



Universitatea
Transilvania
din Braşov

TEZĂ DE ABILITARE

REZUMAT

CERCETĂRI PRIVIND FIABILITATEA PRODUSELOR INDUSTRIALE

Domeniul: Inginerie industrială

Autor: Conf. Dr. Ing. Cristin – Olimpiu MORARIU

Universitatea *Transilvania* din Braşov

BRAŞOV, 2017

Teza de abilitare, intitulată *Cercetări privind fiabilitatea produselor industriale*, reprezintă o sinteză a activității științifice, profesionale și academice a autorului, în domeniul Ingineriei Industriale, după susținerea tezei de doctorat cu titlul *Optimizarea încercărilor de fiabilitate a rulmenților*, din 19 martie 1999, la Universitatea *Transilvania* din Brașov, teză realizată sub coordonarea prof.univ.dr.ing. Ion POPESCU.

Principalele realizări științifice ale autorului fac obiectul secțiunii intitulată *Realizări științifice și profesionale* și reprezintă partea cea mai consistentă a Tezei de abilitare. Secțiunea debutează cu o introducere în care este realizată o scurtă trecere în revistă a apariției, dezvoltării și evoluției acestui domeniu distinct de cercetare numit fiabilitate. Astfel, sunt evidențiate etapele prin care acest concept a evoluat de la tratarea legilor de degradare și deteriorare a elementelor și sistemelor fizice, la securitatea / asigurarea siguranței în funcționare a acestora, până la abordarea modernă în care fiabilitatea reprezintă calitate peste timp.

Capitolul 1, intitulat *Cercetări privind estimarea parametrilor și indicatorilor de fiabilitate* este organizat în cinci subcapitole.

Primul subcapitol, conține descrierea principalelor instrumente ale ingineriei fiabilității. Este vorba de funcțiile utilizate pentru modelarea diferitelor aspecte ale noțiunii fiabilitate. Tot în acest subcapitol sunt prezentată succint câteva elemente ale teoriei estimației, precum și principalele metode de estimare. Acest subcapitol se încheie cu clasificarea și prezentarea încercărilor de fiabilitate, uzuale, utilizate la colectarea datelor experimentale pentru analiza fiabilității produselor.

Cel de-al doilea subcapitol, intitulat *Cercetări privind estimarea parametrilor și indicatorilor de fiabilitate în cazul repartiției Weibull*, evidențiază câteva contribuții ale autorului în această direcție de cercetare:

- *Studii comparative privind modalitățile de estimare ale parametrului de localizare al repartiției Weibull triparametrice.* În cadrul acestui studiu se propune o metodă de estimare a parametrului de localizare din condiția de maxim a valorii coeficientului de corelație. Validarea metodei este realizată prin considerarea a două exemple, din literatura de specialitate și estimarea punctuală a parametrilor prin metoda propusă, comparativ cu metodele consacrate, particularizate pentru cazul repartiției triparametrice.
- *Proiectarea optimizată a planurilor de încercări.* Modelul matematic al problemei de optimizare este alcătuit dintr-o funcție obiectiv reprezentând costul total al încercării de fiabilitate, precum și un sistem de restricții alcătuit din: numărul maxim al produselor care poate fi montat simultan pe stand și care funcționează pe toată durata încercării în condiții identice de solicitare, tipul încercării efectuate, precizia estimării parametrului de formă, și precizia estimării parametrului de scală. Metoda de optimizare propusă reprezintă, de fapt, o problemă de optimizare neliniară, în numere întregi, a parametrilor r și n , care definesc încercările cenzurate ale produselor.
- *Inferențe statistice în cazul rezultatelor experimentale obținute pe baza încercărilor trunchiate.* Spre deosebire de cazul încercărilor cenzurate sau complete, la care s-au pus la punct tehnici de realizare a inferențelor și verificarea ipotezelor statistice pornind de la estimațiile punctuale ale parametrilor repartiției Weibull, prin utilizarea metodei verosimilității maxime, în situația încercărilor trunchiate, aceste proceduri nu se pot aplica datorită specificului acestui tip de încercare. Determinarea intervalelor de încredere pentru parametrii repartiției Weibull, precum și testarea ipotezelor statistice referitoare la parametrii repartiției se poate face acoperitor, ținând seama de faptul că durata t_c a încercării se poate considera ca fiind cuprinsă între duratele unor încercări cenzurate la nivel r , respectiv $r + 1$ deteriorări și prin utilizarea a două variabile aleatorii independente de parametrii repartiției. Se propune, de asemenea și un algoritm care permite determinarea valorilor acestor variabile aleatorii prin simulare numerică Monte-Carlo.
- *Metode bayesiene de estimare parametrică.* Aceste metode reprezintă o modalitate de ridicare a

