

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP
Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

Ośrodek Badań Niezawodności i Jakości

Pracownia Badań Niezawodności

440
Główny wykonawca

Wykonawcy mgr inż.inż. J.Tuszyńska, A.Szachewicz.

Konsultant

Nr zlecenia

107/9397

Wstępne studium nad metodą oceny niezawodności robotów IRb,

Etap I. Przegląd literatury i identyfikacja obiektu.

Zleceniodawca praca własna PIAP

Pracę rozpoczęto dnia 15.11.82

Kierownik PBN

mgr inż. W.Muziński

Z-ca Dyrektora
d/s. Automatyki

p.o. dr inż. T.Gałązka

zakończono dnia 15.02.83

Kierownik OBN

dr inż. St. Budzyński

Pracą zawiera:

stron 11

rysunków

fotografii

tabel

tablic

załączników

Rozdzielnik - ilość egz:

Egz. 1 BOINTE

Egz. 2 OAE

Egz. 3 OBN

Egz. 4 OAM

Egz. 5 PBN

Egz. 6

Nr rejestr. 4989

Analiza deskryptorowa

ROBOTY PRZEMYSŁOWE: NIEZAWODNOŚĆ.

Analiza dokumentacyjna

Sprawozdanie zawiera przegląd literatury dot. danych o niezawodności robotów i metod oceny niezawodności systemów ze szczególnym wyróżnieniem systemów zbliżonych do robotów oraz informację i przyjęte założenia podstawowe do opracowania metodyki badań robotów.

Tytuły poprzednich sprawozdań

Nie ma.

338.45:62/69]992.1/2

62-192

Niezawodność

Roboty przemysłowe

UKD

MERA-PIAP/TW 331/78 5000

oceną niezawodności systemów^{x/}. Umożliwi to nowoczesne i wszechstronne podejście do problemu oceny niezawodności robotów jako systemów, których podsystem elektroniczny steruje podsystemem manipulacyjnym.

W drugiej części niniejszego opracowania dokonano tzw. identyfikacji robota w sensie niezawodnościowym, a więc przytoczono dane ogólne dot. produkcji robotów, określono strukturę niezawodnościową, rodzaj zewnętrznych i wewnętrznych czynników wymuszających, rodzaj serwisu oraz przytoczono pewne dane^z dotychczasowych obserwacji pracy robotów w zakresie występujących uszkodzeń. W zakończeniu podsumowano wyniki niniejszego opracowania i wytyczono kierunek dalszych prac nad oceną niezawodności robotów.

2. PRZEGLĄD LITERATURY

Dokonano przeglądu literatury bieżącej z ostatnich czterech lat, posługując się w tym celu czasopismami bibliograficznymi:

- Electrical i Electronics Abstracts - wyd. The Institution of Electrical Engineers - roczniki 1979, 1980, 1981, 1982
- Referatnyj Żurnał: Awtomatika, Tielemechanika i wyczislitel'naja Tiekhnika - wyd. Akademii Nauk ZSRR - roczniki 1979, 1980, 1981, 1982.

2.1. Zagadnienia niezawodności w literaturze dotyczącej robotów

W licznych artykułach dotyczących robotów /około 500 podanych w w/w źródłach/ rzadko tylko omawia się zagadnienie niezawodności. Jest to prawdopodobnie wynikiem poufności danych dotyczących wskaźników niezawodnościowych. Badania jednak są prowadzone, ponieważ w [8] przedstawiono tabelę porównującą oceny pewnych cech niezawodnościowych robotów sześciu różnych firm. Jednakże przytoczone dane są ujęte opisowo bez ujawnienia wskaźników liczbowych.

