

1. INTRODUCERE

1.1. Aspecte generale. Definiții [1, 6, 13, 17, 22, 27, 32]

Fiabilitatea a apărut ca efect al importanței deosebite pe care au căpătat-o problemele *siguranței în funcționare* a echipamentelor industriale, dispozitivelor și componentelor, constituind în prezent, o tehnică de vârf indispensabilă inginerilor. Funcționarea unui produs este limitată de apariția unei abateri sau a unui *defect*. Din acest punct de vedere, fiabilitatea poate fi privită și ca o știință a defectărilor. Fiabilitatea reprezintă astfel aptitudinea unui produs de a funcționa fără a se defecta. Matematic este posibil să se prevadă cu un anumit grad de certitudine comportarea unui produs în anumite condiții de utilizare stabilite.

Noțiunea de fiabilitate este tot mai frecvent întâlnită în tot mai multe domenii. Ce semnificație are acest termen? Termenul fiabilitate este un neologism provenit din limba franceză unde adjectivul "fiable" (arhaism utilizat de canadienii de origine franceză pentru a traduce termenul similar anglo-saxon) înseamnă *demn de încredere* sau *în care te poți încrede* de la care a derivat substantivul fiabilitate. Literatura anglo-saxonă care a introdus multe notații unanim acceptate, utilizează termenul "reliability" derivat din verbul "to rely" care înseamnă *a conta pe* sau *a se încrede în cineva sau ceva*. În limbile rusă (nadejnosti) și germană (Zuverlässigkeit) termenii au înțelesul de siguranță. Fiabilitatea unui produs reprezintă deci acea însușire care ne sugerează idea de încredere și siguranță. De asemenea, în comparație cu un alt produs, se poate utiliza expresia , mai fiabil sau mai puțin fiabil.

Fiabilitatea este unul din elementele esențiale ale calității unui produs. *Calitatea* reprezintă totalitatea proprietăților și caracteristicilor necesare unui produs referitoare la aptitudinea acestuia de a îndeplini cerințele pentru care a fost realizat. În cazul particular al unui sistem tehnic, prin calitate se înțelege gradul în care sunt îndeplinite proprietățile și cerințele funcționale, operaționale și fizice de către acesta, stabilite corespunzător scopului utilizării. Dintr-un anumit punct de vedere, calitatea poate fi considerată ca o *insușire statică* de satisfacere a unor condiții într-un anumit moment, în timp ce fiabilitatea este o calitate în timp sau o *insușire dinamică*. Din acest punct de vedere fiabilitatea reprezintă o nouă dimensiune a calității, o componentă în timp a calității.

Noțiunea de fiabilitate poate fi privită sub două aspecte: calitativ și cantitativ.

- a) Calitativ, fiabilitatea reprezintă aptitudinea unui produs de a-și îndeplini funcția specificată în condiții date de-a lungul unei durate impuse.
- b) Cantitativ, fiabilitatea reprezintă caracteristica unui produs exprimată prin probabilitatea îndeplinirii funcției impuse pe o durată dată T_f , mai mare decât intervalul de timp L , prescris, în condiții de funcționare specifice, adică:

$$R(L) = P(T_f > L). \quad (1.1)$$

Această definiție conține cinci concepte fundamentale:

- *Conceptul de caracteristică*. Fiabilitatea este o caracteristică a unui produs, poate fi determinată și caracterizată, la fel ca și celelalte caracteristici tehnice (putere, turație etc.), printr-o anumită valoare.
- *Conceptul de probabilitate*. Fiabilitatea reprezintă o probabilitate și deci o valoare cuprinsă între 0 și 1. Fiind o probabilitate nu poate fi măsurată direct

1. Introducere

așa cum se procedează în cazul altor mărimi fizice, ci se determină pe baza metodelor statisticii matematice și a teoriei probabilităților.

- *Conceptul de funcție.* Fiabilitatea presupune satisfacerea unei funcții, a îndeplinirii unei misiuni sau cerințe. Acest lucru implică definirea exactă a funcției pe care trebuie să o realizeze și, de asemenea, precizarea în unele cazuri a stării de nefuncționare.
- *Conceptul de durată de funcționare.* Fiabilitatea presupune o durată de bună funcționare exprimată în unități de timp (ore, zile, ani etc.) sau în număr de cicluri, conectări, manevre etc.
- *Conceptul de condiții de funcționare* (de utilizare și de mediu) reprezintă ansamblul condițiilor de exploatare pentru care a fost proiectat produsul. Se face observația că în multe cazuri noțiunea de fiabilitate nu este interpretată corect, mai ales atunci când valoarea fiabilității este abordată prin prisma unor încercări de laborator în care solicitările nu sunt corelate cu cele din utilizarea normală.

