

Rezumatul tezei de doctorat
STUDIUL PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA SIGURANȚEI ÎN FUNCȚIONARE A
UNOR UTILAJE DIN INDUSTRIA MINIERĂ

Autor: ING. GÎLMA ION

Scopul acestei lucrări este de a cuantifica principalii indicatori cantitativi ce caracterizează siguranța în funcționare a excavatoarelor cu rotor utilizate la extragerea lignitului în Bazinul Oltenia.

Importanța temei este reliefată de rezultatele concrete obținute prin studiile de fiabilitate și mentenabilitate realizate asupra produselor analizate. În egală măsură, din punct de vedere teoretic, lucrarea poate constitui o modalitate de analiză a funcționalității oricărui tip de element, mașină sau utilaj electromecanic.

Rezultatele obținute prin elaborarea lucrării pot fi utilizate de către agenții economici care exploatează excavatoarele cu rotor. În același timp rezultatele pot sta în atenția tuturor celor care au preocupări în proiectarea și implementarea studiilor de siguranță în funcționare a produselor.

Capitolul I intitulat „Considerații generale privind siguranța în funcționare a mașinilor și utilajelor” realizează o punere în temă cu elementele ce definesc și cuantifică conceptul de siguranță în funcționare a unui produs, în general.

Se definesc cele patru concepte utilizate în practica industrială pentru explicitarea siguranței în funcționare a unui produs, și anume fiabilitatea, mentenabilitatea, mentenanța și disponibilitatea. Din definiția acestora rezultă legăturile structurale dintre ele, toate, în egală măsură concurând la caracterizarea siguranței în funcționare a unui produs. Este reliefată complexitatea conceptului de fiabilitate, care într-o prezentare completă trebuie să cuprindă abordări de natură tehnică, operațională, comercială și de management. Sunt definiți 24 de indicatori fundamentali care caracterizează fiabilitatea, mentenabilitatea și disponibilitatea unui produs, împreună cu simbolurile și unitățile de măsură ale acestora.

În capitolul II intitulat „Modalități de cuantificare cantitativă a indicatorilor siguranței în funcționare” este prezentat și justificat aparatul matematic necesar pentru efectuarea studiilor de fiabilitate și mentenabilitate.

Este concepută și propusă o metodologie cadru de determinare, analiză și interpretare a principalilor indicatori care certifică nivelul siguranței în funcționare a unui produs electromecanic. Metodologia urmează logica firească a realizării unui studiu de fiabilitate și mentenabilitate. Metodologia are un caracter pronunțat de generalitate și presupune urmărirea și rezolvarea a șapte etape, conținutul amănunțit al acestora rezultând din studiile de caz prezentate. Metodologia dezvoltată permite compararea diferitelor modalități de calcul utilizate pentru determinarea parametrilor legilor teoretice de distribuție. Compararea permite adoptarea acelei legi care modelează cel mai bine funcționalitatea produsului analizat.

Sunt prezentate patru problematice esențiale. Prima se referă la modalitățile de obținere a celor trei tipuri de serii statistice și la calculul funcțiilor empirice sau experimentale. A doua cuprinde legile teoretice de distribuție ce pot modela timpii de funcționare până la apariția defectului și timpii de remediere a acestuia. Sunt tratate distribuțiile exponențială, normală, lognormală și Weibull bi și triparametrică. A treia problematică prezintă metodele analitice de estimare a parametrilor legilor de distribuție, respectiv metoda verosimilității maxime, metoda celor mai mici pătrate și metoda momentelor. În al patrulea rând, este explicat testul neparametric Kolmogorov-Smirnov, utilizat pentru testarea distribuțiilor teoretice. Testul este bazat pe distanța maximă dintre funcția empirică (experimentală) și cea teoretică, comparată cu statistica testului.

În capitolul III intitulat „Studiul comportării în exploatare a excavatorului cu rotor EsRc-1400” este prezentat un studiu asupra comportării în exploatare a excavatorului EsRc-1400, care are cea mai largă utilizare în carierele din Bazinul Oltenia.