W spisie literatury, na końcu niniejszego opracowania, podano te pozycje, które chociaż wzmiankują o niezawodności, podkreślając jej dużą wagę w produkcji i zastosowaniu robotów. Szerzej na temat nie-

^{x/} System /niezawodnościowy/ - obiekt, który z punktu widzenia badania niezawodności jest opisywany jako zorganizowany zbiór elementów [23].

zawodności w pozycji [18] pisze Morlock, podając za O. Gengenbuchem /specjalistą od robotów niemieckich/ jako charakterystykę niezawodności współczynnik gotowości

$$B = \frac{MTBF}{MTBF + MDT}$$

gdzie: MTBF - średni czas między uszkodzeniami
MDT - " - przestojów spowodowanych naprawami

Jednocześnie Morlock podaje, że Engelberger, szef firmy Unimation Inc., określa zależność między czasem między uszkodzeniami a całkowitym czasem przestojów spowodowanych naprawami i stwierdza, że nie ma prostej proporcjonalności, gdyż czas naprawy jest zmienny. Według Engelbergera współczynnik gotowości dla większości zastosowań nie powinien być mniejszy niż 97 %. Jednakże w specjalnych przypadkach jest wymagana wartość większa. Dalej podano przykład badań robotów prowadzonych 3 lata, w wyniku których średni czas między uszkodzeniami MTBF został zwiększony ze 145 h do 415 h. Drugi przykład dotyczy obsługi robotów i określa się w nim, że najbardziej prawdopodobny czas naprawy w założeniu serwisu lokalnego i pracy robota dwuzmianowej, jest 8 h. Według Engelbergera niezawodność robotów jest problemem bardzo złożonym, a b. istotną właściwością jest podatność robota na naprawę.

Podobnie Young [7], rozpatrując efektywność pracy robota, wymienia jako podstawowe wskaźniki średni czas między uszkodzeniami i procentowe wykorzystanie czasu przez robota.

Dodatkowe informacje uzyskano z pracy Kaczmarczyka [2]. Wynika z nich, że dla robotów Kawasaki - Unimate czas MTBF - po wprowadzeniu usprawnień - wzrósł z 300 h do 1500 h. Jednocześnie podano informację że czas życia robotów tejże firmy wynosi 8000-15000 h, zależnie od zastosowania. Jest to okres od 1,5 roku do 3 lat, przy pracy dwuzmianowej do generalnego remontu. Autor podaje dwie metody badań niezawodności robotów: jedną eksploatacyjną, a drugą laboratoryjną, opartą na [24].

Jako czas kwalifikujący przyjęto dla robotów prostych PR-02 100000 cykli, co jest równoznaczne dla tych robotów z 400 h pracy. Jako czas dyskwalifikujący przyjęto 20000 cykli, co jest równoznaczne z 80 h pracy.

Dotychczasowe prace prowadzone w MERA PIAP ograniczały się w zakresie badań do prób typu i ogólnych rozważań nad koncepcją programu autodiagnostycznego [4].

Ciekawe ujęcie zagadnienia znajduje się w poz. [6], gdzie w rozdz. 3 o niezawodności robotów autorzy rozpatrują niezawodność robotów jako elementów linii technologicznej. Podano dwa wzory w zależności od układu pracy linii w systemie równoległym i szeregowym.

2.2: Literatura dotycząca metod oceny niezawodności systemów

Większość prac dotyczących metod oceny niezawodności systemów jest poświęcona rozważaniom matematycznym w oderwaniu od zastosowań przemysłowych. Nie będą one przedmiotem analizy w niniejszym opracowaniu, w którym główna uwaga została poświęcona pracom omawiającym konkretne systemy. Z tych ostatnich najwięcej dotyczy systemów komputerowych, aczkolwiek jest już pewna liczba opracowań systemów czysto mechanicznych, jak i łączonych elektryczno- lub elektroniczno-mechanicznych.

Są opisywane dwie zasadnicze grupy metod oceny niezawodności systemów, a mianowicie:

- I. Na podstawie założonego modelu matematycznego przeprowadza się analizę możliwości spełnienia wymagań niezawodnościowych przez projektowany system w przypadku, gdy znane są wyniki badań niezawodności jego elementów.
- II. Oszacowanie liczbowe podstawowych wskaźników niezawodności odnawialnych systemów na podstawie badań laboratoryjnych bądź eksploatacyjnych.