Durabilitatea dispozitivului, considerat în mod individual, este variabila aleatoare T_f din relația (1.1), semnificând durata efectivă de funcționare fără defecțiuni.

Durabilitatea unei populații, formată din elemente (dispozitive) identice și cu aceleași condiții de funcționare, este perioada de timp L în care fiabilitatea scade până la o valoare limită dată (care în cazul rulmenților este, în mod uzual, de 90%). Se observă că durabilitatea este inversa funcției de fiabilitate (1.1).

Defectarea, denumită și defecțiune sau cădere, reprezintă evenimentul fundamental din teoria fiabilității și anume încetarea aptitudinii unui dispozitiv de a-și îndeplini funcțiunea specificată.

În raport de consecințe, defectările pot fi:

- minore, dacă sunt remediabile ușor, neîmpiedicând funcționarea sistemului, ca de exemplu zgârierea vopselei, dar pot influența costul vânzării produsului;
- majore, dacă întrerup îndeplinirea funcțiunii de bază, însă nu au implicații legale;
- critice, dacă pot avea consecințe periculoase pentru om sau mediul ambiant, ca de exemplu defectarea echipamentului de frânare al unui automobil.

Statistica defectărilor a relevat, că, la transmisiile staționare cu roți dințate, danturile au frecvența de defectare cea mai mare (v. tabelul 1.1) și, prin urmare, au o influență determinantă asupra fiabilității acestui tip de transmisie. Astfel de statistici au fost realizate în principal de societățile de asigurare (v. de ex. Allianz Handbuch) în scopul stabilirii primelor de asigurare în corelație cu fiabilitatea.

Tabelul 1.1. Frecvența defectărilor componentelor transmisiilor cu roți dințate

Elemente componente	Roți dințate	Lagăre	Arbori	Alte elemente constructive
Frecvența defectărilor	40-60%	12,5%	6,4%	9,7%

Deteriorarea reprezintă procesul de modificare treptată a parametrilor constructivi și funcționali de care depinde funcționarea corectă a sistemului. În cazul sistemelor mecanice, fenomenele de deteriorare constă în: deformări, ruperi, neetanșeități, modificări ale materialului etc. Defectarea se produce când se atinge valoarea limită a unuia dintre

1. Introducere

procesele de deteriorare care afectează sistemul (v. fig. 1.1).

Pentru unele procese de deteriorare, ca de exemplu fisurarea, deteriorarea limită este stabilită univoc, pe baza criteriului scoaterii din uz. În alte cazuri, se utilizează limite convenționale, de exemplu, existența pittingului pe 2% din suprafața activă a flancurilor dinților. Depășirea acestora nu determină defectarea propriu-zisă, însă mărește nepermis de mult riscul producerii acesteia.

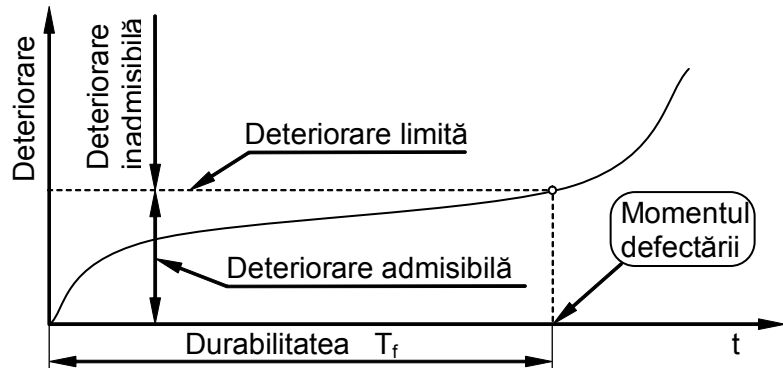


Fig.1.1. Legătura dintre deteriorare și defectare

Pentru sisteme mecanice importante producerea defectării poate fi prognozată prin evaluarea periodică a gradului de deteriorare sau, în mod indirect, prin diagnosticare vibro-acustică bazată pe corelația dintre procesele de deteriorare primare și emisia de vibrații și zgomot.