Analiza defectelor prin diagramele Pareto arată că 60% dintre defectele care apar în funcționarea excavatoarelor sunt cauzate de două subansambluri. Unul dintre subansambluri este cel de deplasare a excavatorului (sistemul de marș). Al doilea este sistemul format din cele cinci benzi care asigură transportul cărbunelui sau sterilului de la sistemul de tăiere la căruciorul de preluare-încărcare.

La mecanismul de deplasare a excavatorului defectele s-au manifestat prin desprinderea șenilelor, ruperea papucilor șenilelor (printre cele mai frecvente) și defectarea sistemului de întindere. De asemenea, au apărut ruperea bolțurilor de legătură, ieșirea bolțurilor din alezaje ca urmare a asigurării necorespunzătoare, precum și uzura prematură a pintenilor. Un defect major la mecanismului de deplasare apare la treapta I conică a reductorului de antrenare a roții motoare, care de deteriorează prematur. Cel mai frecvent defect se manifestă prin ruperea cuplajului dintre motorul electric și reductorul de antrenare a roții motoare.

Capitolul IV intitulat „Studiul sistemului de deplasare a excavatorului cu rotor EsRc-1400 în vederea îmbunătățirii siguranței în funcționare a acestuia” este destinat studiului fiabilității și mentenabilității sistemului de deplasare al excavatorului EsRc-1400.

Analiza fiabilității mecanismului de deplasare a excavatorului EsRc-1400 a condus la șapte concluzii principale.

1. Demersul științific de determinare a indicatorilor de fiabilitate este corect. Acest lucru este confirmat de distribuțiile Weibull validate, care sunt caracterizate de intensități de defectare variabile în timp, specifice elementelor de natură mecanică. De asemenea, sunt confirmate precizările literaturii de specialitate care indică că aceste distribuții descriu cel mai bine fenomenele de degradare mecanică (uzare, coroziune, oboseală, abraziune). Toate aceste fenomene de degradare mecanică sunt caracteristice funcționalității mecanismului de deplasare a excavatorului cu rotor în ansamblu.

2. Fiabilitatea mecanismului de deplasare este mică, probabilitatea ca sistemul să nu se defecteze după 200 de ore de funcționare efectivă este de numai 40%. Nivelul de încredere de 40% arată că trebuie să ne așteptăm ca după 13 zile de funcționare a excavatorului, mecanismul de deplasare să se defecteze. Se remarcă marja de risc de 60% ca fiind foarte mare. Se precizează că se consideră că excavatorul lucrează efectiv 15 ore pe zi.

3. Dacă se impune o fiabilitate de 80%, care este o valoare rezonabilă, rezultă un timp de funcționare fără defectare $t_{80} = 40$ ore. Aceasta înseamnă că după circa 2,5 zile de funcționare efectivă trebuie să se intervină pentru repararea sistemului de deplasare a excavatorului.

4. Panta mare a curbei funcției fiabilității arată degradarea rapidă a acesteia în timp, aceasta însemnând că viteza de defectare a sistemului de deplasare este mare. Acest lucru rezultă și din graficul funcției densității de probabilitate a timpului de defectare, care, de asemenea scade rapid în timp.

5. Analiza variației în timp a intensității sau ratei de defectare arată tendința de stabilizare a acesteia în jurul valorii $4 \cdot 10^{-3}$ defectări/oră. Această valoare este mare, în comparație cu cele de ordinul a 10^{-6} care sunt indicate de literatura de specialitate pentru elementele mecanice. Forma de relativă constanță a intensității de defectare indică existența în componența mecanismului de deplasare a multor elemente supuse degradării. Degradarea se manifestă prin uzare, oboseală, coroziune sau abraziune, sau chiar uzură morală, având în vedere că sistemul de deplasare reprezintă o soluție tehnică depășită. Numărul mare de elemente supuse degradării continue conduce, chiar dacă o parte din ele sunt înlocuite, la defectarea altora și la apariția defectelor. Rezultă că soluția adoptată pentru menținerea în funcțiune a sistemului de deplasare a excavatorului este una de compromis.

