj Tehnologic  
[c.bucurescu@yahoo.com](mailto:c.bucurescu@yahoo.com)

*In aceasta lucrare se propune o procedura de modelare a fiabilitatii unui sistem tehnic complex in doua situatii diferite si anume:*

- considerand sistemul ca un obiect abstract avand anumite legaturicu exteriorul;*
  - considerand sistemul ca o structura de subsisteme si/sau elemente avand intre ele anumite legaturi.*
- This paper proposes a procedure for modeling complex technical system reliability in two different situations, namely:*
- considering the system as an abstract object having certain links with the outside;*
  - considering the system as a sub-structure and / or elements having certain relationships between them.*

### 1. PROBLEME GENERALE PRIVIND MODELAREA FIABILITĂȚII SISTEMELOR COMPLEXE

Fiabilitatea este un domeniu interdisciplinar care se ocupă de studiul legilor de degradare în timp a elementelor și sistemelor fizice. Evoluția uzurii sistemelor și degradarea acestora a atras dintotdeauna atenția, dar apariția ca teorie, concept și domeniu de cercetare a fiabilității a avut loc în urmă cu 40 - 45 de ani și a fost determinată de realizarea unor sisteme tehnice de mare complexitate, ale căror defectări aveau consecințe deosebit de grave. Pe de altă parte, apariția și dezvoltarea conceptului de fiabilitate a fost determinată de efectele negative ale producției de masă asupra calității produselor. Deși aceste efecte negative au fost sesizate și s-a încercat chiar corectarea lor, nu s-a făcut însă o detașare clară a asigurării calității la un anumit moment dat și menținerea caracteristicilor produselor în timp. De altfel, experiența tehnologică arată că o asemenea distincție nici nu ar fi fost necesară, dat fiind că disciplinele tehnice „clasice“, cum ar fi rezistența materialelor, asigurau pentru un sistem complex oarecare, aflat în stare bună la momentul inițial, menținerea performanțelor acestuia un timp comparabil cu durata de serviciu, în condiții de întreținere bine precizate, prin utilizarea coeficienților de siguranță. Acest lucru însă era permis de experiența acumulată de-a lungul timpului, de utilizarea unor materiale și tehnologii cu caracteristici relativ simple. Apariția unor domenii tehnice noi, utilizarea unor materiale și tehnologii pentru care nu există suficiente date și experiență a condus la nuanțarea noțiunii de calitate, astfel încât aceasta să includă și aspecte privind evoluția în timp a performanțelor sistemelor.

Conceptul de fiabilitate permite considerații de mare interes pentru producția sistemelor în general și a sistemelor tehnice complexe în special. În studiile de specialitate se

arată că, în condițiile unui nivel constant al fiabilității unui sistem, timpul necesar producției acestuia crește liniar cu nivelul dezvoltării sale, în timp ce timpul de muncă necesar restabilirii sistemului defectat crește exponențial cu acest nivel (fig. 1.).

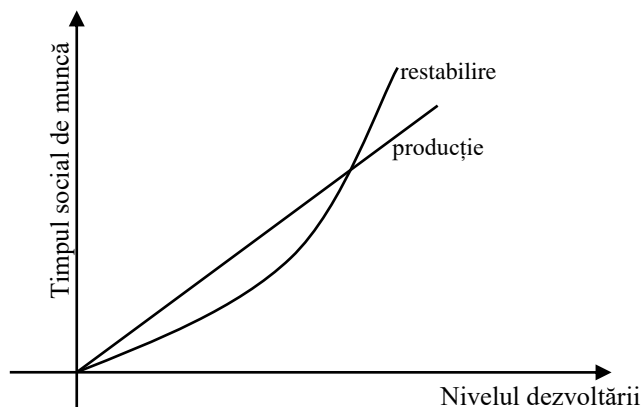


Fig. 1. Variația timpului social de muncă necesar producției, respectiv restabilirii unui sistem în funcție de nivelul dezvoltării acestuia