Interpretarea corectă a definiției fiabilității este deosebit de importantă mai ales în proiectarea unor încercări determinative de fiabilitate. Deocamdată se constată că fiabilitatea ridică mai multe probleme decât reușește să rezolve, dar perfecționarea metodelor de investigație va conduce cu siguranță la transformarea noțiunii de fiabilitate în principala caracteristică a unui produs. Anumite produse necesită o serie de operații de întreținere sau de *mentenanță*. Dacă utilajul este reparabil, se pune problema naturii defectelor și a posibilității de intervenție. Ansamblul tuturor acțiunilor tehnice și organizatorice efectuate în scopul menținerii sau restabilirii funcției specificate se numește mentenanță. Aptitudinea unui produs de a putea fi întreținut sau reparat mai ușor este reprezentată de caracteristica de *mentenabilitate*, sau simplu de mentenabilitate, redată tot printr-o probabilitate. În cazul dispozitivelor reparabile se folosește și noțiunea de disponibilitate care reprezintă probabilitatea îndeplinirii funcției la un anumit moment dat, luând în considerație și probabilitatea repunerii în funcțiune în urma eventualelor defecte. Corelația acestor concepte ca părți ale calității unui sistem mecanic este prezentată în fig. 1.2.

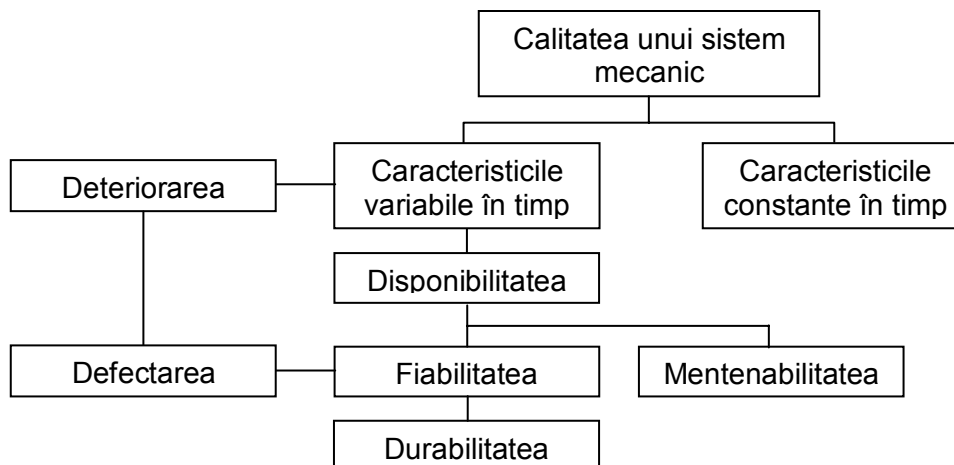


Fig.1.2. Locul fiabilității în cadrul conceptului de calitate

1.2. Conceptul de fiabilitate a unui produs industrial

[1, 3, 9, 12, 16, 17, 18, 22, 32]

Problemele de siguranță în exploatare se pun pentru sistem și pentru element.

Prin *sistem* se înțelege mașina, aparatul, dispozitivul destinat să realizeze anumite funcții. Exemplu: televizorul, mașina unealtă, utilajul de prelucrarea zahărului etc.

Prin *element* se înțelege o parte componentă a sistemului și care îndeplinește o anumită funcție în cadrul acestuia. Exemplu: roata dințată, rulmentul, ambreiajul, motorul electric asincron, pompa hidraulică etc.

În general, orice sistem poate să aibă în componența sa elemente mecanice, electrice, hidraulice sau pneumatice. Realizarea de sisteme mecanice cu fiabilitate ridicată este posibilă numai în cadrul unui sistem coerent de asigurare a fiabilității. Fiabilitatea se poate prezenta în mai multe moduri (categorii). Diversele categorii de fiabilitate pot fi considerate ca niște estimatori ai aceleiași fiabilități reale dar necunoscute. Specialiștii și, în special, proiectanții trebuie să urmărească stabilirea unor relații între acești estimatori în scopul precizării datelor de proiectare. Astfel, în fiecare etapă a ciclului de viață se efectuează evaluări succesive ale nivelului de fiabilitate (v. fig. 1.3) și, dacă este cazul, se iau măsuri pentru mărirea acestuia.

