POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

Krzysztof KOŁOWROCKI

ASYMPTOTYCZNE PODEJŚCIE DO ANALIZY NIEZAWODNOŚCI SYSTEMÓW

ASYMPTOTYCZNE PODEJŚCIE DO ANALIZY NIEZAWODNOŚCI SYSTEMÓW

Polska Akademia Nauk • Instytut Badań Systemowych

Seria: BADANIA SYSTEMOWE
tom 27

Redaktor naukowy:

Prof. dr hab. Jakub Gutenbaum

Warszawa 2001

Krzysztof KOŁOWROCKI

ASYMPTOTYCZNE PODEJŚCIE DO ANALIZY NIEZAWODNOŚCI SYSTEMÓW

Publikację opiniowali do druku:

Prof. dr hab. inż. Janusz Karpiński
Dr hab. inż. Józef Żurek

Publikacja współfinansowana przez KOMITET BADAŃ NAUKOWYCH w ramach projektu badawczego Nr 9 T12C 022 16 nt. "Graniczne funkcje niezawodności dużych systemów wielostanowych oraz ich zastosowania w zagadnieniach transportowych i wytrzymałościowych"

ISBN 83-85847-58-8
ISSN 0208-8029

1. WSTĘP

1.1. *Wprowadzenie*

Wiele systemów technicznych należy do klasy systemów złożonych. Wiąże się to przede wszystkim z dużą liczbą podsystemów i elementów, z których są one zbudowane oraz ze skomplikowanym procesem ich eksploatacji. Złożoność ta powoduje, że szacowanie ich niezawodności oraz ocena bezpieczeństwa i efektywności ich eksploatacji są dość trudne. Zwykle są to systemy szeregowe zbudowane z dużej liczby elementów podstawowych. Niekiedy systemy te mają rezerwowane elementy lub całe podsystemy i są wtedy strukturami równoległo-szeregowymi lub szeregowo-równoległymi w sensie niezawodności.

Systemy szeregowe złożone z dużej liczby elementów spotykamy między innymi w transporcie rurociągowym przy dystrybucji wody, gazu, ropy oraz innych substancji chemicznych. Duże systemy tego typu stosowane są także w energetyce podczas dystrybucji energii elektrycznej. Innym modelowym przykładem systemu szeregowego może być system miejskiego transportu samochodowego, w którym każda z linii autobusowych obsługiwana jest przez jeden autobus i system uważany jest za zdatny gdy na każdej z linii zapewniony jest przewóz pasażerów. Jeśli poszczególne linie dysponują kilkoma autobusami do przewozu pasażerów, system ten można uważać za równolego-szeregowy lub progowo-szeregowy. Najprostszym przykładem systemu równoległego lub progowego jest kabel energetyczny zbudowany z określonej liczby drutów będących jego elementami podstawowymi, podczas gdy linia przesyłowa energii elektrycznej może być potraktowana jako system równoległo-szeregowy lub progowo-szeregowy. Duże systemy tego typu eksploatowane są także w telekomunikacji, w transporcie linowym oraz w transporcie wykorzystującym przenośniki i podnoś iki taśmowe. Systemy transportu linowego takie jak dźwigi portowe i stoczniowe oraz linowe podnośniki statków są modelowymi przykładami systemów równoległo-szeregowych lub progowo-szeregowych. Systemy przenośników i podnośników taśmowych stosowane w transporcie portowym są modelowymi przykładami systemów szeregowych i szeregowo-równoległych.

Z uwagi na bezpieczeństwo oraz efektywność eksploatacji systemów technicznych podczas analizy ich niezawodności wskazanym jest odejście od dwustanowego modelu ich niezawodności. Przyjęcie założenia, że są one wielostanowymi systemami starzejącymi się z powodu pogarszających się w czasie stanów niezawodnościowych ich elementów jest podstawą do bardziej dokładnej analizy procesu eksploatacji tych systemów. Założenie to pozwala na wyróżnienie progowego stanu krytycznego systemu, którego przekroczenie jest niebezpieczne dla otoczenia lub też nie zapewnia odpowiedniego poziomu efektywności eksploatacji tego systemu. Wtedy podstawową charakterystyką niezawodnościową systemu staje się rozkład czasu do przekroczenia stanu progowego zwany funkcją ryzyka systemu. Rozkład ten jest ściśle wyznaczony przez wielostanową funkcję niezawodności systemu.

