



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

uzależnić to prawdopodobieństwo od fizycznego stanu elementu. Lecz wtedy także musimy odejść od założenia dwustanowości.

Prezentowana tu metoda polega więc na odrzuceniu założenia dwustanowości procesu i podziału przestrzeni X możliwych stanów zwykle na przeliczalną i skończoną ilość podprzestrzeni, różnie odległych od krańcowego zbioru stanów, charakterystycznego dla elementu nowego - nieużywanego. Metoda ta ma szereg zalet, a mianowicie umożliwia płynne przejście od modeli dwustanowych do modeli trójstanowych itp., aż do modeli o nieprzeliczalnej (w granicy) ilości stanów. Przyjęcie założenia, że poszczególne wyróżnione stany obiektu są związane z fizycznym stanem obiektu umożliwia wykorzystanie teorii procesów markowskich, co znakomicie ułatwia obliczenia.

W rezultacie, prawdopodobieństwo uszkodzenia zależy od stanu w jakim znajduje się element - jak daleko punkt $x(t)$ jest odległy od zbioru stanów krańcowych (pełnej zdatności i całkowitego uszkodzenia). Wyznaczone w ten sposób stany ponumerowane zmienną $i = 0, 1, 2, \dots, I; I \geq 2$, mają bezpośrednią interpretację w przestrzeni X . Zwróćmy następnie uwagę, że formalnie nic nie stoi na przeszkodzie, aby za stan elementu uważać czas jego dotychczasowej pracy, określony z dokładnością do numeru przedziału czasowego. W takiej sytuacji mamy jak gdyby dyskretny odpowiednik pierwszej metody, lecz tracimy związek między rzeczywistym stanem fizycznym elementu a stanem w naszym modelu.

Metoda wykorzystania procesów wielostanowych w teorii niezawodności ma jeszcze jedną zaletę. Mianowicie, nic nie stoi na przeszkodzie, aby w zbiorze wyróżnionych stanów elementu wydzielić nie tylko szereg stanów mniejszej i większej zdatności (zużycia), ale także szereg stanów niezdatności. Jest to szczególnie ważne gdy element może uszkodzić się na wiele różnych sposobów, z różnym prawdopodobieństwem i gdy niektóre z tych uszkodzeń związane są z zagrożeniem bezpieczeństwa życia. W tych przypadkach procesy wielostanowe stanowią właściwie jedyną metodę opisu takich zjawisk. Wynika to z tego, że w metodzie korzystającej z czasu napracowania istnieje możliwość przejścia tylko do jednego stanu (ostatniego) - stanu uszkodzenia. W przypadku wyróżnienia stanów w fizycznej przestrzeni X nic nie stoi na przeszkodzie aby proces mógł przekakiwać z dowolnego stanu do któregośkolwiek innego.

Z przedstawionych rozważań wynikałoby, że metoda polegająca na wprowadzeniu czasu napracowania jako zmiennej rzeczywistej definiującej stan elementu jest mniej użyteczna. Tak nie jest. Przypomnijmy: w przypadku gdy nie mamy żadnej możliwości stwierdzenia fizycznego stanu elementu, możemy ocenić, że element jest w gorszym stanie jedynie na podstawie tego, że długo pracował. Wtedy naturalnym sposobem usunięcia wady dwustanowości w klasycznej teorii jest przyjęcie modelu z czasem napracowania. Nie należy jednak zapominać, że wtedy musimy korzystać z bardziej złożonego aparatu matematycznego teorii procesów semimarkowskich - znacznie bardziej złożonego od aparatu procesów markowskich - teorii łańcuchów Markowa.

Zwróćmy następnie uwagę na to, że w przypadku dwustanowego procesu uszkodzeń w klasycznej teorii niezawodności nie jest wymieniane założenie o markowskości procesu. Wynika to z faktu, że nieodwracalne procesy dwustanowe z definicji należą do klasy procesów markowskich.

W książce zawarte są zagadnienia niezawodności lub szerzej - eksploatacji obiektów, w których możliwym i uzasadnionym jest powiązanie fizycznych procesów zużycia ze stanem elementu i obiektu. Z formalnego punktu widzenia obejmuje ona zastosowanie teorii procesów markowskich w dziedzinie eksploatacji obiektów technicznych.

Prof. dr hab. inż. Stanisław Piasecki
Instytut Badań Systemowych
Polskiej Akademii Nauk w Warszawie

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