În asemenea condiții, la un moment dat se poate ajunge la un nivel critic al dezvoltării, când volumul de muncă necesar restabilirii sistemului este egal cu volumul de muncă consumat pentru producerea aceluiași sistem, situație care nu poate fi acceptată. Înlăturarea unei astfel de situații se poate realiza acționându-se pentru creșterea continuă a fiabilității unui produs în paralel cu dezvoltarea sa tehnologică. Pe de altă parte, având în vedere caracterul de masă al producției unor sisteme complexe și modificarea cerințelor generate de progresul tehnic, se constată că nu totdeauna este necesară atingerea nivelului maxim de fiabilitate, ci importantă este deplasarea acestui nivel către o valoare optimă. Cu alte cuvinte este mai bine să se știe aprioric că un sistem se va defecta cu certitudine după 200 de ore de funcționare decât să se presupună cu o anumită probabilitate, destul de scăzută, că durata de funcționare a acestui sistem este cuprinsă între 200 și 400 de ore. O astfel de concepție se bazează pe controlul cibernetic al fiabilității, control care presupune exprimarea cantitativă și posibilitatea evaluării fiabilității, precum și corelația dintre mijlocele tehnice avute la dizpoziție și nivelul de fiabilitate realizat.

Caracterizarea sistemelor complexe din punct de vedere fiabilistic se poate face în următoarele două moduri:

- considerând sistemul ca un obiect caracterizat de un ansamblu de atribute măsurabile care reprezintă legăturile sale cu exteriorul;
- considerând sistemul ca o structură de subsisteme și/sau elemente având între ele anumite legături.

În prima situație, analiza fiabilității se realizează la nivel global, sistemul fiind caracterizat printr-o mulțime de perechi ordonate de funcții de timp:

$$A = \left\{ X_{[t_0, t]}, Y_{[t_0, t]} \right\} \quad (1)$$

care satisfac condiția de concatenaritate [11].

Dacă numim pe  $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  vector de intrare și pe  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_p)$  vector de ieșire rezultă că sistemul este în esență format dintr-o mulțime de perechi intrare-ieșire și poate fi descris matematic, la nivel global de dependența funcțională dintre cei doi vectori cu ajutorul relației:

$$Y = A(X) \quad (2)$$

unde  $A$  este un operator.

În cea de-a doua situație, când analiza se realizează la nivel structural, sistemul este modelat pe baza interconexiunii dintre subsistemele sale componente considerate la rândul lor ca obiecte abstracte. În aceste condiții, pentru scrierea dependenței funcționale dintre vectorul de intrare și vectorul de ieșire, se va ține seama de o mulțime de variabile interne ale sistemului, variabile care formează vectorul de stare asociat acestuia. Într-o reprezentare grafică, dependența dintre vectorul de intrare și vectorul de ieșire este prezentată în figura 2. Pentru aceasta s-a făcut apel la un model „formalizat” al sistemului, care în cazul de față este modelul „structurat” potrivit căruia sistemul complex este descompus în două subsisteme, ceea ce permite punerea în evidență a vectorului de stare  $S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ .

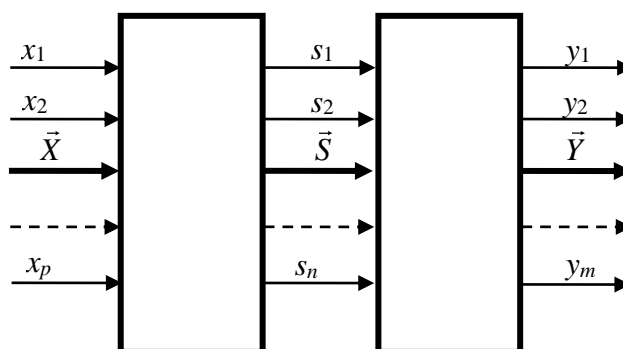


Fig. 2. Modelul structurat al unui sistem complex

Descrierea matematică a sistemului exprimată la nivel structural se realizează cu ajutorul ecuațiilor canonice de stare:

$$\begin{aligned} \dot{S} &= f(t, S, X); \\ Y &= g(t, S) \end{aligned} \quad (3)$$

Conform ecuațiilor canonice de stare, vectorul de stare determină complet vectorul de ieșire, dependența ieșirii de intrare manifestându-se exclusiv prin intermediul vectorului de stare, dar numai în cazul unei alegeri juste a variabilelor de stare.