Wyznaczanie dokładnych funkcji niezawodności oraz funkcji ryzyka dużych systemów prowadzi do dość skomplikowanych i często bezużytecznych dla praktyków wzorów. Jedną z ważnych technik dla systemów dużej skali jest podejście asymptotyczne do oceny ich niezawodności. W podejściu tym, zamiast początkowego złożonego wzoru na funkcję niezawodności systemu, poprzez przyjęcie założenia, że liczba elementów systemu zmierza do nieskończoności i znalezienie jego granicznej funkcji niezawodności, otrzymuje się uproszczoną postać tego wzoru.

1.2. *Stan zagadnienia*

Metody matematyczne stosowane w asymptotycznym podejściu do oceny niezawodności dużych systemów technicznych oparte są na twierdzeniach granicznych o rozkładach statystyk pozycyjnych rozważanych w bardzo obszernej literaturze [Anderson,1970, Barndorff-Nielsen, 1963, Berman, 1962, 1964, Chernoff, Teicher, 1965, De Haan, 1970, Dziubdziela, 1977, Fisher, Tippet, 1928, Frechet, 1927, Galambos, 1975, Gniedenko, 1943, Gumbel, 1935, 1962, Kopociński 1976, Leadbetter, 1974, Resnick, 1973, Smirnow, 1949, Tata, 1969, Von Mises 1936]. Twierdzenia te wygenerowały badania dotyczące granicznych funkcji niezawodności systemów złożonych z elementów dwustanowych [Barlow, Proschan, 1975, Bobrowski, 1985, Brandowski, Kołowrocki, 1979, Cichocki i inni, 1998, Cichocki, 2001, Daniels, 1945, Domsta, Kołowrocki, 1977, Harlow, Phoenix, 1991, Harlow, 1997, Harris, 1970, Jaźwiński, Ważyńska-Fiok, 1990, 1993, Kaufman i inni, 1999, Kołowrocki, 1977, 1979, 1981, 1985, 1987, 1990a-b, 1991a-d, 1992a-e, 1993a-h, 1994a-k, 1995a-f, 1996a-b, 1977a-b, Kołowrocki, Kurowicka, 1998, 1999, Kołowrocki, 1999c-f, Kopociński, 1973, Kurowicka, 1998, Smith, 1982, 1983, Smolarek 1999, Sutherland, Soares, 1997, Watherhold, 1987].

Podstawowe wyniki ustalające trójelementowe klasy możliwych granicznych funkcji niezawodności jednorodnych systemów szeregowych i równoległych otrzymał Gniedenko [Gniedenko, 1943]. Klasa ta w przypadku systemów szeregowych zawiera funkcje niezawodności typu:

$$\bar{\mathfrak{R}}_1(t) = \exp[-(-t)^{-\alpha}] \text{ dla } t < 0, \ \bar{\mathfrak{R}}_1(t) = 0 \text{ dla } t \geq 0, \ \alpha > 0,$$

$$\bar{\mathfrak{R}}_2(t) = 1 \text{ dla } t < 0, \ \bar{\mathfrak{R}}_2(t) = \exp[-t^{\alpha}] \text{ dla } t \geq 0, \ \alpha > 0,$$

$$\bar{\mathfrak{R}}_3(t) = \exp[-\exp[t]] \text{ dla } t \in (-\infty,\infty),$$

natomiast w przypadku systemów równoległych funkcje niezawodności typu:

$$\mathfrak{R}_1(t) = 1 \text{ dla } t \leq 0, \ \mathfrak{R}_1(t) = 1 - \exp[-t^{-\alpha}] \text{ dla } t > 0, \ \alpha > 0,$$

$$\mathfrak{R}_2(t) = 1 - \exp[-(-t)^{\alpha}] \text{ dla } t < 0, \ \mathfrak{R}_2(t) = 0 \text{ dla } t \geq 0, \ \alpha > 0,$$

$$\mathfrak{R}_3(t) = 1 - \exp[-\exp[-t]] \text{ dla } t \in (-\infty,\infty).$$

Wyniki te są prezentowane, niekiedy wraz z innymi ich dowodami, między innymi także w późniejszych pracach Barlowa i Proschana [Barlow, Proschan, 1975], Bobrowskiego [Bobrowski, 1985], De Haana [De Haan, 1970], Kołowrockiego [Kołowrocki, 1999c-d] oraz Kopocińskiego [Kopociński, 1973].

Uogólnienia tych wyników dla jednorodnych systemów progowych uzyskał Smirnow [Smirnow, 1949]. Trójelementowa klasa granicznych funkcji niezawodności dla jednorodnych systemów progowych „k z n” przy ustalonym k zawiera funkcje typu:

$$\mathfrak{R}_1^{(k)}(t) = 1 \text{ dla } t \leq 0, \ \mathfrak{R}_1^{(k)}(t) = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} \frac{t^{-i\alpha}}{i!} \exp[-t^{-\alpha}] \text{ dla } t > 0, \ \alpha > 0,$$

$$\mathfrak{R}_2^{(k)}(t) = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(-t)^{i\alpha}}{i!} \exp[-(-t)^{\alpha}] \text{ dla } t < 0, \ \mathfrak{R}_2^{(k)}(t) = 0 \text{ dla } t \geq 0, \ \alpha > 0,$$

$$\mathfrak{R}_3^{(k)}(t) = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} \frac{\exp[-it]}{i!} \exp[-\exp[-t]] \text{ dla } t \in (-\infty,\infty),$$

natomiast w przypadku gdy k zmierza do nieskończoności w ten sposób, że $k/n \to \lambda$, $0 < \lambda < 1$, przy $n \to \infty$ zawiera funkcje typu:

$$\mathfrak{R}_4^{(k)}(t) = 1 \text{ dla } t < 0,\ \mathfrak{R}_4^{(k)}(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{ct^{\alpha}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \text{ dla } t \ge 0,\ c > 0,\ \alpha > 0,$$

$$\mathfrak{R}_5^{(k)}(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-c|t|^{\alpha}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \text{ dla } t < 0,\ \mathfrak{R}_5^{(k)}(t) = 0 \text{ dla } t \ge 0,\ c > 0,\ \alpha > 0,$$

$$\mathfrak{R}_6^{(k)}(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-c_1|t|^{\alpha}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \text{ dla } t < 0,\ c_1 > 0, \alpha > 0,$$

$$\mathfrak{R}_6^{(k)}(t) = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{0}^{c_2 t^{\alpha}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \text{ dla } t \ge 0,\ c_2 > 0, \alpha > 0,$$

$$\mathfrak{R}_7^{(k)}(t) = 1 \text{ dla } t < -1,\ \mathfrak{R}_7^{(k)}(t) = \frac{1}{2} \text{ dla } -1 \le t < 1, \mathfrak{R}_7^{(k)}(t) = 0 \text{ dla } t \ge 0.$$

Część wyników Smirnowa można znaleźć w pracy Kopocińskiego [Kopociński, 1973] a także, wraz z rozwiązanym zagadnieniem szybkości zbieżności, w pracy Dziubdzieli [Dziubdziela, 1977].

