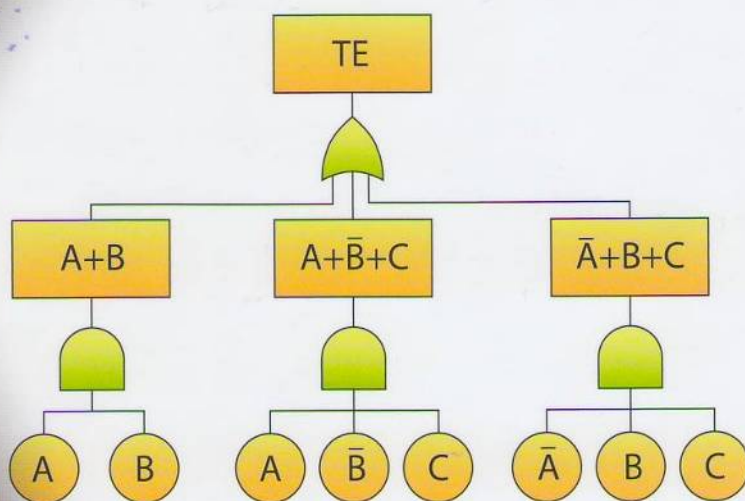


LESZEK CHYBOWSKI

ANALIZA DRZEWA NIEZDATNOŚCI

PODSTAWY TEORETYCZNE I ZASTOSOWANIA



Leszek Chybowski

Analiza drzewa niezdatności

Podstawy teoretyczne i zastosowania

Szczecin 2017

Leszek Chybowski

Analiza drzewa niezdatności. Podstawy teoretyczne i zastosowania

Autor jest pracownikiem Wydziału Mechanicznego
Akademii Morskiej w Szczecinie



W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań finansowanych z funduszu badań statutowych 4/S/IESO/14: „Metody diagnostyczne i efektywna eksploatacja złożonych systemów technicznych w aspekcie profilaktyki uszkodzeń i ochrony środowiska” (wstęp, zakończenie oraz rozdziały 1, 3, 8 i analiza ważności w rozdziale 7.4), funduszu badań statutowych 4/S/ITESO/09 „Niezawodność i bezpieczeństwo mechanizmów okrętowych oraz efektywna eksploatacja siłowni okrętowych w aspekcie profilaktyki uszkodzeń” (rozdziały 2, 4, 5 i 6) oraz Sektorowego Programu Operacyjnego OR 16-61535-OR 1600006/06 Rybołówstwo i przetwórstwo ryb 2004-2006: „Opracowanie wytycznych do modernizacji jednostek rybackich w aspekcie zmniejszenia nakładów energetycznych i oddziaływania na środowisko” w temacie: „Metodyka oceny niezawodności i gotowości eksploatacyjnej układów energetycznych statków rybackich” (rozdział 7 za wyjątkiem analizy ważności przedstawionej w podrozdziale 7.4).

Przedmowa: **mgr inż. Jan Boratyński, 3° MA TRIZ**
Fundacja TRIZ Polska

Recenzenci: **prof. dr hab. inż. Tomasz Nowakowski**
Politechnika Wrocławska

dr hab. inż. Sławomir Żółkiewski
Politechnika Śląska

Redaktor naukowy: **prof. dr hab. inż. Bernard Wiśniewski,**
Akademia Morska w Szczecinie

© Copyright by Leszek Chybowski & Akademia Morska w Szczecinie 2017

ISBN 978-83-64434-12-9

Wydanie I. Nakład 200 egz. Format B5. Ark. wyd. 14,5.
Projekt okładki: Tomasz Kwiatkowski

Opracowanie wydawnicze: Paulina Mańkowska

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA	5
OD AUTORA	7
WYKAZ SYMBOLI I OZNACZEŃ	9
WAŻNIEJSZE TERMINY UŻYTE W PRACY	13
WSTĘP	17
1. WPROWADZENIE	21
2. ANALIZA DRZEWA NIEZDATNOŚCI	27
2.1. Etapy analizy	27
2.3. Zdarzenia	31
2.4. Transfery.....	33
2.5. Bramki	34
3. RELACJE W DRZEWIE NIEZDATNOŚCI	35
3.1. Statyczne koherentne drzewa niezdatności.....	35
3.2. Statyczne niekoherentne drzewa niezdatności.....	48
3.3. Dynamiczne drzewa niezdatności	57
3.4. Powypadkowe drzewa niezdatności	66
4. ELEMENTY TEORII NIEZAWODNOŚCI.....	69
4.1. Charakterystyki obiektów nieodnawialnych	70
4.2. Charakterystyki obiektów odnawialnych	71
4.3. Struktury niezawodnościowe systemów technicznych.....	74
5. ANALIZA JAKOŚCIOWA DRZEWA NIEZDATNOŚCI	93
5.1. Dekompozycja drzewa niezdatności	94
5.2. Jakościowe miary ważności zdarzeń	98
6. ANALIZA ILOŚCIOWA DRZEWA NIEZDATNOŚCI	101
6.1. Miary uszkodzalności i gotowości.....	101
6.2. Ilościowe miary ważności zdarzeń.....	106
7. METAMODELE W ANALIZIE DRZEWA NIEZDATNOŚCI	113
7.1. System energetyczno-napędowy i technologiczny statku rybackiego.....	113
7.2. Modelowanie struktury niezawodnościowej systemu.....	115
7.3. Struktura systemu a jego stan eksploatacyjny	126
7.4. Jakościowa i ilościowa analiza systemu.....	130

8. KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE FTA	139
8.1. Pakiet Reliability Workbench	140
8.2. Pakiet Item Toolkit	143
8.3. Pakiet Windchill Quality Solutions	146
8.4. Platforma Synthesis	149
8.5. Program CARA-FaultTree	151
ZAKOŃCZENIE.....	153
BIBLIOGRAFIA.....	155
ZAŁĄCZNIKI.....	167
WYKAZ RYSUNKÓW I FOTOGRAFII	191
WYKAZ TABEL	196
STRESZCZENIE	197
ABSTRACT	199

PRZEDMOWA

Książka dr. hab. inż. Leszka Chybowskiego wyróżnia się na tle różnych opracowań dotyczących zagadnień eksploatacyjnych, analiz awarii i problematyki zapewnienia niezawodności systemów. Jej wyjątkowość polega na tym, że autor, zanim profesjonalnie zajął się działalnością naukową, przez ponad 10 lat pływał jako oficer mechanik na różnych statkach różnych armatorów. Miał okazję bezpośrednio zetknąć się z odmiennymi podejściami załóg i dowództwa statków do zagadnień dotyczących „maszyny” – jak skrótowo określa się całą infrastrukturę maszyn i mechanizmów okrętowych. Miał także możliwość zapoznania się z różnymi systemami technicznymi elementów „maszyny”. Nie jest to więc tylko rezultat rozmyślań w duchu sformalizowanego opisu systemów, ale coś, co ma solidny podkład praktyki. Młodym naukowcom często brakuje tego bezpośredniego kontaktu z „materią”, absolutnie niezbędnego dla prawidłowego rozumienia zagadnień praktycznych i ujęcia ich w teoretyczne analizy. Warto przypomnieć, że zasadą kształcenia w słynnym, amerykańskim MIT – jednej z najlepszych uczelni świata – jest osobiste i własnoręczne projektowanie i wykonywanie np. stanowisk badawczych, prowadzenie badań i ich opracowanie. Powszechnie wiadomo, jakie to daje rezultaty.

Książka Leszka Chybowskiego prezentuje się jako eleganckie opracowanie naukowe, a Autor jako sprawnie władający warsztatem analitycznym, a jednocześnie mający solidną praktykę.

Prowokuje jednak ona do pytania: dla kogo jest przeznaczona? Przede wszystkim czytelnicy tacy, jak: pracownicy naukowcy i analitycy zajmujący się teoretycznymi aspektami niezawodności, analizą łańcucha przyczynowo-skutkowego, optymalizacją problemów eksploatacyjnych itp. będą mogli w pełni z niej korzystać.

Szeregowi inżynierowie, zajmujący się eksploatacją systemów technicznych, na ogół mają „odchylenie” w kierunku praktycyzmu i wolą mniej sformalizowane opracowania. Dla nich ta książka może być drogowskazem, wskazującym czego należy się nauczyć.

Teoria niezawodności i zespół zagadnień z nią związanych, jest stosunkowo młodą dziedziną nauki. Pierwsze poważne opracowania pojawiły się dopiero w latach 50. ubiegłego stulecia. Niektórzy specjaliści twierdzą, że program rakietowy von-Brauna nie powiódł się, gdyż główną jego zasadą kształtowania skuteczności rakiet była strategia podnoszenia niezawodności kolejno ujawniających się awaryjnych ogniw systemu, co – jak dziś wiadomo – nie mogło zagwarantować mu sukcesu (na szczęście!).

