



Polska Akademia Nauk • Instytut Badań Systemowych

STANISŁAW PIASECKI

**ELEMENTY TEORII NIEZAWODNOŚCI
I EKSPLOATACJI OBIEKTÓW
O ELEMENTACH WIELOSTANOWYCH**

dla inżynierów

Warszawa 1995

**ELEMENTY TEORII NIEZAWODNOŚCI
I EKSPLOATACJI OBIEKTÓW
O ELEMENTACH WIELOSTANOWYCH**

dla inżynierów

STANISŁAW PIASECKI

Warszawa 1995

11
12
13
14
15

16
17

PRZEDMOWA

Stopień zużycia elementu możemy scharakteryzować wartościami x_k pewnej liczby K fizycznych parametrów elementu:

$$x = \langle x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_K \rangle$$

określających jego stan fizyczny

Zbiór wszystkich możliwych wartości x tworzy zbiór X stanów fizycznych elementu. Jest to na ogół zbiór mocy continuum.

Podstawowe założenia teorii niezawodności dotyczą przestrzeni możliwych stanów niezawodnościowych obiektu. W klasycznej teorii niezawodności wyróżnia się tylko dwa stany ponumerowane zmianą $i = 0, 1$, przy tym symbolem "0" oznaczamy zwykły stan zdatności, a symbolem "1" stan niezdatności - uszkodzenia.

Podstawową trudnością zastosowań teorii niezawodności jest podział przestrzeni X stanów fizycznych x obiektu na dwie podprzestrzenie X^0 oraz X^1 w taki sposób, że gdy $x \in X^0$, to powiemy, że element jest zdalny (nieuszkodzony) i znajduje się w stanie $i = 0$ oraz gdy $x \in X^1$, to element jest uszkodzony i znajduje się w stanie $i = 1$.

Powierzchnia rozgraniczająca dwie przestrzenie jest nazywana zbiorem stanów granicznych. Ustalenie zbioru stanów granicznych zawsze następuje najwięcej trudności w praktycznych zastosowaniach teorii.

Stan fizyczny elementu ulega zmianie w czasie, tak że x jest funkcją czasu $x(t)$. Zmiany stanu fizycznego elementu zależą od bardzo wielu czynników i z tego względu funkcję $x(t)$ musimy traktować jako proces stochastyczny $x(t)$ rezerwując oznaczenie $x(t)$ dla realizacji procesu. Zdarzenie polegające na przejściu wartości $x(t)$ procesu z obszaru X^0 do obszaru X^1 nazywamy uszkodzeniem.

Przyjęcie tak silnego założenia upraszczającego, dotyczącego mocy zbioru stanów niezawodnościowych ma liczne negatywne skutki. Na przykład: uszkodzenie elementu silnie zużytego gdy $x(t)$ jest bardzo blisko zbioru stanów granicznych, będzie tak samo prawdopodobne jak uszkodzenie nowego elementu, którego wartość $x(t)$ jest bardzo oddalona od zbioru stanów granicznych. Niedogodność tę można przewyżyć wprowadzając dodatkową charakterystykę stanu: dotychczasowego czasu pracy elementu - tak zwanego "napracowania". Przy tym zakłada się, że jeżeli element długo pracował to jego stan $x(t)$ jest bliższy granicznego i prawdopodobieństwo uszkodzenia (w danym odcinku czasu) jest większe od prawdopodobieństwa uszkodzenia elementu nowego.

W ten sposób, niejako "tylnymi drzwiami" wprowadza się definicję stanu elementu przy pomocy pary wielkości: zmiennej binarnej (uszkodzony - nieuszkodzony) i liczby rzeczywistej (czasu napracowania). Nie jest to więc dwustanowy zbiór stanów elementu, lecz przeciwnie - jest on mocy continuum. Jest to więc odejście od modelu dwustanowego.