Takie same jak dla jednorodnych systemów równoległych i szeregowych trójelementowe klasy granicznych funkcji niezawodności odpowiednio dla jednorodnych szeregowo-równoległych i równoległo-szeregowych systemów ustalili Chernoff i Teicher w pracy [Chernoff, Teicher, 1965]. Wynik ten dotyczył jedynie tak zwanych systemów „kwadratowych", to znaczy takich jednorodnych systemów szeregowo-równoległych, w których liczba podsystemów szeregowych oraz liczby elementów w tych podsystemach są równe i takich jednorodnych systemów równoległo-szeregowych, w których liczba podsystemów równoległych oraz liczby elementów w tych podsystemach są równe. Wyniki te można znaleźć między innymi także w późniejszych pracach Barlowa i Proschana [Barlow, Proschan, 1975] oraz Kołowrockiego [Kołowrocki, 1999e-f].

Rozszerzenie wyników dotyczących granicznych funkcji niezawodności jednorodnych dwustanowych systemów szeregowych i równoległych na systemy niejednorodne zdefiniowane w niniejszej monografii znajduje się w pracach [Kołowrocki, 1999c-d].

Bardziej ogólny problem ustalenia klas możliwych granicznych funkcji niezawodności dla tak zwanych „prostokątnych", o dowolnych kształtach jednorodnych dwustanowych systemów szeregowo-równoległych i równoległo-szeregowych, to znaczy takich, w których liczba podsystemów oraz liczby elementów w tych podsystemach są różne, stopniowo rozwiązany został w pracach [Kołowrocki, 1993e-h, 1994f, 1994h]. Głównym wynikiem tych prac było znalezienie siedmiu nowych granicznych funkcji niezawodności zarówno dla jednorodnych systemów szeregowo-równoległych jak i dla jednorodnych systemów równolego-szeregowych i ustalenie dziesięcioelementowych klas możliwych takich funkcji dla tych systemów oraz wskazanie faktu, że typ granicznej funkcji niezawodności systemu zależy od jego kształtu. Wyniki te pozwalają oceniać niezawodność systemów szeregowo-równoległych i równoległo-szeregowych o strukturach regularnych, to znaczy takich systemów, których wszystkie podsystemy posiadają tyle samo elementów.

Uogólnienia tych wyników dla niejednorodnych regularnych systemów szeregowo-równoległych oraz równoległo-szeregowych zdefiniowanych w niniejszej rozprawie sformułowane i udowodnione zostały w pracach [Kołowrocki, 1993h, 1994e, 1994g-h, 1995f]. Uogólnienia te pozwalają oceniać także niezawodność systemów szeregowo-równoległych i równoległo-szeregowych o strukturach nieregularnych, to znaczy takich systemów, których podsystemy mają różne liczby elementów.

W dotychczas cytowanych pracach, obok rozważań teoretycznych, można znaleźć praktyczne zastosowania metody asymptotycznego podejścia do oceny niezawodności systemów technicznych [Daniels, 1945, Harlow, Phoenix, 1991, Harlow, 1997, Harris, 1970, Kaufman i inni, 1999, Kołowrocki, 1995e, 1996a, 1997b, Kołowrocki, Kurowicka, 1998, 1999, Kołowrocki, 1999c-f, 2000i, Smith, 1982, 1983, Smolarek, 1999, Sutherland, 1997, Watherhold, 1987].

Bardziej ogólne systemy złożone z wielostanowych starzejących się elementów, odgrywające istotną rolę w praktyce niezawodności i bezpieczeństwa rozważane są między innymi w pracach [Barlow, Wu, 1978, Block, Savitis, 1982, El-Neweihi i inni, 1978, Griffith, 1980, Hudson, Kapur, 1997, Meng, 1993, Natvig, 1982, Prasad i inni, 1999, Ross, 1979, Xue, 1985, Xue, Yang, 1995a-b].

Szczególnie istotną rolę w zagadnieniach związanych z efektywnością i bezpieczeństwem eksploatacji systemów technicznych odgrywają zdefiniowane w niniejszej pracy duże systemy wielostanowe ze starzejącymi się elementami.