preciziei estimărilor bazată pe ideea că, înainte de efectuarea unei încercări de fiabilitate a unui produs, există anumite informații asupra fiabilității acestuia, informații care, dacă nu ar fi neglijate, ar contribui la caracterizarea sa mai precisă. Cercetarea pornește de la un model bidimensional, propus în anii '70, și care permite estimarea simultană a celor doi parametri ai repartiției. Contribuția autorului constă într-o metodă de specificare completă a repartițiilor apriorice utilizate la construcția acestui model pe baza unor informații obiective obținute în urma încercărilor la fiabilitate, coroborate cu rezultatele obținute prin simulare numerică Monte - Carlo. Se utilizează proprietățile estimatorilor liniari de tip BLIE aplicați repartiției Weibull.

La punctul 1.3 *Cercetări privind estimarea parametrilor și indicatorilor de fiabilitate în cazul repartiției exponențiale* este ilustrat modul de utilizare al estimatorilor de tip bootstrap, precum și precizia lor pentru diferite tipuri de eșantioane exponențial repartizate. Această tehnică de estimare, dezvoltată în ultimii ani și având la bază utilizarea intensivă a calculatoarelor se adresează, în special, rezolvării unor situații în care estimatorul punctual este suficient de complicat de calculat și în care teoria statistică obișnuită nu poate fi aplicată pentru obținerea unor expresii matematice. A fost ales modelul repartiției exponențiale din mai multe considerente: repartiția are o expresie matematică relativ simplă; datorită proprietăților pe care le prezintă variabila aleatorie realizarea inferențelor statistice de verosimilitate maximă nu prezintă dificultăți majore de calcul. Concluzia la care s-a ajuns, este că această metodă conduce la rezultate asemănătoare cu estimațiile de verosimilitate maximă aplicată la eșantioane complete și foarte slab cenzurate, sau pentru situațiile în care estimațiile nu sunt deplasate.

Cel de-al patrulea subcapitol, intitulat *Cercetări privind estimarea parametrilor și indicatorilor de fiabilitate în cazul repartiției Rayleigh*, prezintă o modalitate de realizare a inferențelor statistice pentru parametrii modelului statistic, bazată pe proprietățile asimptotice ale estimatorilor punctuali de verosimilitate maximă, aspect foarte puțin tratat și rezolvat în literatura de specialitate. S-a utilizat în acest caz, matricea informației Fisher, precum și metoda Delta cea care permite determinarea dispersiei unei funcții având ca argument valoarea estimației parametrilor repartiției analizate.

Capitolul 1 se încheie cu punctul 1.5 *Cercetări privind estimarea parametrilor și indicatorilor de fiabilitate în cazul repartiției lognormale*. Elementul de noutate adus de acest studiu îl reprezintă metoda propusă pentru calculul intervalelor de încredere a estimației duratei de testare, astfel încât să fie posibilă realizarea mult mai realistă a activităților de planificare și alocare corespunzătoare de resurse pentru activitățile de testare.

Capitolul 2, intitulat *Cercetări privind fiabilitatea produselor industriale* este structurat în patru subcapitole ce cuprind:

- *Fiabilitatea previzională a rulmenților*. Scopul utilizării modelelor fiabiliste și a metodelor statistice la analiza rezultatelor experimentale, obținute prin observarea tipurilor de defecte și a fenomenelor de deteriorare, îl constituie evaluarea fiabilității previzionale a produselor. În consecință, aprecierea de ansamblu a duratei de viață a produselor trebuie să permită considerarea globală a posibilităților de defectare, prin îmbinarea realistă a cauzelor accidentale de deteriorare cu cele controlate, determinate. Modelul de evaluare a fiabilității previzionale a rulmenților, ce face obiectul cercetării, are la bază următoarele ipoteze: evaluarea fiabilității previzionale a rulmenților se realizează pentru perioada operațională normală a produselor, perioadă caracterizată printr-o rată de defectare constantă; modelul statistic utilizat pentru caracterizarea fiecărui tip distinct de deteriorare este repartiția exponențială; sistemul fiabilist al unui rulment, obținut prin considerarea tuturor mecanismelor de deteriorare tipologic distincte ce pot deveni efective ca urmare a unor condiții concrete de funcționare este un sistem serie. Acest lucru rezultă din analiza arborelui de defectare specific cazului unui rulment; pentru simplificarea calculului, interdependențele, combinațiile și suprapunerile de efecte ce pot apărea în cazul diferitelor tipologii de deteriorare se neglijează.
- *Determinarea indicatorilor de fiabilitate ai rulmenților utilizând date experimentale obținute*