6. Forma puternic asimetrică a curbelor densității de probabilitate indică că timpul median până la apariția defectului caracterizează mai bine funcționalitatea mecanismului de deplasare a excavatorului. Valoarea mediană de 129 *ore* de bună funcționare, pentru distribuțiile Weibull validate, este mai realistă decât valoarea de peste 200 de *ore* indicată de medie. Acest lucru este confirmat și de fiabilitatea de numai 40% a sistemului pentru 200 *ore* de funcționare efectivă.

7. Pentru a crește siguranța în funcționare a mecanismului de deplasare trebuie să fie reconsiderată construcția de ansamblu a acestuia, în sensul reproiectării soluției de ansamblu. Trebuie reproiectate elementele componente deficitare, să fie îmbunătățită tehnologia de execuție a elementelor componente, să se reconsidere tehnologia de întreținere și reparare.

Analiza mentenabilității mecanismului de deplasare a excavatorului EsRc-1400 a condus la exprimarea a 11 concluzii importante.

1. Demersul științific de determinare a indicatorilor de mentenabilitate este corect, fiind confirmat de distribuțiile lognormală și Weibull validate. Aceste distribuții sunt caracterizate de intensități de reparare variabile în timp, specifice elementelor și componentelor de natură electromecanică

2. Probabilitatea ca mecanismul de avans să fie reparat în două *ore* este de 40%. Această valoare se consideră a fi mică, înspre acceptabilă. Argumentarea reiese din faptul că, numai desperecherea șenilelor necesită timp de remediere mai mare, timpii de restabilire a celorlalte defecte fiind mult mai mici. Acest lucru este demonstrat și de valoarea medie a timpului de reparare care este în jurul valorii de trei *ore*.

3. Dacă se impune o mentenabilitate de 80%, aplicabilă frecvent, trebuie să ne așteptăm la un timp de reparare de cinci *ore*. Această valoare, de asemenea, este destul de mare.

4. Variația în timp a ratei de reparare arată o tendință crescătoare, urmată de o stabilizare în banda de valori (0,2...0,33) *reparări/oră*. Valorile foarte mici ale ratei de reparare demonstrează încă odată, caracterul deficitar al mentenanței aplicate. Valoarea relativ constantă a ratei de reparare demonstrează omogenitatea activității de mentenanță corectivă în ansamblu. Omogenitatea se referă la asigurarea cu piese de schimb și diverse materiale, promptitudinea intervenției operatorilor umani, nivelul de calificare a operatorilor. La acestea se adaugă corectitudinea diagnosticării defectelor, precum și nivelul calitativ al pieselor de schimb și al sculelor.

5. Forma asimetrică a curbelor densității de probabilitate indică că timpul median de reparare corectivă caracterizează mai bine activitatea de mentenanță aplicată la mecanismul de deplasare. Valorile medianei, între 2 și 3 *ore*, sunt mai mici decât ale mediei, care are valori între 2,5 și 4 *ore*, pentru toate distribuțiile validate. Pentru aceste valori ale timpului median nivelul de mentenabilitate pentru sistem este cuprins între 40...60%, ceea ce corespunde cu situația reală din exploatare.

6. Există o corespondență între valoarea cea mai mică a dispersiei pentru distribuția Weibull triparametrică, la care parametrii se calculează prin metoda momentelor. Această distribuție este ierarhizată ca fiind pe primul loc în caracterizarea procesului de reparare, având ecartul cel mai mic față de distribuția empirică.

7. Timpul maxim de intervenție corectivă de circa 13 *ore* este acceptabil, luând în considerare nivelul de încredere de 95% pentru care a fost calculat.

8. Pentru a crește siguranța în funcționare a mecanismului de deplasare, și implicit a excavatorului cu rotor, trebuie să fie reconsiderată activitatea de mentenanță. Este necesar să se adopte o altă strategie de mentenanță în detrimentul celei corective.

9. Aplicarea strategiei de mentenanță preventiv-planificată presupune activități de mentenanță programate înafara activității productive. Condițiile esențiale pentru aplicarea unei astfel de strategii sunt asigurarea pieselor de schimb de calitate superioară și eliminarea

improvizațiilor. Acest lucru este imposibil de realizat în condițiile excavatoarelor EsRc-1400, deoarece sistemul de deplasare este uzat moral, soluția constructiv-funcțională fiind depășită. Chiar dacă piesele de schimb sunt de bună calitate, ele sunt utilizate în condiții improprii, apărând defecte premature.