Vectorul de intrare  $X$  este caracterizat de mărimile  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , care pot fi interpretate ca mulțime a solicitărilor la care este supus sistemul din interior, ca urmare a funcției îndeplinite de către acesta, sau din exterior datorită mediului, solicitărilor utile sau perturbatoare.

Vectorul de ieșire  $Y$  este determinat de mărimile  $y_1, y_2, \dots, y_p$ , care pot fi asimilate cu performanțele sistemului.

Vectorul de stare  $S$  este caracterizat de mărimile  $s_1, s_2, \dots, s_n$ , mărimi care se identifică cu valorile parametrilor subsistemelor sau elementelor sistemului și care mediază dependența dintre vectorul de intrare și vectorul de ieșire; aceste mărimi pot fi de natură dimensională, mecanică, electrică, chimică, etc.

Particularizând la mașinile de ridicat, variabilele de intrare se asimilează cu sarcina efectivă la cârlig, cu umiditatea, temperatura și salinitatea mediului ambiant, cu efectele acțiunii vântului etc., iar variabilele de ieșire, cu sarcina maximă de ridicare, cu viteza de ridicare sau coborâre, cu raza maximă de acțiune, etc. Variabilele vectorului de stare se identifică cu valorile parametrilor elementelor și subsistemelor componente, datorită faptului că acești parametri de fiabilitate sunt cei care mediază dependența funcțională dintre vectorul de intrare și vectorul de ieșire.

Elaborarea modelului matematic al fiabilității mașinilor de ridicat presupune și precizarea tipului de dependență dintre variabilele care definesc modelul. Această dependență nu poate fi decât stohastică, dat fiind faptul că evoluția în timp a mașinilor de ridicat nu poate fi în întregime previzibilă, chiar dacă solicitările la care sunt supuse sunt constante sau controlabile.

Pentru a avea o imagine completă a modelării fiabilității sistemelor complexe trebuie să se precizeze modul în care se efectuează analiza cantitativă a modelului adoptat și în acest sens pot fi menționate următoarele două modalități posibile de abordare a acestei analize cantitative:

- luând în considerație toată mulțimea de procese aleatorii asociate parametrilor și performanțelor sistemului;
- utilizând noțiunea de defectare.

În cadrul lucrării de față s-a adoptat cea de-a doua modalitate care este mult mai comodă prin faptul că utilizarea noțiunii de defectare restrânge spațiul multidimensional al performanțelor la o singură dimensiune, evitându-se în acest fel volumul mare de calcul determinat de studiul simultan al celor „ $p$ ” procese aleatorii specifice vectorului de ieșire și al celor „ $n$ ” procese, de asemenea aleatorii, care caracterizează vectorul de stare.

În acest context, așa cum se arată în [13], dacă considerăm, de exemplu, productivitatea ca fiind una dintre caracteristicile de ieșire a unui sistem „mașină de ridicat”, se poate trasa diagrama din figura 3.

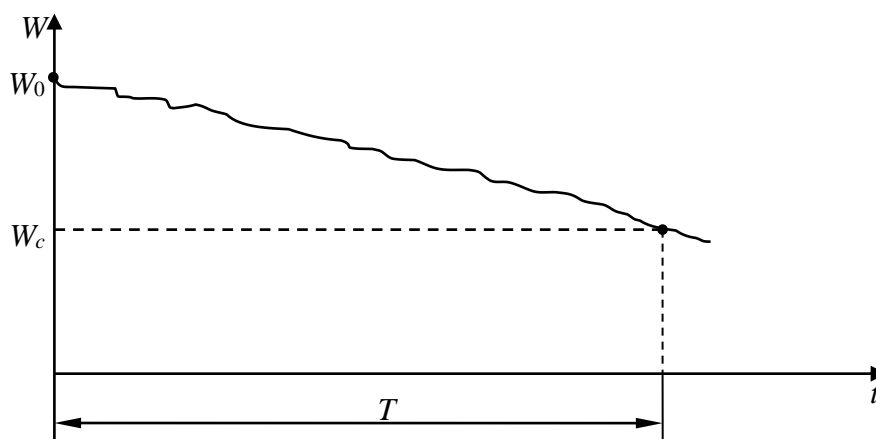


Fig. 3. Evoluția în timp a productivității unui sistem „mașină de construcții”