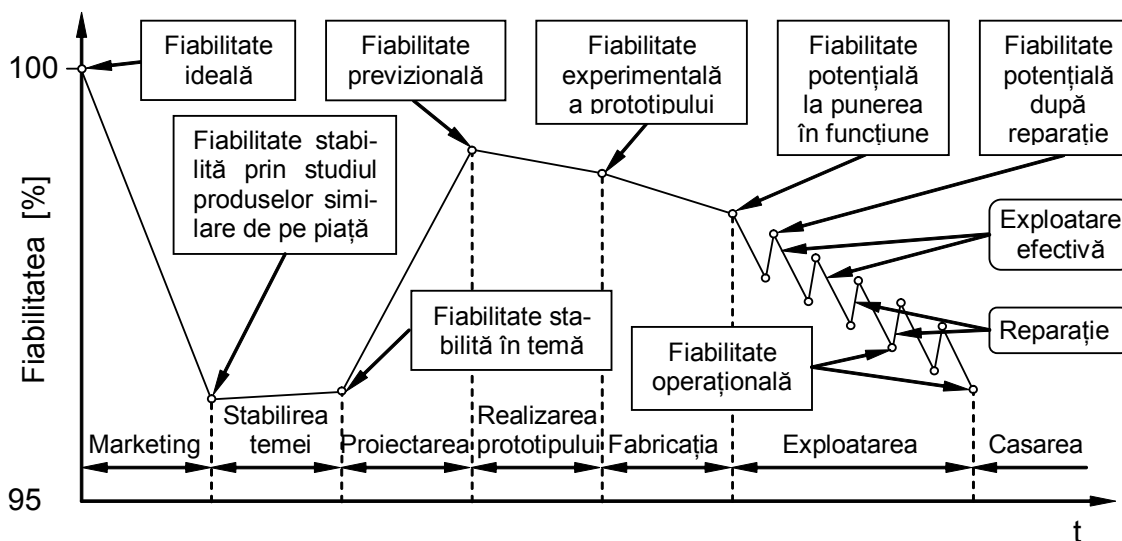


Fig.1.3. Evoluția nivelului de fiabilitate atins în diferite etape ale ciclului de viață al unui sistem mecanic

Conform diagramei rezultă că fiecărei etape a ciclului de viață i se poate asocia câte o categorie de fiabilitate.

- În etapa de planificare a produsului se efectuează studii de marketing și de prognoze, privind nivelul fiabilității produselor similare, realizate de firmele concurente, la data când noul produs va fi lansat pe piață. În urma acestora se stabilește un *nivel al fiabilității cerut de piață*.

- *Fiabilitatea nominală*, stabilită prin temă, este cea pe care viitorul produs trebuie să o evedențieze în funcționare și este inclusă în lista de cerințe care trebuie îndeplinite (în numeroase cazuri fiind specificată în contracte). Factorii de care trebuie să se țină cont la

1. Introducere

stabilirea acestora sunt:

- normele și standardele de siguranță ale oamenilor și ale mediului ambiant;
- fiabilitatea cerută de piață;
- costurile implicate de perioada de garanție acordată;
- optimizarea costurilor suportate de beneficiar.

● *Fiabilitatea previzională* se estimează prin calcul, în faza de proiectare, pe baza structurii sistemului și fiabilităților elementelor constructive componente care, la rândul lor, pot fi determinate experimental sau prin calcul. Nivelul fiabilității previzionale trebuie să fie mai ridicat, decât cel stabilit prin temă, pentru a compensa erorile inerente de estimare a acestuia.

Trebuie precizat că valorile fiabilităților componentelor sunt aproximative, chiar dacă sunt stabilite experimental, pe componente similare. În acest caz, determinările inexacte sunt cauzate, în principal, de diferența dintre modelul încărcării, adoptat pe baza analizei sistemelor de același tip, și încărcarea reală a viitorului produs.

● *Fiabilitatea experimentală* este cea estimată prin prelucrarea observațiilor defectărilor, obținute prin testări efectuate în laborator pe prototip, seria zero și/sau pe piese-epruvetă. Condițiile create în laborator, inclusiv solicitările, trebuie să fie similare cu cele din exploatare, să producă "același mod sau mecanism de defectare și aceeași structură a defectelor".

Încercările pot fi executate:

- la solicitări normale, dacă acestea au nivele apropiate de cele din exploatare;
- la solicitări accelerate, dacă au nivele și frecvențe mai mari decât în exploatare.