Główne wyniki badań własnych autora, będące uogólnieniem rezultatów dotyczących granicznych funkcji niezawodności systemów dwustanowych polegającym na przeniesieniu ich na szeregowe, równoległe, szeregowo-równoległe i równolego-szeregowe wielostanowe systemy ze starzejącymi się elementami, znajdują się w pracach [Grabski, Kołowrocki, 1999, Kołowrocki, 1997c-d, 1998a-d, Kołowrocki i inni, 1998, Kołowrocki, 1999a-b, 1999g-l, Kołowrocki, Milczek, 1999, Kołowrocki, Smolarek, 1999, Kołowrocki, 2000a-j, Kołowrocki, Smolarek, 2000]. Niektóre z tych prac zawierają zastosowania asymptotycznego podejścia do oceny niezawodności różnorodnych systemów technicznych [Grabski, Kołowrocki, 1999, Kołowrocki, 1998a, 1998d, 1999b, 1999g-l, Kołowrocki, Milczek, 1999, Kołowrocki, 2000a-f, Kołowrocki, Milczek, 2000, Kołowrocki, 2000h-j, Kołowrocki, Smolarek, 2000].

Przedstawione wyniki uzyskane zostały przy standaryzacji liniowej czasu zdatności systemu. Możliwe jest poszukiwanie granicznych funkcji niezawodności systemów przy innej niż standaryzacja liniowa. W tym kontekście na uwagę zasługuje praca Pantchevej [Pantcheva, 1984], w której ustalone zostały siedmioelementowe klasy granicznych funkcji niezawodności jednorodnych systemów szeregowych i równoległych przy standaryzacji potęgowej ich czasów zdatności. Do klasy tej należą funkcje niezawodności:

$$\bar{\mathfrak{R}}_1^{(p)}(t) = \exp[-(-t)^{-\alpha}] \text{ dla } t < 0, \quad \bar{\mathfrak{R}}_1^{(p)}(t) = 0 \text{ dla } t \geq 0, \ \alpha > 0,$$

$$\bar{\mathfrak{R}}_2^{(p)}(t) = 1 \text{ dla } t < 0, \quad \bar{\mathfrak{R}}_2^{(p)}(t) = \exp[-t^{\alpha}] \text{ dla } t \geq 0, \ \alpha > 0,$$

$$\bar{\mathfrak{R}}_3^{(p)}(t) = \exp[-\exp[t]] \text{ dla } t \in (-\infty,\infty),$$

$$\bar{\mathfrak{R}}_4^{(p)}(t) = \exp[-(\log|t|)^{-\alpha}] \text{ 1 dla } t < -1, \quad \bar{\mathfrak{R}}_4^{(p)}(t) = 0 \text{ dla } t \geq -1, \ \alpha > 0,$$

$$\bar{\mathfrak{R}}_5^{(p)}(t) = 1 \text{ dla } t < -1, \quad \bar{\mathfrak{R}}_5^{(p)}(t) = \exp[-|\log|t||^{\alpha}] \text{ dla} -1 \leq t < 0,$$

$$\bar{\mathfrak{R}}_5^{(p)}(t) = 0 \text{ dla } t \geq 0, \ \alpha > 0,$$

$$\bar{\mathfrak{R}}_6^{(p)}(t) = 1 \text{ dla } t \leq 0, \quad \bar{\mathfrak{R}}_6^{(p)}(t) = \exp[-|\log t|^{-\alpha}] \text{ dla } 0 < t < 1,$$

$$\bar{\mathfrak{R}}_6^{(p)}(t) = 0 \text{ dla } t > 1, \ \alpha \geq 0,$$

$$\bar{\mathfrak{R}}_7^{(p)}(t) = 1 \text{ dla } t < 1, \quad \bar{\mathfrak{R}}_7^{(p)}(t) = \exp[-(\log t)^{\alpha}] \text{ dla } t \geq 1, \ \alpha > 0,$$

w przypadku systemu szeregowego oraz funkcje niezawodności:

$$\mathfrak{R}_1^{(p)}(t) = 1 \text{ dla } t \leq 0, \ \mathfrak{R}_1^{(p)}(t) = \exp[-t^{-\alpha}] \text{ dla } t > 0, \ \alpha > 0,$$

$$\mathfrak{R}_2^{(p)}(t) = 1 - \exp[-(-t)^{\alpha}] \text{ dla } t < 0, \ \mathfrak{R}_2^{(p)}(t) = 0 \text{ dla } t \geq 0, \ \alpha > 0,$$

