ISSN 1733-8670

ZESZYTY NAUKOWE NR 5(77)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE

OBSŁUGIWANIE MASZYN I URZĄDZEŃ OKRĘTOWYCH
O M i U O 2 0 0 5

Zbigniew Matuszak

Wybrane zagadnienia dotyczące opisu systemów technicznych

Słowa kluczowe: system techniczny, modele systemów technicznych,
badanie systemów technicznych, relacje w systemach technicznych

W artykule scharakteryzowano wybrane definicje systemów technicznych. Opisano niektóre relacje zachodzące w takich systemach. Przedstawiono modele systemów możliwe do wykorzystania w badaniu systemów siłowni okrętowych. Przedstawiono narzędzia formalne używane do tworzenia modeli systemów technicznych.

Selected Problems in Description of Technical Systems

Key words: technical system, models of technical systems,
technical systems research, relations in technical systems

Selected definitions of technical systems have been characterized. Some of the relations in technical systems have been presented. Models of systems, which can be applied in marine power plants' research, were demonstrated. Formal tools used for the modeling of technical systems were also presented.

Wprowadzenie

Siłownia okrętowa jest szczególnie złożonym systemem technicznym. Występująca w literaturze znaczna liczba pojęć i definicji związanych z określeniem systemu technicznego i zależności w nim występujących powoduje, że wskazane jest pewnego rodzaju uporządkowanie pojęć spotykanych na ten temat, a mających zastosowanie w odniesieniu do systemów technicznych siłowni okrętowych.

Poniżej dokonano przeglądu wybranych definicji związanych z pojęciem systemu technicznego, modeli systemów i relacji w nim zachodzących.

Prezentowany z konieczności w skrócie materiał ma z jednej strony pokazać obszerność zagadnienia, a z drugiej jest próbą ograniczenia analizy do najbardziej przydatnych w badaniach systemów (instalacji) siłowni okrętowych.

1. Określenia systemu technicznego

Badanie wyizolowanych elementów i na tej podstawie wyrabianie poglądu o tworzonej przez nie całości nie umożliwia właściwego poznania całości, która według Arystotelesa jest czymś więcej niż sumą jej części [9]. Między elementami i między ich właściwościami występują bowiem relacje, które łącznie z właściwościami określają wyczerpująco całość, jaką jest składający się z elementów obiekt, czyli system [9].

Każdego rozpatrywanego obiektu nie można w sposób bezwzględny zaklasyfikować do systemów lub nie systemów, bez określenia celu jego badania, który z kolei wyznacza relację systemotwórczą [1].

A.D. Hall [4] twierdzi, że system jest zbiorem obiektów wraz z relacjami istniejącymi między tymi obiektami i między ich własnościami.

Według G.J. Klira [9] termin system oznacza układ pewnych elementów powiązanych ze sobą wzajemnie tak, że tworzą całość. Obiekt techniczny jest w tym rozumieniu systemem. Układ elementów można rozpatrywać *od zewnątrz* i *od wewnątrz*. *Od zewnątrz* jest traktowany jako całość; *od wewnątrz* jest zbiorem, np. podzespołów i elementów. Stosowanie pojęć *system* i *podejście systemowe* traktowane jest jako zasada porządkowania czy też sposób myślenia lub sposób rozwiązywania problemu, wynikający z potrzeby wszechstronnego spojrzenia na obiekty i zjawiska.

Najogólniej można przyjąć, że:

System jest parą uporządkowaną $\langle M, S \rangle$ *składającą się ze zbioru M i ciągu S, określonego jako relacje R; M nazywa się zbiorem elementów, a S strukturą systemu.*

Należy zwrócić uwagę na to, że powyższa definicja dotyczy pewnej, stacjonarnej chwili czasu życia systemu. Można określić, że zespół obiektów *A* może wejść w skład systemu jeżeli stanie się zbiorem elementów *E*, a więc gdy każdemu obiektowi zostanie przypisana pewna cecha, posiadająca charakter systemotwórczy. Aby zbiór stał się systemem, musi być w nim określona relacja *R*. Zgodnie z definicją, system stanowi parę uporządkowaną $\langle A,R\rangle$ a nie zbiór $\{A,R\}$. Tak więc relacja *R*, nazywana strukturą systemu, nie jest zbiorem relacji między elementami $\{R_1, R_2\}$, lecz ciągiem relacji $\langle R_1,R_2\rangle$.

Dla systemu złożonego relację *R* nazywa się *wielociągiem relacji*. W najprostszym przypadku, gdy relacja *R* jest dwustanowa, wówczas z definicji: $R \subseteq \mathrm{A} \times \mathrm{A}$. Dwuargumentowa relacja określana w *A* jest podzbiorem zbioru $A \times \mathrm{A}$ lub inaczej: relacja dwuargumentowa *R*, określona w zbiorze *A*, jest zbiorem par uporządkowanych, złożonych z elementów zbioru *A*.

Według J. Dietrycha [3] system jest definiowany w następujący sposób:

System techniczny jest własnością układu sprzężonych środków technicznych umożliwiających przekształcenia masy, energii i informacji.

