

FIABILITATEA SISTEMELOR COMPLEXE CU INFORMAȚIE INCOMPLETĂ

Prof. dr. Ion Săcuiu
Lector Maria Enăchescu
Iulian Mircea

Academia de Științe Economice

Rezumat. Promovarea pe piață a unui produs de folosință îndelungată necesită însoțirea acestuia de un certificat de calitate și fiabilitate, elaborat pe baza unui studiu. Cum este practic imposibil de realizat un lot reprezentativ care să funcționeze în condiții reale de exploatare, datorită cheltuielilor mari de obținere a informației și a duratei mari de experimentare, noi, printr-un proces de simulare descris în lucrare, am obținut datele necesare pentru estimarea riscului de avarie, a duratei de funcționare, a cheltuielilor din perioada de garanție și post-garanție etc. De asemenea, pornind de la informația incompletă, obținută în perioada de garanție și o scurtă perioadă de postgaranție, printr-un model determinist prezentat în lucrare am obținut estimări ale elementelor menționate anterior pe care le-am comparat cu rezultatele simulării. Calculele și prelucrările datelor s-au efectuat prin programe pe care le-am scris în FORTRAN și pe care le dezvoltăm pentru a elimina orice fază manuală în vehicularea informației existente.

Cuvinte cheie: fiabilitate, informație incompletă, risc de avarie, simulare, variabile de stare, funcție de structură, estimare.

Scopul lucrării constă în determinarea fiabilității unor bunuri de folosință îndelungată sau a unor componente importante ale acestora. Dificultatea studiului este dată de faptul că este practic imposibil să se constituie un lot experimental reprezentativ, asupra căruia să se facă observații exacte în condiții concrete de exploatare la beneficiari, pe întreaga perioadă de funcționare a echipamentului respectiv. Se pot utiliza doar informații trunchiate pentru un eșantion dat în perioada de garanție și, eventual, date pentru o componentă importantă și în perioada de postgaranție, când componenta este urmărită cu fișe în fabrică. Rezultatele obținute pe baza datelor disponibile furnizate de fabrică se extrapolează, urmînd a fi validate pe baza funcționării efective.

Pe baza estimărilor făcute se pot obține informații asupra cheltuielilor necesare pentru asigurarea funcționării produsului pe o perioadă dată și se pot stabili stocurile medii optime de componente necesare înlocuirii celor defecte (în condițiile în care nu se poate renunța la un echipament cu valoare ridicată din cauza defectării unei componente cu valoare mult inferioară produsului).

Modelul este aplicat în studiul fiabilității frigiderelor și congelatoarelor, considerate ca echipamente și ca sisteme de componente, precum și la studiul fiabilității

motocompressoarelor, ca principală componentă a frigiderelor și congelatoarelor, pe date furnizate de întreprinderea de frigidere Găești.

Prima parte, referitoare la motocompressoare, utilizează date înregistrate în fabrică pentru perioada de garanție (24 luni) și postgaranție (12 luni), astfel: Luna....anul....(j)

Luni de funcționare t	1 2 ... t ... 24 25 ... 36
Număr total compresoare defectate în luna j	$h^j(t)$
Tipuri de defecțiuni	
1	.
2	.
...	...
i $h_i^j(t)$
...	.
p	.

Se numerotează lunile începînd de la un moment inițial $j = 1, 2, \dots$ înregistrările făcîndu-se pe parcursul a cîțiva ani consecutivi. Pentru momentele în care nu se dispune de înregistrări se consideră $h^j(t) = 0$.

Se dispune, de asemenea, de înregistrarea producției lunare a fabricii, pe o perioadă anterioară de cel puțin 36 de luni:

Luna k	-35 ... -2 -1 0 1 2 ...
Producția $n^k(0)$	

Se presupune că producția este livrată imediat și echipamentul intră în funcțiune chiar în luna de fabricație.

Fie: $h^k(t)$ - numărul motocompressoarelor din producția lunii k, defectate după t luni de funcționare; ele se regăsesc în datele provenite de la fabrică cu $k = j - t$.