$\mathfrak{R}_3^{(p)}(t) = 1 - \exp[-\exp[-t]]$ dla $t \in (-\infty,\infty)$,

$\mathfrak{R}_4^{(p)}(t) = 1$ dla $t \leq 1$, $\mathfrak{R}_4^{(p)}(t) = 1-\exp[-(\log t)^{-\alpha}]$ dla $t > 1$, $\alpha > 0$,

$\mathfrak{R}_5^{(p)}(t) = 1$ dla $t \leq 0$, $\mathfrak{R}_5^{(p)}(t) = 1-\exp[-|\log t|^{\alpha}]$ dla $0 < t < 1$,

$\mathfrak{R}_5^{(p)}(t) = 0$ dla $t \geq 1$, $\alpha > 0$,

$\mathfrak{R}_6^{(p)}(t) = 1$ dla $t \leq -1$, $\mathfrak{R}_6^{(p)}(t) = 1-\exp[-|\log|t||^{-\alpha}]$ dla $-1 < t < 0$,

$\mathfrak{R}_6^{(p)}(t) = 0$ dla $t \geq 0$, $\alpha > 0$,

$\mathfrak{R}_7^{(p)}(t) = 1-\exp[-(\log|t|)^{\alpha}]$ dla $t < -1$, $\mathfrak{R}_7^{(p)}(t) = 0$ dla $t \geq -1$, $\alpha > 0$,

w przypadku systemu równoległego.

1.3. *Cel i zakres pracy*

Praca dotyczy zastosowań granicznych funkcji niezawodności do oceny niezawodności dużych systemów.

Celem pracy jest całościowe opracowanie metody asymptotycznej oceny niezawodności możliwie szerokiej klasy dużych systemów oraz wskazanie możliwości jej praktycznego zastosowania w eksploatacji systemów technicznych.

Zawiera ona uzyskane i opublikowane przez autora uogólnienia i rozszerzenia wyników badań nad granicznymi funkcjami niezawodności systemów dwustanowych i wielostanowych w przypadku standaryzacji liniowej ich czasów zdatności lub odpowiednio czasów przebywania w podzbiorach stanów zdatności.

Prezentowane są uzyskane przez autora kompletne wyniki teoretyczne asymptotycznego podejścia do oceny niezawodności dużych dwu i wielostanowych systemów szeregowych, równoległych, szeregowo-równoległych i równoległo-szeregowych wraz z ich zastosowaniami w transporcie portowym i stoczniowym.

Rozważane są nieodnawialne systemy dwustanowe oraz wielostanowe zbudowane z elementów uszkadzających się niezależnie. Główny nacisk położony został na systemy wielostanowe ze starzejącymi się elementami wobec istotności takiego podejścia w analizie, ocenie i predykcji bezpieczeństwa oraz efektywności eksploatacji systemów. Prezentowane są metody wyznaczania funkcji niezawodności oraz funkcji ryzyka przekroczenia dopuszczalnego stanu niezawodnościowego tych systemów.

Praca zawiera całościowe rozwiązanie postawionego problemu przy zupełnie dowolnych funkcjach niezawodności elementów systemów.

Uzyskane wyniki, w codziennej praktyce, mogą posłużyć jako wygodne narzędzie, niezbędne przy szybkiej ocenie niezawodności dużych systemów technicznych, znajomość której jest istotna podczas projektowania i optymalizacji procesów eksploatacji tych systemów.

Przyjęta została następująca konstrukcja pracy.