Zauważmy, że stan "napracowania" elementu nie jest związany z rzeczywistym, fizycznym stanem elementu. Nie jest to wielką wadą w przypadku elementów elektronicznych, w szczególności pracujących impulsowo w urządzeniach cyfrowych. W tym przypadku nie mamy fizycznych możliwości stwierdzenia stopnia zużycia elementu bez jego popsucia, pozostaje zatem ocena tego zużycia na podstawie łatwego mierzalnego czasu "napracowania". Zupełnie inaczej przedstawia się sytuacja w przypadku urządzeń mechanicznych. Stopień ich zużycia łatwo stwierdzić na podstawie analizy drgań mechanicznych, których są źródłem. Doświadczeni operatorzy (użytkownicy) obiektów mechanicznych takich jak np. silniki, samochody itp. mogą ocenić z dużą dokładnością ich stan bez pomocy przyrządów - tylko przy pomocy zmysłu słuchu. W takiej sytuacji nieuzasadnionym jest uzależnienie prawdopodobieństwa uszkodzenia od czasu "napracowania", naturalnym jest

L I T E R A T U R A

1. R. Barlow, R. Proschan - Statistical Theory of Reliability and Life Testing, Holt, Rinekat and Winston: N.York 1975.
2. R. Barlow, F. Proschan - Mathematical theory of reliability, N.York J. Wiley 1965.
3. Beichelt F. Franken P. - Zuverlässigkeit Instandhaltung VEB Verlag Technik Berlin 1983.
4. Waprosy matematycznej teorii niezawodności - E.J.Barziłowicz, I.K.Beljew, B.A.Kasztanow i dr.; Pod red. B.W.Gnedenko - M, Radio i Swjaz 1983-376 c.
5. Elements of Theory of Markov Processes and Thier Applications - A.T.Bhorucha - Reid Mc Grow - Hill Book comp. INC N.York, Toronto, Londyn 1960.
6. R.R. Borkow, F. Proschan - Mathematical Theory of Reliability - John Wiley - New. York 1965.
7. Markowskije procesy E.B. Dynkin Fizmatiz 1963.
8. An intoduction to probability theory and its applications W. Feller N. York J. Willey 1968-I 1971 II.
9. Gadasin B.A. Uszakow I.A. (1975): Nadeżnost słożnych informacionno - uprawljaszczych. Moskwa: Sow. Radio.
10. Gadasin B.A. Uszakow I.A. Nadeżnost słożnych informacionno - uprawljaszczych sistem - M. Sow. Radio, 1975 - 191 c.
11. Gercbach J.B.Korbonskij C.H.B. Modeli otkazow - M. Sow. Radio, 1966-166 c.
12. K. Grzesiak - Niezawodność urządzeń elektronicznych - WNT, Warszawa 1983.
13. Gnedenko B.W. Beljajew, J.K. Solowjew, A.D. Matematyckije metody w teorii niezawodności - M. Nauka, 1965 - 524 c.
14. J. Kałuski - Niezawodność metrologiczna przyrządów pomiarowych - Skrypt nr 1143 - Politechnika Śląska 1983.
15. Kanarczuk W.E. Osnowy niezawodności maszyn - Kijew: Nauk. dumka 1982 - 246 c.
16. A First course in Stochastic Processes S. Karlin Academic Press N.York, London 1968.
17. Finite Markov Chains J.G.Kemeny J.L Snell Dartmonth College 1959.
18. Kremer G. Libenmer M. Stacjonaryje słucznyje procesy M. Mir 1969-398 c.
19. B. Kopyciński - Zarys teorii odnowy i niezawodności - WNT, Warszawa 1973.
20. Perewerzew E.S. Słucznyje procesy w parametryczeskich modelach niezawodności. Naukowa dumka Kijew 1987.