În această diagramă se observă că în timpul exploatării mașinii, productivitatea, care variază aleator, poate atinge o valoare critică  $W_c$ , când se poate considera mașina ca fiind în stare defectă. Dacă generalizăm, la nivelul întregului sistem, acesta se poate considera în stare defectă atunci când oricare dintre caracteristicile vectorului de ieșire atinge valoarea limită, considerată admisibilă, ceea ce permite exprimarea fiabilității la nivel global a sistemului, fără ajutorul procesului vectorial aleatoriu, ci pe baza variabilei aleatorii continue  $T$ , numită timp de bună funcționare.

În mod similar se poate proceda la evaluarea fiabilității unui sistem, la nivel structural, apelându-se la noțiunea de defectare. În acest caz, se înlocuiesc procesele aleatoare asociate elementelor componente cu timpii de bună funcționare ai aceluiași elemente, luând însă în considerație relațiile acestora cu timpul de bună funcționare al întregului sistem.

În concluzie, modelarea fiabilității mașinilor de ridicat se poate face la nivel global, ignorând structura acestora, sau la nivel structural, luând în considerație elementele componente și legăturile dintre ele. În ambele situații se impune adoptarea unui model, analiza globală efectuându-se pe baza timpului de bună funcționare al mașinii, iar analiza structurală, pe baza timpilor de bună funcționare ai elementelor componente ale mașinii.

#### BIBLIOGRAFIE

- [1] Baci, Em. - Tehnologia reparării automobilelor, vol. I și II, curs litografiat, I.I.S. Pitești și Universitatea București, 1979 - 1980.
- [2] Baci, Em., Boroiu, Al. - Bazele managementului întreținerii și reparării utilajelor, Editura Intact, 1997.
- [3] Barlow, R.E., Proschan, F. - Statistical Theory of Reliability and Life Testing. Probability Models. Holt, Rinehart and Winston, New-York, 1975.
- [4] Baron, T. - Calitatea și fiabilitatea produselor, E.D.P., București, 1976.
- [5] **Bucurescu, C.** - *Politici optimale de mentenanță a mașinilor de ridicat*. Referat doctorat, I.C.B., 1994.
- [6] Cătuneanu, V.M., Mihalache, A. - Bazele teoretice ale fiabilității, Editura Academiei, 1983.
- [7] Ceaușu, I., ș.a. - Organizarea și conducerea activităților de întreținere și reparații, Editura Tehnică, București, 1980.
- [8] Gnedenko, B., Beliaev, Y., Soloviev, A. - Méthodes mathématiques en théorie de la fiabilité, Editions Mir, Moscou, 1972.
- [9] Iosifescu, M. ș.a. - Elemente de modelare stohastică, București, Editura Tehnică, 1984.
- [10] Mihoc, Gh., Niculescu, P. Șt. - Procese stohastice de reînnoire, Editura Academiei, București, 1982.
- [11] Nițu, V. - Fiabilitatea sistemelor energetice, Editura Tehnică, București, 1975.
- [12] Tudor, A., ș.a. - Durabilitatea și fiabilitatea transmisiunilor mecanice, Editura Tehnică, București, 1988.
- [13] Zevedei, N.I. - Cercetări în domeniul fiabilității și mentenabilității mașinilor de construcții. Teză de doctorat, I.C.B., 1986.
- [14] Zevedei, N.I. - Tehnologia fabricării și reparării utilajului tehnologic, I.C.B., 1984.