W takim ujęciu definicja obejmuje własności wszelkich układów, w których są realizowane złożone działania przekształcające, np. działania logiczne i matematyczne; przedmiotem przekształceń jest w takim przypadku informacja zapisana odpowiednimi znakami.

Jeżeli wymienia się relacje, to na mocy implikacji logicznej wynika istnienie zbioru elementów, między którymi istnieją relacje. W przeciwstawieniu do innych sposobów pojmowania systemu, przyjmuje się jako istotę systemu nie tylko relacje sprzężeń lecz również relacje przekształceń. Relacje sprzężeń wskazują na złożoność systemu [3].

Rzeczywisty obiekt badań (system techniczny, urządzenie, otoczenie urządzenia, jednostka badawcza) lub abstrakcyjny (zbiór ocen i kryteriów ocen) rozpatrywany jest jako system, tzn. organizowana na potrzeby procesu badawczego jednostka zbudowana z podsystemów. System posiada strukturę *SS*, tzn. wewnętrzne uporządkowanie z określonego punktu widzenia swoich podsystemów. Opisany jest trójką:

$$SS = \langle E,W,R\rangle \tag{1}$$

jako zbiorem wszystkich wyróżnionych podsystemów $E = \{E_i\}$, $i = 1, 2,...$ uwzględniających własności podsystemów (wg pracy [8]: cech umożliwiających uszczegółowienie i identyfikację obiektu w pożądanym stopniu) $W = \{W_i\}$, $i = 1, 2,...$ na które składają się cechy mierzalne i niemierzalne oraz zbioru relacji $R = \{R_i\}$, $i = 1, 2,...$ zachodzących między podsystemami i własnościami podsystemów. System posiada organizację hierarchiczną. Odwzorowuje ona

rozmieszczenie podsystemów o określonych własnościach oraz sposoby łączenia tych podsystemów. Ze względu na swoiste cechy systemu oraz potrzebę ich rozpoznawania, zbiór podsystemów jest dekomponowany na podsystemy pierwszego, a następnie prostsze w budowie, drugiego, ..., *n*-tego poziomu, tzn. tak wysokiego, po osiągnięciu którego uzyskuje się podsystemy proste, niepodzielne, elementarne. Równocześnie z dekompozycją podsystemów następuje dekompozycja ich własności i zachodzących relacji na bardziej szczegółowe tak, że na *n*-tym poziomie wydzielone zostają ze zbiorów *E, W, R* podzbiory podsystemów E_n ich własności W_n oraz relacje R_n. Strukturę systemu na *n*-tym poziomie dekompozycji opisać zatem można jako:

$$SS_n = \langle E_n, W_n, R_n \rangle \tag{2}$$

Ze względu na określone kryterium badany może być system lub jego część, nazywana przekrojem, zbudowana z wyselekcjonowanych podsystemów, ich własności oraz relacji.

System oddziałuje na inne systemy zbudowane z podsystemów nie należących do niego. Cechę charakteryzującą to oddziaływanie nazwano w pracy [11] własnością i definiowano jako *cechę identyfikacyjną systemu ze względu na relację do jakości innego systemu*. Właściwości systemu mogą być odnoszone do systemów równoznacznych, nadrzędnych i podrzędnych i zależnie od zakresu badań są one identyfikowane z różnym stopniem szczegółowości. Mogą też być pomijane i wówczas system jest traktowany jako wyizolowany (zamknięty).

2. Wybrane modele systemów

Instalacja, system techniczny lub urządzenie może być badane za pośrednictwem modelu niezawodnościowego *MN*. Budowa jego poprzedzona jest dwoma kolejno budowanymi modelami: konstrukcyjnym *MK* i funkcjonalnym *MF*, przystosowanymi do badań niezawodności.

Model *MK* budowany jest na podstawie dokumentacji, którą traktuje jako system zamknięty. *MK* jednoznacznie odwzorowuje konstrukcję urządzenia czy instalacji. Struktura konstrukcyjna opisująca model ma postać:

$$SK = \langle E^{(SK)}, W^{(SK)}, R^{(SK)} \rangle \tag{3}$$

i nazywana jest zbiorem podsystemów konstrukcyjnych $E^{(SK)}$, zbiorem własności $W^{(SK)}$, które charakteryzują budowę i stan techniczny instalacji oraz zbiorem zależności i oddziaływań $R^{(SK)}$ zachodzących między własnościami. Struktura konstrukcyjna instalacji lub urządzenia technicznego jest strukturą

hierarchiczną. Wyróżnić w niej można na poszczególnych poziomach: układy, zespoły, podzespoły, ..., części, identyfikowane za pośrednictwem numerów kodowych. Badania mogą być realizowane na *n*-tym poziomie dekompozycji maszyny, także dotyczyć określonego jej przekroju.