W zakresie I grupy metod, tzn. obliczania niezawodności w stadium projektu najwięcej danych jest dla komputerów, gdyż podzespoły elektroniczne są już badane od lat tak w kraju, jak i za granicą. Obliczanie niezawodności dla systemów z częściami mechanicznymi jest znacznie trudniejsze, gdyż brak jest katalogowych danych co do intensywności uszkodzeń, jak i współczynników korekcyjnych zależnych od środowiska i obciążenia. Skatalogowanie powyższych danych jest znacznie trudniejsze dla części mechanicznych, ponieważ przy ocenie ich niezawodności należałoby brać pod uwagę wiele czynników jak rodzaj materiału /jego mikrostruktura/, kształt, stan powierzchni i makrostruktura zależna od obróbki.

Do tego trzeba dodać, że wobec zmienności obciążeń związanej ze

zmiennym rozkładem sił w czasie pracy maszyny, stabelaryzowanie powyższych danych byłoby bardzo skomplikowane [17].

W związku z powyższym przy systemach zawierających podsystemy mechaniczne jest konieczne stosowanie II grupy metod oceny niezawodności [5]. W literaturze są podawane metody badań urządzeń transportowych [20] i [14] maszyn budowlanych, włókienniczych [14], rolniczych [20] oraz najbardziej zbliżonych do robotów - obrabiarek sterowanych numerycznie [9], [10], [11].

Z przytoczonych prac wynika, że systemy mechaniczne i elektromechaniczne są poddawane badaniom eksploatacyjnym oraz laboratoryjnym przy symulacji normalnych warunków pracy /tory przeszkód dla kombajnów, stanowiska symulujące jazdę na rowerze itp./.

Jako najciekawszy przykład omówione zostanie badanie eksploatacyjne obrabiarek sterowanych numerycznie /OSN/. Metoda zbierania danych jest analogiczna do metod powszechnie stosowanych i wielokrotnie opisywanych. Na podstawie wyników zawartych w opracowanych formularzach zbiorczych zostały wyznaczone wskaźniki niezawodności, a mianowicie:

- wartość oczekiwaną zmiennej losowej T_p czasów pracy między uszkodzeniami obrabiarki

$$E [T_p] = \frac{T_p}{m}$$

$$\text{gdzie } T_p = \sum_{i=1}^n tp_i$$

n - ilość obrabiarek danego typu

tp_i - czas pracy i -tego egzemplarza obrabiarki

m - łączna liczba uszkodzeń n egzemplarzy obrabiarek danego typu;

- wartość oczekiwaną zmiennej losowej T_n czasów odnowy

$$E [T_n] = \frac{T_n}{m}$$

$$\text{gdzie } T_n = \sum_{i=1}^n \tau_i$$

τ_i - czas odnowy i -tej obrabiarki w badanym okresie czasu t ;

- wartość stacjonarna współczynnika gotowości kg

$$kg = \frac{E [T_p]}{E [T_p] + E [T_n]}$$

- oczekiwana liczba uszkodzeń, które mogą wystąpić w rozpatrywanym przedziale czasu $/0, t/$ /tzw. funkcja odnowy/

$$H(t) = \frac{t}{E[Tp] + E[Tn]}$$

t - badany okres eksploatacji obrabiarki

$$t = \sum_{i=1}^n tp_i + \sum_{i=1}^n \tau_i$$

Z przytoczonych w [12] wartości liczbowych w/w wskaźników niezawodności wynika, że współczynnik gotowości kg zawiera się w granicach $/0.50 ; 0.98/$ przy średnim czasie między uszkodzeniami w granicach $/15, 407/$ h. Wartości współczynnika kg pogarszają się znacznie jeżeli brać pod uwagę czasy przestoju spowodowanych złą organizacją napraw. Większość uszkodzeń występuje w układzie sterowania i waha się dla poszczególnych typów obrabiarek od 0 % /prod.japońska/ do 100 % /prod.krajowa/ w stosunku do uszkodzeń układu mechanicznego. Z informacji ustnych od autora prac wiadomo, że zdecydowana większość uszkodzeń części mechanicznych jest spowodowana nieprawidłowościami układu sterowania.