Fiabilitatea experimentală trebuie, de asemenea, să aibă un nivel mai ridicat decât cel stabilit prin temă, deoarece condițiile simulate în laborator diferă inerent de cele reale. Pe de altă parte, aceasta reprezintă o estimăție mai precisă decât fiabilitatea previzională cu care se compară. Dacă diferențele sunt prea mari, atunci se modifică soluția constructivă sau cea tehnologică.

Stabilirea fiabilității experimentale ridică probleme deosebite, deoarece componentele sistemelor mecanice sunt produse în serie mică sau sunt unicate (cu unele excepții, ca de exemplu rulmenții) și au costuri mari. Din acest motiv, dacă este neapărat necesară, aceasta se efectuează, în principal, pe eșantioane mici formate din epruvete cu concentrator și, mai puțin, din piese - epruvetă, subansambluri sau chiar ansambluri (prototipul și seria zero). Pe prototip se determină, în special, solicitările reale, iar pe seria zero, modurile tipice de deteriorare și, uneori, media timpului de bună funcționare.

Deoarece durabilitățile sistemelor mecanice și costurile aferente încercărilor sunt foarte mari, se utilizează preponderent testările la solicitări accelerate care reduc în mod considerabil duratele experimentelor.

La încărcări mici, încercările sunt trunchiate la un număr de cicluri suficient de mare pentru a nu se perturba rezultatul, iar duratele și costurile experimentelor să nu fie exagerat de mari.

Eșantioanele experimentale mici și trunchierea testărilor creează dificultăți la prelucrarea și valorificarea rezultatelor. Impedimentele legate de determinarea experimentală a fiabilităților elementelor constructive care compun sistemul impun frecvent limitarea la metodele teoretice de estimare ale fiabilității previzionale, chiar dacă, în prezent, acestea au o precizie scăzută.

● *Fiabilitatea potențială* este cea evaluată la punerea în funcțiune a produsului.

1. Introducere

Aceasta se hotărăște încă din faza de proiectare (prin soluția constructivă adoptată), iar fabricația nu face decât să o realizeze la parametri concepuți sau să o coboare prin abaterile tehnologice sau a derogărilor obținute. Fiabilitatea potențială poate fi stabilită experimental pe componente, extrase din fabricația de serie. În general, nu se pot face determinări experimentale și de aceea se utilizează fiabilitatea previzională. Dacă producția este în serie suficient de mare, se efectuează încercări de laborator, în care se urmărește testarea omogenității fabricației și verificarea nivelului fiabilității produselor de serie.

- *Fiabilitatea operațională* este cea valorificată pe baza rezultatelor privind comportarea în exploatare, pe o anumită perioadă de timp, a unui număr mare de exemplare identice, utilizate efectiv de beneficiar. Aceasta reprezintă estimarea cea mai precisă a fiabilității produsului și se compară cu valorile determinate în fazele anterioare, în scopul corectării și ameliorării procedeelelor utilizate. Datorită duratei mari pe care o necesită, prezintă interes doar pentru dezvoltările ulterioare de produse de același tip, deoarece generația de produse studiată ajunge să se perimeze fizic și moral. Observațiile din exploatare sunt efectuate, în principal, de societățile de asigurare și de serviciile de service ale producătorului.

În practica inginerescă se mai utilizează noțiunile de *fiabilitate intrinsecă* - determinată pe baza legăturii dintre solicitarea aplicată și rezistența elementului considerat - și *extrinsecă* - stabilită pe baza prelucrării datelor eșantionate sau analitic cu ajutorul indicatorilor de fiabilitate

1.3. Implicații economice [4, 19]

Criteriul economic stă la baza proiectării sistemelor și subsistemelor a căror defectare nu intră sub incidența legii. În acest caz, fiabilitatea necesară se stabilește din analize de piață, prin comparații cu sisteme deja existente sau optimizări ale costurilor.