Gwałtowny rozwój systemów informatycznych i technik łączności, zwłaszcza w ostatnich 20–30 latach okazał się dziś silnym stymulatorem dla rozwoju teorii niezawodności i eksploatacji dużych, złożonych systemów. Równolegle takie

systemy, jak: transport lotniczy, morski i kolejowy, przy jednoczesnej intensyfikacji ich efektywności, prowadzą do rozwoju zarówno elementów systemów, jak i systemów sterowania tymi kompleksami. Awaria pojedynczego komponentu systemu transportu morskiego, lotniczego, czy kolejowego – przy czym komponentem w tych systemach jest: samolot, statek, skład kolejowy – prowadzi do ogromnych strat materialnych i tragedii ludzkich. Twórcy i użytkownicy takich systemów będą musieli jednak „wejść w teorię”, w czym niewątpliwie może pomóc monograficzne opracowanie Leszka Chybowskiego.

Bardzo cennym dodatkiem jest pokazanie wsparcia informatycznego analizy drzew niezdatności i zilustrowanie tego problemu przykładami z pokazaniem treści prezentowanych na ekranach komputerów w różnych stadiach analizy.

Książka ta powinna się znaleźć w bibliotece każdego projektanta i każdego eksploatatora zarządzającego złożonymi systemami technicznymi. Wspólnym ich celem jest eliminacja awarii zależnych od systemu i skrócenie czasów niezdatności, wynikających ze zużycia i „zmęczenia” materii. Zagrożeniem powinien pozostać wyłącznie czynnik sił przyrody i... człowiek, jako nie do końca doskonały operator techniki.

Jan Boratyński

OD AUTORA

Składam podziękowanie Ministerstwu Nauki i Szkolnictwa Wyższego za wsparcie finansowe badań będących przedmiotem niniejszej pracy. Bardzo dziękuję wszystkim życzliwym osobom za wsparcie merytoryczne i edytorskie, a także Przedmówcy i Recenzentom za cenne uwagi, które istotnie przyczyniły się do poprawy strony naukowej monografii. Szczególne podziękowania kieruję jednak do mojej żony – za motywację i inspirację.

Leszek Chybowski

ANALIZA DRZEWIA NIEZDATNOŚCI PODSTAWY TEORETYCZNE I ZASTOSOWANIA

Streszczenie

W pracy przedstawiono syntezę zagadnień prowadzenia analizy drzewa niezdatności (FTA) w odniesieniu do złożonych systemów technicznych na przykładzie podsystemów siłowni okrętowej statku morskiego. Przedstawiono rys historyczny rozwoju metody oraz dokonano przeglądu jej zastosowań. Omówiono szczegółowo etapy prowadzenia analizy drzewa niezdatności.

Opisano wybrane problemy związane z modelowaniem uszkodzalności systemów. Dokonano dogłębnej klasyfikacji i scharakteryzowano zdarzenia elementarne, pośrednie i szczytowe; transfery oraz operatory modelujące relacje przyczynowo-skutkowe. Scharakteryzowano i poparto przykładami zastosowanie różnego rodzaju bramek. Opisu dokonano, klasyfikując bramki ze względu na cechy budowanego drzewa niezdatności. W pracy wyszczególniono statyczne koherentne drzewa niezdatności, statyczne niekoherentne drzewa niezdatności, dynamiczne drzewa niezdatności oraz wypadowe drzewa niezdatności.

Zestawiono podstawowe informacje z zakresu teorii niezawodności związane z opisem obiektów nieodnawialnych i odnawialnych oraz modelowaniem struktury niezawodnościowej złożonych systemów technicznych. Relacje przyczynowo-skutkowe występujące w podstawowych strukturach niezawodnościowych zamodelowano drzewami niezdatności.

Szczegółowo opisano wraz z przykładami obliczeniowymi zagadnienia jakościowej i ilościowej analizy drzewa niezdatności. Omówiono analityczne i symulacyjne niezawodnościowe miary niezawodności i gotowości systemów oraz ważności elementów.

Przedstawiono autorską metodykę analizy złożonych wielostanowych systemów technicznych opartą na metamodelu wykorzystującym wektor zdarzeń zewnętrznych modelujący zmiany w konfiguracji elementów systemu. Przeprowadzono przykładową analizę ważności elementów oraz wyznaczono gotowości systemu energetyczno-napędowego i technologicznego statku rybackiego dla różnych stanów eksploatacyjnych i różnego wyposażenia statku. Porównano rankingi ważności uzyskane w oparciu o różne miary i stany systemu.

Kolejno dokonano charakterystyki wybranych komputerowych programów wspomagających analizę FTA. Dokonano zestawienia najważniejszych cech oprogramowania poszczególnych producentów. Cechy tych programów zestawiono w postaci tabel, które umożliwiają porównanie pakietów i wybór najbardziej odpowiedniego do wymaganego zakresu prowadzonej analizy.