$n^k(0)$ - producția lunii k;

$n^k(t)$ - numărul de compresoare din producția lunii k rămase în stare de funcționare după t luni (numărul de supraviețuitori); evident: $n^k(t) = n^k(t-1) - h^k(t)$

Se estimează coeficientul de mortalitate al lunii k, după

$$t \text{ luni de funcționare: } \alpha_t^k = \frac{h^k(t)}{n^k(0)}$$

Se estimează coeficientul mediu de mortalitate după t

$$\text{luni de funcționare: } \bar{\alpha}_t = \frac{\sum_{k \in J} \alpha_t^k}{\text{card } J}, \text{ unde } j = \{k \mid \alpha_t^k \neq 0\}$$

Datele fiind incomplete, pe baza coeficienților medii de mortalitate se estimează valorile pentru numărul motocompressoarelor din producția lunii k defectate după t luni de funcționare, acolo unde lipsesc

înregistrările. Se completează astfel datele:

$$h^{*k}(t) = \begin{cases} h^k(t) & \text{dacă } h^k(t) \neq 0 \\ \bar{\alpha}_t \cdot n^k(0) & \text{dacă } h^{*k}(t) = 0 \end{cases}$$

De aici, urmează studiul clasic pentru estimarea funcției de fiabilitate și a riscului de avarie pentru producția de motocompresoare a lunii k:

$$R^k(t) = \frac{n^k(t)}{n^k(0)} \quad (\text{funcția de fiabilitate pentru producția lunii k});$$

$$F^k(t) = 1 - R^k(t) \quad (\text{funcția de repartiție a duratei de viață pentru producția lunii k});$$

$$f^k(t) = F^k(t) - F^k(t-1) \quad (\text{densitatea de probabilitate a duratei de viață pentru producția lunii k});$$

$$\lambda^k(t) = \frac{h^{*k}(t)}{R^k(t-1)} \quad (\text{riscul de avarie pentru producția lunii k}).$$

Estimarea fiabilității echipamentului pentru fiecare lună de producție dă posibilitatea aprecierii influenței condițiilor concrete de producție din luna respectivă (materii prime, tehnologii, calitatea subsansamblelor etc.) asupra calității producției, cu concluziile de rigoare. ([1], [2], [4])

Calculul coeficienților medii de mortalitate $\bar{\alpha}_t$ pe perioada de garanție și postgaranție constituie o estimare a densității medii de repartiție a duratei de viață a echipamentului, care are avantajul că nu depinde de luna de fabricație (a cărei calitate variază sensibil).

Luînd $\bar{\alpha}_t = \bar{f}(t)$ se estimează $\bar{F}(t) = \sum_{u=1}^t \bar{f}(u)$,

$$\bar{R}(t) = 1 - \bar{F}(t), \bar{\lambda}(t) = \frac{\bar{R}(t-1) - \bar{R}(t)}{\bar{R}(t-1)}. \text{ Din reprezen-}$$

tarea grafică se poate admite că funcția de fiabilitate

$$\text{este lineară } R(t) = \begin{cases} 1 - \frac{t}{\theta}, & t \in [0, \theta] \\ 0, & t > \theta \end{cases}$$

În acest caz, durata medie de viață estimată este

$\bar{T} = \frac{\hat{\theta}}{2}$ cu parametrul θ estimat prin metoda celor mai mici pătrate prin:

$$\hat{\theta} = \frac{\sum_t t^2}{\sum_t t - \sum_t t \bar{R}(t)}$$

Observînd din graficul pentru $\bar{\alpha}_t$ că, în primele 12 luni riscul de defectare are valorile cele mai ridicate, iar din graficul lui că $\bar{R}(t)$ în primele 12 luni valorile sale descresc mai rapid, se poate admite o funcție de

$$\text{fiabilitate de forma } R(t) = \begin{cases} 1 + a_1 t & , t \in [0, \theta_1] \\ b_2 + a_2 t & , t \in [\theta_1, \theta_2] \\ 0 & , t > \theta_2 \end{cases}$$

cu a_1, a_2 , și b_2 estimați prin metoda celor mai mici pătrate astfel:

$$a_1 = \frac{\sum_{t=1}^{12} t \bar{R}(t) - \sum_{t=1}^{12} t}{\sum_{t=1}^{12} t^2};$$

$$a_2 = \frac{\left[\sum_{t=13}^{36} t \bar{R}(t) \right] \left[\sum_{t=13}^{36} t \right] - \left[\sum_{t=13}^{36} t^2 \right] \left[\sum_{t=13}^{36} \bar{R}(t) \right]}{\left[\sum_{t=13}^{36} t \right]^2 - \left[\sum_{t=13}^{36} 1 \right] \left[\sum_{t=13}^{36} t^2 \right]}$$

$$b_2 = \frac{\left[\sum_{t=13}^{36} \bar{R}(t) \right] \left[\sum_{t=13}^{36} t \right] - \left[\sum_{t=13}^{36} 1 \right] \left[\sum_{t=13}^{36} t \bar{R}(t) \right]}{\left[\sum_{t=13}^{36} t \right]^2 - \left[\sum_{t=13}^{36} 1 \right] \left[\sum_{t=13}^{36} t^2 \right]}$$