3. IDENTYFIKACJA ROBOTA JAKO OBIEKTU NIEZAWODNOŚCIOWEGO

Przez identyfikację niezawodnościową obiektu rozumie się ustalenie dla potrzeb projektowania, wytwarzania i eksploatacji wszystkich niezbędnych informacji, potrzebnych dla celów analizy i optymalizacji niezawodności.

Zgodnie z definicją podaną w [23] robot jest systemem naprawialnym o strukturze niezawodnościowej szeregowej. Oznacza to, że uszkodzenie jakiegokolwiek elementu powoduje przejście robota ze stanu zdatności do stanu niezdatności.

Z powyższych definicji wynika konieczność uwzględnienia następujących danych:

- planowana produkcja roczna 100 sztuk
- gwarancja 1 rok
- intensywność pracy 1 lub 2 zmiany zależnie od potrzeb
- użytkowanie całoroczne
- obsługiwane planowe
- serwis w okresie gwarancji producenta

- serwis w okresie pogwarancyjnym producenta lub lokalny
- liczba podsystemów 2
- rodzaje podsystemów podsystem elektryczno-elektroniczny
podsystem mechaniczny
- cena maszyny ok 4 mln zł
- struktura niezawodnościowa szeregową
- wymagany średni czas naprawy 400 h

Zgodnie z projektem zakładowej normy MERA-048/245 z r. 1982 robot przemysłowy IRb jest to urządzenie manipulacyjne o sterowaniu numerycznym, którego działanie jest określone programem zapisanym w pamięci robota w wyniku programowania jego cyklu pracy. Robot składa się z szafy sterowniczej i części manipulacyjnej oraz kabla łączącego te elementy.

W aspekcie niezawodności rozpatruje się robot jako dwa podsystemy /elektryczno-elektroniczny i mechaniczny/ ze względu na różne metody oceny wskaźników niezawodności.

W celu określenia niezawodności robotów przyjmuje się następujące założenia:

- 1/ klasyfikacja dwustanowa /stan zdatności i niezdatności/,
- 2/ warunki eksploatacyjne zgodne z ustalonymi w projekcie normy na roboty IRb oraz w "Dokumentacji techniczno-ruchowej robotów" [22],
- 3/ uszkodzenia występujące w robotach zalicza się do zdarzeń losowych spełniających schemat Bernoulliego tzn.:
 - zdarzeń niezależnych /zajście jednego uszkodzenia nie pociąga za sobą innego uszkodzenia/, Występujące uszkodzenia wtórne nie będą liczone jako oddzielne uszkodzenia, będą jednak miały wpływ na współczynnik gotowości przez wydłużony czas naprawy;
 - w związku ze stałością warunków realizacji kolejnych cykli pracy robota, występujące zdarzenia uszkodzeń robota można traktować jako zdarzenia jednakowo prawdopodobne,
 - jednoczesne zajście dwu niezależnych uszkodzeń jest mało prawdopodobne /wykluczanie się zdarzeń/,
 - uszkodzenie robota może wystąpić tylko podczas jego pracy.
- 4/ Po każdej naprawie w chwili uszkodzenia robota funkcja niezawodności ponownie przyjmuje wartości $R/t_0 = 1$.

Roboty IRb są produkowane w Zakładzie Doświadczalnym MERA PIAP na licencji f-my szwedzkiej ASMA. W każdym zmontowanym w ZD robocie jest pewien udział części importowanych. W zasadzie dąży się do wpro-

- charakter pracy robotów
- rzeczywisty czas pracy
- klasyfikacja uszkodzeń
- sposób napraw i profilaktyki.