Pracę zamyka zakończenie wraz z nakreśleniem wybranych kierunków dalszych badań w przedmiotowej tematyce. Załączniki prezentują aplikację analizy drzewa niezdatności w ocenie działania wybranych instalacji siłowni okrętowych statków morskich.

FAULT TREE ANALYSIS THEORY AND APPLICATIONS

Abstract

The book presents a synthesis of different aspects connected with the Fault Tree Analysis (FTA) applied to complex technical systems (CTS) represented by subsystems of a ship's power plant. It also shows the development of the method from the historical point of view and provides an overview of its applications while the stages of the FTA in detail.

The book is an attempt to describe selected issues of modelling the system's susceptibility to damages. It offers a detailed classification and description of primary, intermediate and top events together with transfers and operators modelling the cause-and-effect relations. It both characterises the application of different kinds of gates supported by examples and classifies the types of the gates depending on the type of the constructed fault tree. In this monograph you can find a description of static coherent and incoherent, dynamic and evidence fault trees.

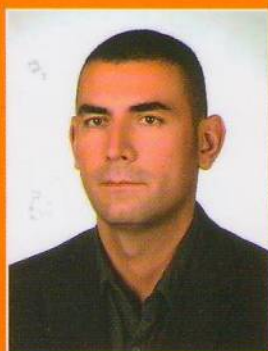
The book offers an introduction to the reliability theory, the description of restorable and non-restorable objects and modelling of a CTS reliability structure in particular. It also clarifies the cause-and-effect relations found in elementary reliability structures which have been modelled by fault trees.

What you can read in detail is qualitative and quantitative fault tree analysis with numerical examples. The monograph attempts to discuss measures of system reliability and availability, and component importance obtained by analytical and simulation methods.

Moreover, it presents a new methodology for analysing complex, multistate technical systems which is based on a metamodel using an external events vector which models the changes in the system component configuration. The book offers an example of the component importance analysis and availability calculation for a fishing vessel's propulsion and technological system in different operational states. It compares the importance rankings obtained by applying different measures for different operational states.

Next, the book describes selected computer software aiding the FTA and highlights its most significant features implemented by different developers. You can find these features in tables comparing the software packages to show the most appropriate tools depending on the type of the analysis.

Final conclusions and directions for future research close this book. The appendices contain examples of the FTA application to evaluate the operation of selected systems in marine power plants.



dr hab. inż., II of. mech okr.
Leszek Chybowski

Jest absolwentem Wydziału Mechanicznego Wyższej Szkoły Morskiej w Szczecinie. Od 2005 roku pracuje w Instytucie Eksploatacji Siłowni Okrętowych w Akademii Morskiej w Szczecinie.

Zajmuje się badaniami z zakresu niezawodności, bezpieczeństwa i oceny stanu systemów technicznych oraz aplikacji metod systematycznego tworzenia innowacji. Opracował metodykę oceny ważności elementów w strukturze niezawodnościowej złożonych systemów technicznych.

Posiada wieloletnie doświadczenie w pracy na morzu jako oficer mechanik okrętowy w siłowniach wielozadaniowych statków oceanotechnicznych, statków do badań sejsmicznych oraz masowców i kontenerowców. Jest wynalazcą oraz autorem/współautorem ponad 100 polskich i zagranicznych publikacji naukowych. Wyniki jego badań zostały zaprezentowane na kilkudziesięciu międzynarodowych konferencjach naukowych.

Książka ta powinna się znaleźć w bibliotece każdego projektanta i każdego eksploatatora zarządzającego złożonymi systemami technicznymi. Wspólnym ich celem jest eliminacja awarii zależnych od systemu i skrócenie czasów niezdatności, wynikających ze zużycia i „zmęczenia” materii.

mgr inż. Jan Boratyński
Fundacja TRIZ Polska

... na polskim rynku wydawniczym brakuje obecnie aktualnego polskojęzycznego podręcznika poświęconego metodzie analizy drzew niezdatności. [...] Najbardziej wartościową częścią pracy jest synteza wiedzy teoretycznej o metodzie analizy drzew niezdatności.

prof. dr hab. inż. Tomasz Nowakowski
Politechnika Wrocławska

... praca jest wartościowa poprzez istotny wkład naukowy [...] w dziedzinie identyfikacji oraz analizy zagrożeń w układach techniki okrętowej [...], stanowi spójne tematycznie dzieło, przedstawiające w sposób oryginalny i twórczy aplikację analizy drzewa niezdatności ...

dr hab. inż. Sławomir Żółkiewski
Politechnika Śląska



ISBN 978-83-64434-12-9