Pentru echipamentele complexe, reparabile, paralel cu fiabilitatea trebuie să se ia în considerație și mentenanța. Din punctul de vedere al costurilor, o îmbunătățire a fiabilității unui sistem determină, pe de o parte reducerea costurilor de mentenanță, însă, pe de altă parte, presupune costuri de achiziție cu atât mai mari cu cât se dorește o depășire mai înaltă a nivelului uzual de fiabilitate. Există o zonă de optim economic (cost minim) careia îi corespunde fiabilitatea optimă (R_{opt}). În fig. 1.4, se observă că suma costurilor din etapa de proiectare-dezvoltare și cele de mentenanță atinge o valoare minimă la o fiabilitate care poate fi considerată optimă din punct de vedere economic. Pentru o fiabilitate $R > R_{opt}$, costul investiției este mare în raport cu scopul propus. În anumite cazuri trebuie să se țină seama de cheltuielile (pagubele)

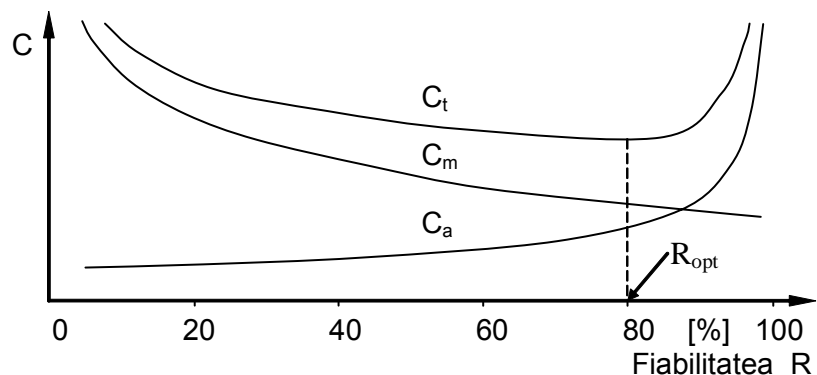


Fig.1.4. Variația costurilor în raport de nivelul de fiabilitate:
 C_a - costuri de achiziție; C_m - costuri de mentenanță; C_t - costuri totale

1. Introducere

provocate de lipsa de fiabilitate. În general, valoarea R_{opt} este inferioară fiabilității tehnic posibile. Trebuie deci să ne așteptăm la un număr de defectări, neneglijabile, pentru a garanta cel mai economic preț al disponibilității și, în consecință, este necesar ca mentenanța să fie definită judicios. În final, fiabilitatea adoptată prin soluția de proiectare reprezintă un compromis între costul fiabilității și mentenanței.

În fig. 1.5 se prezintă principiul care stă la baza optimizării duratei de exploatare a sistemului după criteriul eficienței economice.

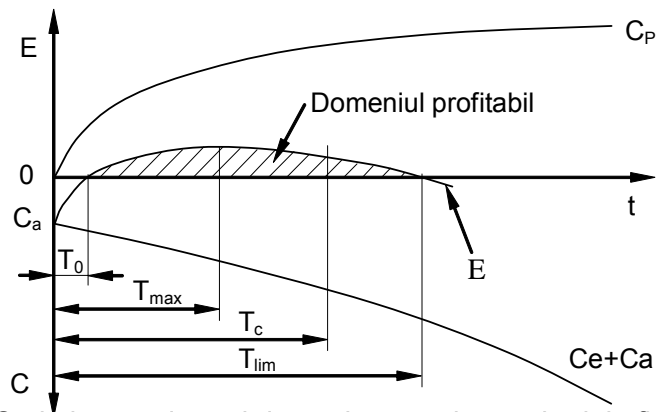


Fig.1.5. Optimizarea duratei de exploatare după criteriul eficienței economice: E-eficiența economică; C_p -câștigul; C_a - costul de achiziție al sistemului; C_e - costul de exploatare; T_0 -momentul când exploatarea devine profitabilă; T_{lim} -momentul limită când utilizarea sistemului devine nerentabilă; T_{max} -momentul profitului maxim; T_c - momentul optim al casării (scoaterii din uz)

Introducând notațiile din figura 1.6, eficiența economică a utilizării sistemului se poate calcula cu relația:

$$E = C_p - (C_a + C_e). \quad (1.2)$$

Se observă că, începând cu momentul T_0 , câștigul ajunge mai mare decât cheltuielile efectuate și exploatarea sistemului devine profitabilă. Aceasta este posibil până în momentul T_{lim} , când câștigul începe să fie depășit de costuri și utilizarea sistemului devine nerentabilă. Momentul optim al casării T_c întrece momentul profitului maxim T_{max} , deoarece acest moment poate fi decelat după ce se produce o scădere vizibilă a eficienței economice.

Un factor care influențează nivelul fiabilității este perioada de garanție pe care producătorul o stabilește din considerente concurențiale, cu asumarea riscului unor cheltuieli de reparație gratuită, limitate de un nivel de fiabilitate suficient de ridicat.