W rozdziałach dotyczących systemów dwustanowych przywoływane są przede wszystkim własne wyniki i twierdzenia, dotyczące granicznych funkcji niezawodności tych systemów, wraz z dokładnym wskazaniem publikacji, w których znajdują się ich uzasadnienia bądź dowody. Ponadto przedstawiony jest sposób ich zastosowania w szacowaniu niezawodności dużych systemów technicznych.

W rozdziałach dotyczących systemów wielostanowych sformułowane zostały nowe twierdzenia dotyczące wyznaczania ich wielostanowych granicznych funkcji niezawodności. Twierdzenia te poparte są uzasadnieniami w postaci krótkich dowodów. Następnie zaprezentowany jest sposób zastosowania uzyskanych wyników do oceny niezawodności dużych rzeczywistych systemów transportowych, polegający na sformułowaniu i uzasadnianiu faktów służących do bezpośredniej oceny niezawodności wybranych systemów transportu portowego i stoczniowego.

Po części wstępnej następuje Rozdział 2, w którym wprowadzone zostały niezbędne w dalszych rozważaniach pojęcia podstawowe. Zdefiniowane zostało asymptotyczne podejście do badania niezawodności systemów oraz graniczna funkcja niezawodności systemu.

W Rozdziale 3 zdefiniowane zostały dwustanowe jednorodne i niejednorodne systemy szeregowe, równoległe, szeregowo-równoległe oraz równoległo-szeregowe. W rozdziale tym wyznaczone zostały także dokładne funkcje niezawodności tych systemów.

W Rozdziale 4 wprowadzone zostały podstawowe pojęcia wielostanowej analizy niezawodnościowej systemów. Następnie zdefiniowane zostały wielostanowe jednorodne i niejednorodne systemy szeregowe, równoległe, szeregowo-równoległe oraz równoległo-szeregowe oraz wyznaczone zostały ich funkcje niezawodności. Wprowadzone zostało także pojęcie wielostanowej granicznej funkcji niezawodności systemu oraz funkcji ryzyka systemu.

Rozdział 5 dotyczy granicznych funkcji niezawodności dwustanowych systemów szeregowych, równoległych, szeregowo-równoległych i równoległo-szeregowych. Ustalone zostały w nim trójelementowe klasy możliwych granicznych funkcji niezawodności dla jednorodnych i niejednorodnych systemów szeregowych oraz równoległych. Ponadto przywołane zostały twierdzenia pomocnicze, pozwalające uzasadniać fakty dotyczące sposobu szacowania niezawodności tych systemów. Rozdział ten zawiera także wyniki badań granicznych funkcji niezawodności dwustanowych jednorodnych i niejednorodnych systemów szeregowo-równoległych oraz równoległo-szeregowych. Obok twierdzeń pomocniczych, niezbędnych w praktycznych zastosowaniach, przedstawione są dziesięcioelementowe klasy takich funkcji dla tych systemów. Ponadto przedstawione zostały przykłady zastosowań asymptotycznego podejścia do oceny niezawodności dużych systemów dwustanowych. W oparciu o sformułowane i udowodnione cztery fakty, wyznaczone zostały graniczne funkcje niezawodności, wartości średnie oraz odchylenia standardowe czasów zdatności niejednorodnego modelowego systemu szeregowego, jednorodnego równoległego systemu kabla energetycznego, niejednorodnego szeregowo-równoległego systemu rurociągu oraz modelowego jednorodnego systemu równoległo-szeregowego. Zilustrowana została także dokładność uzyskanych oszacowań niezawodności tych systemów.

Uogólnienie wyników dotyczących granicznych funkcji niezawodności systemów dwustanowych, polegające na przeniesieniu ich na wielostanowe systemy szeregowe, równoległe, szeregowo-równoległe oraz równoległo-szeregowe, zawiera Rozdział 6. Ustalone zostały w nim klasy możliwych granicznych wielostanowych funkcji niezawodności tych systemów w przypadkach, gdy są one zbudowane z identycznych oraz różnych w sensie niezawodności elementów. W rozdziale tym sformułowane i uzasadnione są także twierdzenia pozwalające oceniać niezawodność dużych systemów technicznych tego typu.