10. Activitatea de mentenanță desfășurată arată că strategia de mentenanță utilizată nu este cea corectivă aplicată la apariția defectului, ci una de tip paliativ. Conform acestei strategii de tip paliativ, se intervine asupra defectului apărut la sistemul de deplasare pentru a asigura funcționalitatea momentană de ansamblu a excavatorului. Uzura morală a sistemului de deplasare, la care se adaugă și uzura fizică pronunțată generalizată a acestuia, conduc la apariția prematură a aceluiași defect. Acest lucru este demonstrat de numărul mare de defecte de aceeași natură apărute la aceleași componente.

11. Situația existentă în activitatea de mentenanță este confirmată de modernizările efectuate în ansamblu asupra excavatorului EsRc-1400. Au fost modernizate sistemele de tăiere, de rotire, de ridicare-coborâre a brațului cu roata port-cupe și de alimentare cu energie electrică. Însă au rămas la nivelul de acum 35 de ani sistemul de deplasare și sistemul de transportoare cu bandă pe role de pe excavator. Aceste sisteme sunt, în momentul de față principalele surse de defectare a excavatorului.

Obiectivul capitolului V, intitulat „Rezultate obținute în evaluarea siguranței în funcționare a dinților cupelor excavatoarelor cu rotor din bazinul Oltenia” este de a crea suportul tehnic care să argumenteze decizia de achiziționare a dinților care să echipeze cupele excavatoarelor cu rotor. Încercările sunt stipulate în contractele economice încheiate între cele două părți. Problematika se rezumă la stabilirea caracteristicilor de funcționare a trei variante de dinți: dinte tip 1400-MII, dinte tip 1400-3GX și dinte tip 1300-A0M.

Studiul de fiabilitate s-a executat asupra unui eșantion reprezentativ din fiecare tip de dinte. Prin urmărirea în condiții reale de exploatare a funcționării dinților au rezultat timpii de funcționare efectivă a fiecărui dinte până la scoaterea din uz. Scoaterea din uz presupune schimbarea dintelui la atingerea limitei admise de uzură prevăzută.

Prin compararea caracteristicilor de fiabilitate ale celor trei variante de dinți rezultă cinci concluzii importante.

1. Se remarcă comportamentul identic a celor trei tipuri de dinți pentru perioada de funcționare efectivă până la 200 de ore. Comportamentul este caracterizat de valori egale ale vitezei de uzare. Acest lucru demonstrează că cele trei tipuri de dinți sunt caracterizate de aceleași caracteristici la tăiere, atât geometrice cât și de rezistență la uzare.

2. Diferențierea apare după 200 de ore de funcționare când viteza de uzare crește, mai mult pentru tipul 1400-3GX și mai puțin pentru tipul 1300-A0M. Acest lucru arată modificarea caracteristicilor geometrice și de rezistență a fiecărui tip de dinte. Astfel se ajunge ca pentru un nivel de fiabilitate de 50%, timpul mediu de bună funcționare să difere substanțial. Pe primul loc se situează dintele tip 1300-A0M, cu o medie de 410 ore. Timpul mediu de funcționare pentru dintele tip 1400-MII este 348 ore, iar pentru dintele tip 1400-3GX este 314 ore.

3. Aprecierile efectuate asupra comportamentului celor trei tipuri de dinți încercați conduc la o ierarhizare a acestora din punct de vedere al caracteristicilor tehnico-funcționale. Pe primul loc se situează dintele tip 1300-A0M, pe locul doi tipul 1400-MII, iar pe locul trei tipul 1400-3GX.

4. Pentru 500 de ore de funcționare fiabilitatea dinților este de 20% pentru tipul 1400-MII, de 10% pentru tipul 1400-3GX și de 30% pentru tipul 1300-A0M.

5. Referitor la decizia de achiziționarea a dinților trebuie remarcat că în contract se prevede o durată de funcționare a dinților de 500 de ore. Această condiție nu este îndeplinită din nici un tip de dinte, cel mai apropiat fiind dintele tip 1300-A0M.