21. S. Piasecki - Elementy teorii niezawodności i eksploatacji urządzeń, Skrypt serii "Teoria badań operacyjnych, WAT, Warszawa 1974.
22. Polowko A.M. Osnowy teorii niezawodności - M. Nauka 1964 - 446 c.
23. Poradnik niezawodności - Podstawy matematyczne - Wyd. Przem. Masz. WEMA, Warszawa, 1982.
24. M. Prażewski, E. Korczak, M. Zaremba - Niezawodność urządzeń elektronicznych - WKiŁ 1987.
25. Rajkin A.L. Elementy teorii niezawodności technicznych system. Pod red. I.A. Uszkowa - M. sow. Radio 1978 - 280 c.
26. Соловьев А.Д. (1978): Расчет и оценка характеристик надежности Москва: Изд. Знание.
27. Tichonow B.J. Mirnow M.A. Markowskije procesy - M. sow. Radio, 1977-488 c.
28. R. Tomaszek, D. Janicki - Modele niezawodnościowe urządzeń. Materiały "Szkoły Zimowej 74" Problemy i Modele Eksploatacji Maszyn - Ośrodek Postępu technicznego - Katowice 1974.
29. Wencel A.D. Kurs teorii słuczajnych procesow - M. Nauka, 1975 - 318 c.
30. W. Zamojski - Teoria i technika niezawodności - Skrypt Politechnika Wrocławska 1976.

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA	3
WSTĘP	5
0 niezawodności elementu	5
0 niezawodności systemu	7
Przykład I. 0 niezawodności i strukturze niezawodnościowej systemu dwuelementowego	11
1. Charakterystyki obiektów wielostanowych	32
1.1 Opis obiektu	32
1.2 Wyznaczanie stanów urządzenia i funkcji α	34
1.3 Wyznaczanie stanów elementów urządzenia i macierzy intensywności przejść	36
1.4 Wyznaczanie funkcji ϕ	45
2. Wielostanowe procesy stochastyczne	49
2.1 Proces zużycia elementów	49
2.2 0 procesach stochastycznych	50
2.3 Metoda dekompozycji wyznaczania prawdopodobieństwa przejścia dla nieodwracalnych procesów zużycia	65
2.4 Zasada dekompozycji procesów	72
2.5 Proces zmiany stanów elementów obiektu	82
2.6 Przykład II. Określenie procesu zmian stanu elementów obiektu	86
2.7 Przykład III. Okresu zmian stanu elementów obiektu	89
3. Proces użytkowania	96
3.1 Charakterystyki procesu użytkowania	96
3.2 Przykład IV. Opis prostego procesu użytkowania	100
3.3 Przykład V. Opis złożonego procesu użytkowania	107
3.4 Proces wymian elementów	117
3.5 Zabiegi konserwacyjne	118
3.6 Kontrola stanu	119
4. Procesy obsługi technicznej	121
4.1 Charakterystyki procesu obsługi	121
4.2 Przykład VI. Opis procesu obsługi	129
4.3 Przykład VII. Opis złożonego procesu obsługi	137
5. Proces eksploatacji	142
5.1 Charakterystyki procesu eksploatacji	142
5.2 Proces eksploatacji obiektu o obserwowalnych stanach elementów	150
5.3 Przykład VIII. Opis procesu eksploatacji	158
5.4 Przykład IX. Opis złożonego procesu eksploatacji	160

5.5 Rozkład prawdopodobieństwa stanów obiektów kierowanych do obsługi	161
5.6 Optymalizacja strategii obsługi technicznej obiektów o obserwowalnym stanie elementów	165
5.7 Proces eksploatacji obiektu o nieobserwowalnych stanach elementów	171
5.8 Optymalizacja strategii utrzymania w ruchu obiektu o nieobserwowalnych stanach elementów	178
UWAGI KOŃCOWE	185
LITERATURA	186

ISBN 83-85847-01-4

W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy
prosimy o kontakt z Instytutem Badań Systemowych PAN,
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa
tel. 37-68-22 e-mail: kotuszew@ibspan.waw.pl