DODATEK

Po zakończeniu niniejszego opracowania ukazał się zeszyt 11-12/82 "Eksploatacja Maszyn" w którym na str. 11 wydrukowano przetłumaczony artykuł doc. dr inż. Joachima Kubeina z Uniwersytetu Technicznego w Dreźnie p.t. "O zapewnieniu niezawodności działania robotów przemysłowych". W artykule podano najważniejsze wnioski z badań eksploatacyjnych dotyczące organizacji, oceny niezawodności i analizy uszkodzeń. Autor stwierdza, że "wszystkie wyprowadzone zależności prawdopodobnego czasu bezawaryjnej pracy poszczególnych robotów przemysłowych wykazują przebieg, który można aproksymować funkcjami wykładniczymi lub rozkładem funkcji w/g Weibulla, przy współczynniku kształtu równym ok. 1. Nie zezwala to jednak na wyciąganie wniosków dla ochrony /obsługiwania/, ponieważ nie ma jeszcze danych z licznych zespołów lub części robota, które mogą spowodować jego wyłączenie z użytkowania... Maszyny te należy od początku otoczyć szczególną opieką, aby zmniejszyć straty spowodowane ich postojami awaryjnymi /zagadnienie to jest szczególnie badane w Uniwersytecie Technicznym w Dreźnie/."

LITERATURA

1. R.P.Haviland: Niezawodność urządzeń technicznych - PWN W-wa, 1968
2. A.Kaczmarczyk: Roboty przemysłowe lat 80-tych - w przygotowaniu do druku WKŁ
3. A.Kuls: Kryteria projektowania chwytaków i robotów przemysłowych - na podstawie "Maschinenbautechnik" nr 12/78 - Przegląd Mechaniczny 14, 1979
4. J.Kawecki: sprawozdanie z pracy w MERA-PIAP OBN p.t. Diagnostyka robota IRb - etap I i II, 1978, 1979
5. M.Warszyński i inni: Systematyka obliczania niezawodności układów mechanicznych - Zeszyty naukowe P.Ł. 241, 1975
6. Woroliew i inni: Promyszlennyje roboty w maszynostrojeniu - dodatek do Wiestnik maszynostrojenia nr 11, 1982. Moskwa
7. J.F.Young: Robototechnika - tłum. Ignatięwa z j.ang., Leningrad, Maszynostrojenie, 1979
8. R.Zemeno i inni: The industrial use of robots. The industrial robot. vol.6, 3, 1979
9. J.Żółtowski: Metodyka badania niezawodności obrabiarek sterowanych numerycznie - OPT Katowice 1973
10. J.Żółtowski: Określenie postaci rozkładu prawdopodobieństwa niezawodności automatycznych linii obrabiarek. Mechanik 7, 1972
11. J.Żółtowski: Niezawodność obrabiarek i jej wskaźniki. Mechanik 8, 1972
12. R.Kaszyński i inni: Badanie niezawodności OSN na podstawie metody opracowanej przez P.W. etap III- Opracowanie zbiorcze danych i wyznaczenie współczynników niezawodności na maszynie matematycznej ODRA 1204. - CBKO, 1975
13. Materiały Szkoły Zimowej 1977: Niezawodność technicznych systemów odnawialnych - tom 1 i 2, Katowice 1977
14. Materiały Szkoły Zimowej 1978: Diagnostyka niezawodnościowa systemów technicznych, Katowice 1978
15. Materiały Szkoły Zimowej 1981: Problemy niezawodności systemów technicznych. Katowice 1981
16. Materiały z I Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej: Niezawodność i eksploatacja systemów komputerowych. Książ, 1979
17. Sprawozdanie z Sympozjum Niezawodności w Kanadzie: Microelectronics and Reliability, 1980

18. Performance Evaluation of Programmable Robots and Manipulators:
Wyd. National Bureau of Standards US, 1976
19. Sprawozdanie z seminarium Roboty przemysłowe: Przegląd Mechaniczny, 8/1979
20. Konferencja Naukowo-Techniczna w Rzeszowie: Trwałość i niezawodność wyrobów przemysłu maszynowego - 1980
21. Korespondencja własna ze Szwecji - Roboty przemysłowe firmy ASEA, Przegląd Mechaniczny 10, 1982
22. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa robotów , MERA PIAP, 1978
23. Polska Norma PN-80/N-04000 : Niezawodność w technice. Terminologia.
24. Polska Norma PN-77/N-04021: Niezawodność w technice. Plany badania w przypadku rozkładu wykładniczego.