Durata medie de viață este în acest caz

$$\bar{T} = \theta_1 + \frac{a_1 \theta_1^2}{2} + \frac{a_2}{2} (\theta_2^2 - \theta_1^2) + b_2 (\theta_2 - \theta_1).$$

Un studiu asemănător se face pe componente sau tipuri de defecțiuni. Se împart tipurile de defecțiuni în trei categorii: electrice, mecanice și alte defecțiuni și se notează:

$$h_c^k(t) = \sum_{i \in I_c} h_i^k(t); h_m^k(t) = \sum_{i \in I_m} h_i^k(t); h_a^k(t) = \sum_{i \in I_a} h_i^k(t),$$

respectiv numărul compresoarelor din producția lunii k avînd defecțiuni de tip electric, mecanic sau alte defecțiuni, apărute după t luni de funcționare. În mod analog studiul totalului defecțiunilor, se estimează coeficienții medii de mortalitate $\bar{\beta}_t, \bar{\gamma}_t, \bar{\delta}_t$ pentru defecțiuni de tip electric, mecanic, respectiv alte defecțiuni. Pe baza lor se estimează funcțiile de fiabilitate medii pentru componentele de tip electric, mecanic și altele:

$$R_e(t) = 1 - \sum_{s=1}^t \bar{\beta}_s;$$

$$R_m(t) = 1 - \sum_{s=1}^t \bar{\gamma}_s; R_a(t) = 1 - \sum_{s=1}^t \bar{\delta}_s.$$

Studiul s-a efectuat pe datele avute la dispoziție privind anii 1986 - 1988 și ianuarie - iunie 1989, rezultatele fiind

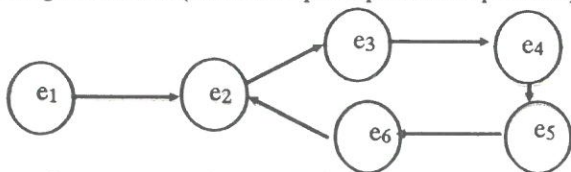
prezentate prin tabele pentru fiecare lună de fabricație și lună de funcționare pentru perioada de garanție, grafice pentru riscul de avarie, densitățile medii ale duratelor de viață pentru componente și funcțiile de fiabilitate medii. De asemenea, în cazul funcției de fiabilitate lineare pentru durata medie de viață a compresoarelor s-a determinat o estimare de 95 luni \approx 8 ani, iar pentru funcția de fiabilitate lineară pe porțiuni s-a estimat durata medie de viață la 285 luni \approx 23,7 ani. Studiul conduce la o ierarhizare a tipurilor de defecțiuni prin ponderea lor în totalul defecțiunilor (în cazul concret constatându-se ponderea mare a defecțiunilor de tip mecanic între 52% și 63%, urmate de cele electrice între 22 - 30%).

De asemenea, se pot estima frecvențele absolute D_e , D_m și D_a și frecvențele relative (D_e/D , D_m/D , D_a/D unde $D = D_e + D_m + D_a$) care relevă o stabilitate a fiecărui tip de defecțiune în totalul defecțiunilor. Se observă că la "alte defecțiuni" se reflectă calitatea operațiunilor de montare, care dau un procent semnificativ de defecte (11 - 20%), procent ce poate fi redus considerabil prin măsuri adecvate de organizare a procesului de producție.

La studiul echipamentului complet (frigider, congelator) datele sînt înregistrate în unitățile Service ale întreprinderii numai pentru perioada de garanție. La înregistrare apare și o categorie aparte, aceea a aparatelor cu informație incompletă (la care perioada de funcționare nu e precis determinată, fără factură, cu întârzieri în livrare etc.). Ele au fost distribuite pe întreaga perioadă de 24 de luni, proporțional cu frecvențele de defectare ale lunii respective, studiul desfășurându-se apoi conform modelului anterior.

Utilizînd rezultatele de care dispunem asupra funcției de repartiție a duratei de funcționare $F_i(t)$ a funcției de fiabilitate $R_i(t)$ a intensității de avarie $\lambda_i(t)$ atașate componentei e_i dintr-un sistem complex φ și atașînd sistemului o funcție de structură, putem să evaluăm fiabilitatea sistemului printr-un proces de simulare. Fie x_i variabila de stare a componentei e_i și y variabila de stare a sistemului. Atunci $y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_r)$ este funcția de structură.

Din schema de funcționare a frigiderelor și congelatoarelor (limitată la principalele componente)



rezultă o structură în serie de forma:

unde: e_1 - termostat; e_2 - motocompresor; e_3 - condensator; e_4 - filtru; e_5 - tub capilar; e_6 - vaporizator.