W Rozdziale 7, uogólnienia dotyczące granicznych funkcji niezawodności systemów wielostanowych zostały zastosowane do oceny niezawodności oraz wyznaczenia funkcji ryzyka wybranych systemów transportu portowego i stoczniowego. Wyniki asymptotycznego podejścia do oceny niezawodności niejednorodnych wielostanowych systemów szeregowo-równoległych zastosowane zostały do systemu transportu zboża z elewatora na wagony kolejowe w Bałtyckim Terminalu Zbożowym Portu Gdynia. Wyniki asymptotycznego podejścia do oceny niezawodności niejednorodnych wielostanowych systemów szeregowo-równoległych zastosowane zostały do rurociągowego systemu transportu paliwa w Bazie Paliw Nr 21 w Dębogórzu, służącego do odbioru paliwa z tankowców, dostarczających je do pirsu rozładunkowego znajdującego się na falochronie Portu Gdynia. Wyniki asymptotycznego podejścia do oceny niezawodności niejednorodnych wielostanowych systemów szeregowo-równoległych i szeregowych zastosowane zostały do systemu transportowego eksploatowanego w Bałtyckiej Bazie Masowej Portu Gdynia, służącego do załadunku towarów sypkich na statki. Wyniki asymptotycznego podejścia do oceny niezawodności jednorodnych wielostanowych systemów równoległo-szeregowych zastosowane zostały do systemu transportu linowego eksploatowanego w Stoczni Marynarki Wojennej w Gdyni, służącego do dokowania i wydokowania statków. Przeprowadzona analiza niezawodności tych systemów oparta została na danych dotyczących eksploatacji i niezawodności ich elementów uzyskanych od ekspertów oraz z certyfikatów producentów.

Pracę kończy Rozdział 8 będący podsumowaniem zawierającym ocenę przedstawionych wyników, formułujący problemy otwarte dotyczące niezawodności dużych systemów oraz wytyczający perspektywę dalszych badań nad rozważaną problematyką.

Ponadto załączona jest obszerna bibliografia przedmiotu oraz dodatki w postaci spisu symboli oraz streszczenia i spisu treści w języku angielskim.

Krzysztof Kołowrocki

ASYMPTOTYCZNE PODEJŚCIE DO ANALIZY NIEZAWODNOŚCI SYSTEMÓW

Książka zawiera opis metod oraz wyniki badań niezawodności dużych systemów.

Rozważane są nieodnawialne systemy dwustanowe oraz systemy wielostanowe ze starzejącymi się elementami uszkadzającymi się niezależnie.

Ustalone zostały klasy możliwych granicznych funkcji niezawodności dla dwu i wielostanowych jednorodnych i niejednorodnych systemów szeregowych, równoległych, szeregowo-równoległych i równoległo-szeregowych. Problem wyznaczania granicznych funkcji niezawodności dla tych systemów został rozwiązany całościowo przy dowolnych funkcjach niezawodności ich elementów.

Przytoczone zostały przykłady zastosowań wyników do oceny niezawodności modelowych dużych systemów dwustanowych. Wyniki dotyczące systemów wielostanowych zastosowane zostały do oszacowania charakterystyk niezawodnościowych dużych systemów transportu portowego i stoczniowego.

Sformułowane zostały problemy otwarte oraz wytyczona została perspektywa dalszych badań nad metodami oceny i optymalizacji niezawodności dużych systemów.

Monografia przeznaczona jest dla czytelników zainteresowanych badaniami niezawodności oraz bezpieczeństwa eksploatacji dużych systemów technicznych na etapach ich projektowania i eksploatacji.

ISSN 0208-8029

ISBN 83-85847-58-8

W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy prosimy o kontakt z Instytutem Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa
tel. 837-35-78 w. 241 e-mail: bibliote@ibspan.waw.pl