prin încercări efectuate prin metoda liniei defectelor primare. Încercările de fiabilitate efectuate prin metoda liniei defectelor primare (sudden death tests) constau în gruparea la întâmplare a celor n produse supuse testării, în ℓ submulțimi și considerarea fiecărei submulțimi ca un ansamblu de m ($n = \ell \cdot m$) elemente în serie. Datorită specificului desfășurării acestui tip de încercare, estimarea parametrilor reparației Weibull și a indicatorilor de fiabilitate ai rulmenților prezintă o serie de particularități față de cazul încercărilor cenzurate sau trunchiate. În cadrul acestei teme de cercetare s-au detaliat aceste particularități și s-a propus un algoritm de simulare numerică prin intermediul căruia se pot determina valorile a trei variabile aleatorii independente de parametrii repartiției. Aceste variabile aleatorii permit realizarea inferențelor statistice pentru parametrii repartiției Weibull și pentru durabilitatea nominală. Acest subcapitol se încheie cu un studiu de caz pentru rulmenți radial-axiali cu role conice tip LM11949/LM11910.

- *Analiza fiabilității scarificatorului tractat.* Scarificatorul este un utilaj de dislocare a pământului, a bolovanilor și rădăcinilor, a straturilor dure de materiale fixate în sol, sau pentru dislocarea materialul compactat, asfaltului și substratului stâncos pentru a facilita decopertarea terenurilor, a rocilor relativ slabe. Cercetarea desfășurată, în acest caz, constă în identificarea modelului statistic cel mai potrivit modelării duratei de viață a dinților de scarificat, estimarea parametrilor modelului și realizarea inferențelor statistice. Au fost luate în considerare patru repartiții statistice utilizate în analizele de fiabilitate: repartiția Weibull, repartiția log-normală, repartiția exponențială și repartiția normală. Utilizarea testul general de concordanță, Anderson-Darling, aplicat datelor experimentale a condus la decizia de utilizare a repartiției triparametrice Weibull. Pentru analiza duratei de viață a dinților de scarificat sau utilizat rezultatele experimentale, obținute din urmărirea în funcționare scarificatorului tractat.
- *Analiza fiabilității mașinii de debitat furnir.* Datele utilizate în cadrul acestui studiu de caz au fost colectate pe o perioadă de un an, respectiv ianuarie ÷ decembrie 2004. În această perioadă, utilajul a funcționat continuu, 24 de ore din 24, șapte zile din șapte, realizând furnire de grosimi cuprinse între 0.5 și 1.2 mm. Prelucrarea statistică a timpilor de funcționare, între două defectări accidentale, a avut ca obiectiv identificarea unui model statistic și specificarea completă a acestuia. Pentru îndeplinirea acestui obiectiv au fost realizate două programe Mathcad. Primul program este destinat verificării omogenității statistice (verificarea caracterului aleatoriu și identificarea și eliminarea valorilor aberante), precum și testarea concordanței datelor experimentale cu modelul statistic ales. Cel de-al doilea program permite estimarea parametrilor repartiției statistice prin: metoda modificată a momentelor, metoda coeficientului de corelație, metoda celor mai mici pătrate, metoda verosimilității maxime și prin metoda clasică a momentelor. Rezultate obținute permit realizarea unor strategii de mentenanță realiste pentru întreținerea mașinii de debitat furnir.

Cea de-a doua secțiune a Tezei de abilitare, intitulată *Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei*, conține o prezentare succintă a evoluției profesionale, a autorului, de la absolvirea facultății și până în prezent. În continuare sunt prezentate direcțiile preconizate de evoluție a activităților profesionale prin continuarea cercetării științifice și perfecționarea activității didactice pentru disciplinele din domeniile ingineriei industriale, diseminarea rezultatelor cercetărilor desfășurate de autor, precum și prin creșterea vizibilității internaționale.

Teza de abilitare se încheie cu bibliografia ce conține referințele bibliografice utilizate la redactarea prezentului document.