Funcția de structură este: $\varphi(x_1, x_2, \dots, x_6) = \prod_{i=1}^6 x_i$

funcția de fiabilitate: $R(t) = \prod_{i=1}^6 R_i(t)$; intensitatea de

avarie: $\lambda(t) = \sum_{i=1}^6 \lambda_i(t)$

În prelucrare s-a avut în vedere și o structură agregată unde e_3, e_4, e_5 , și e_6 formează un singur modul, ([3]). Simularea s-a efectuat în ipoteza că duratele de funcționare ale componentelor ei sînt variabile aleatoare de tip exponențial:

$$R_i(t) = e^{-\nu\lambda_i}, t > 0, \lambda_i > 0$$

Rezultatele simulării sugerează o relativă stabilitate a frecvenței defectelor, atît pe total, cît și pe componente. Raportul defecțiunilor din totalul experimentelor oferă posibilitatea stabilirii cheltuielilor de repunere în funcțiune a sistemului în perioada de garanție și postgaranție fixată. Se poate stabili o ierarhizare a defecțiunilor după componente, de unde rezultă ponderea cheltuielilor pe componente, dat fiind faptul că valoarea unitară a componentelor este diferită, unele avînd pondere foarte ridicată în raport cu valoarea produsului finit, ([5],[6]).

Din concluziile primei părți a studiului (asupra motocompressoarelor), întrucît durata medie de funcționare rezultată are o valoare foarte mare, am apreciat că este adecvată o simulare a experimentului trunchiat. Pornind de la estimarea funcției de fiabilitate

$R(t) = e^{-\nu\lambda_i}$, prin simulare se obțin duratele de funcționare $t_m^{(j)}$, $m = 1, 2, \dots, M$ și, deci,

$$\text{probabilitățile de defectare } \hat{p}_i = \frac{\sum_{j=1}^N N_i^{(j)}}{N \cdot M}$$

unde $N_i^{(j)}$ este numărul de valori $t_m^{(j)}$ ce aparțin intervalului $[i-1, i]$, și N este numărul de serii de cîte M

observații. De aici, $\hat{R}(k) = 1 - \sum_{i=1}^k \hat{p}_i$ și $\hat{T} = \frac{\hat{\theta}}{2}$, unde

$$\hat{\theta} = \frac{\sum_{k=1}^{36} K^2}{\sum_{k=1}^{36} K - \sum_{k=1}^{36} K \hat{R}(k)}$$

(obținut prin metoda celor mai mici pătrate).

$$\text{Calculînd frecvențele medii } \bar{N}_i = \frac{\sum_{j=1}^N N_i^{(j)}}{N}$$

și cunoscînd cheltuielile unitare C de înlocuire a unui motocompresor, se pot obține cheltuielile medii pe

luna de funcționare i : $C(i) = C \cdot \bar{N}_i$ sau cheltuielile medii aferente pentru perioada de garanție;

$$C(1-24) = C \sum_{i=1}^{24} \bar{N}_i \quad \text{respectiv pentru perioada de}$$

$$\text{postgaranție: } C(25-36) = C \sum_{i=25}^{36} \bar{N}_i .$$

Simularea duratei medii de funcționare a unui motocompresor s-a făcut pentru $N = 100$ serii a câte $M = 500, 1000, 2000$ observații obținându-se frecvențele medii de defectare: 63,24 ; 62,89 ; 63,04 în intervalul 1 - 24 luni și 28,88 ; 27,46 ; 27,64 pentru intervalul 25 - 36 luni, iar duratele medii de funcționare: 95,549 luni ; 96,673 luni ; 96,325 luni adică aproximativ 8 ani.

Modelul poate fi adaptat și aplicat la orice tip de echipament sau sistem complex, în funcție de înregistrările statistice de care se dispune.

Bibliografie

1. CĂTUNEANU V.M., MIHALACHE A. - *Bazele teoretice ale fiabilității*, Editura Academiei, București, 1978.
2. DETHOOR J.M., GROBOILLOT J.L. - *La vie de l'équipement. Investissement, renouvellement, maintenance*, Editura Dunod, Paris, 1968.
3. KAUFMANN A., GROUCHKO D., CRUON R. - *Modèles mathématiques pour l'étude de la fiabilité des systèmes*, Editura Masson & Co., Paris, 1975.
4. MIHOC GH., MUJA A., DIATCU E. - *Bazele matematice ale teoriei fiabilității*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1967.
5. SĂCUIU I., ZORILESCU D., - *Numere aleatoare. Aplicații în economie, industrie și studiul fenomenelor naturale*, Editura Academiei, București, 1978.
6. VĂDUVA I. - *Modele de simulare cu calculatorul*, Editura tehnică, București, 1977.