Model *MF* budowany jest na podstawie modelu *MK* instalacji, która realizuje określony proces roboczy, nazywany funkcją *F*. Funkcja jest dekomponowana na składowe pierwszego $(F_{11}, F_{21}, ...)$, drugiego $(F_{12}, F_{22}, ...)$, *m*-tego stopnia dekompozycji $(F_{1...m}, F_{2...m}, ...)$, na którym według przyjętego kryterium uzyskuje się składowe podstawowe, niepodzielne, nazwane stanami. Są one przypisane do zbioru chwil czasowych *T*. Funkcjonowanie systemu opisuje funkcja *g* odwzorowująca zbiór chwil *T* w zbiór stanów:

$$g : T \rightarrow F \tag{4}$$

Określa ona także organizację zmian stanów. W przyjętych granicach zmienności organizacja ta jest ustalona i niezmienna. Wyselekcjonowane ze zbioru $E^{(SK)}$ podsystemy zostają przyporządkowane jako (bezpośrednio lub pośrednio) uczestniczące w realizacji funkcji *F*. Nazywa się je podsystemami funkcjonalnymi (blokami, układami, zespołami, ...), oznacza $E^{(SF)}$ i czasem identyfikuje numerami kodowymi. Stanowią one podstawę określenia struktury funkcjonalnej:

$$SF = \left\langle E^{(SF)}, W^{(SF)}, R^{(SF)} \right\rangle \tag{5}$$

gdzie:

$W^{(SF)}$ – zbiór własności funkcjonalnych maszyny (parametrów diagnostycznych),

$R^{(SF)}$ – zbiór oddziaływań i zależności między powyższymi własnościami.

Struktura *SF* ma organizację hierarchiczną, budowaną z wyselekcjonowanych do realizacji składowych funkcji *F* podsystemów. Zbiory podsystemów $E^{(SK)}$ oraz $E^{(SF)}$ mogą być jednoznacznie lub niejednoznacznie odwzorowane, a funkcjonująca instalacja może być rozpatrywana jako system zamknięty lub otwarty.

Model niezawodnościowy *MN* zawierać musi dane wejściowe do badań i oceny. Jest budowany dla systemu eksploatowanego w określonych warunkach. Jego strukturę niezawodnościową można opisać trójką:

$$SN = \left\langle E^{(SN)}, W^{(SN)}, R^{(SN)} \right\rangle \tag{6}$$

tj.:

- zbiorem podsystemów $E^{(SN)}$ identyfikowanych za pośrednictwem numerów kodowych. Zbiór ten jest często, zgodnie z celem badań, ograniczany do podsystemów wyselekcjonowanych ze względu na określone kryterium;
- zbiorem własności niezawodnościowych $W^{(SN)}$, który jest przypisany do zbioru cech niezawodnościowych i musi zawierać się w określonym przez producenta zbiorze wymagań C_W, charakterystycznych dla urządzenia określonej marki czy typu. Świadomy podejmowanego przy ustaleniu tych wymagań ryzyka producent wprowadza ograniczenia zabezpieczające: zasoby czasu pracy do uszkodzenia podsystemów, a także wymagania dotyczące zarówno możliwości zastosowania urządzeń, tzn. realizacji funkcji F w dopuszczalnych granicach F_0, jak i eksploatowania ich w określonych warunkach opisanych zbiorem cech WE, który musi zawierać się w zbiorze cech WE_0 uznanych za skrajne;
- zbiorem $R^{(SN)}$ zależności i oddziaływań, jakie zachodzą między własnościami podsystemów. Zbiór ten charakteryzuje konfigurację podsystemów, a jednocześnie ich stany niezawodnościowe przekształca w stan niezawodnościowy systemu. Opisują to modele matematyczne niezawodności.

Urządzenie techniczne, a także instalacja reprezentowane są w systemie oceny SC przez model niezawodności. Ocena niezawodności jest oceną kompleksową, na którą składają się oceny poszczególnych cech. Może być też oceną wycinkową co najmniej jednej z nich. Odnoszona jest do urządzenia lub hierarchicznej struktury jego podsystemów. Może być przypisana do systemu technicznego eksploatowanego w określonych warunkach. Wszystkie oceny klasyfikowane według ustalonej zasady tworzą system oceny SC, którego strukturę można zapisać jako:

$$SC = \left\langle C^{(SC)}, D^{(SC)}, R^{(SC)} \right\rangle \tag{7}$$

gdzie:

$C^{(SC)} = \left\{C_i^{(SC)}\right\}$, i = 1, 2... – zbiór wszystkich podsystemów ocen,

$D^{(SC)} = \left\{D_i^{(SC)}\right\}$, i = 1, 2... – zbiór wszystkich kryteriów ocen,

$R^{(SC)} = \left\{R_i^{(SC)}\right\}$, i = 1, 2, ... – zbiór relacji charakteryzujących specyfikę i zakres oddziaływania ocen.

Struktura SC jest strukturą hierarchiczną. Hierarchiczna struktura systemu ocen jest podporządkowana hierarchicznej strukturze niezawodności systemu. Ograniczeniem dla tego porządku jest możliwość fizycznej interpretacji ocen.

Ocena niezawodności stanowiąca podstawę oceny jakości systemu lub urządzenia, nazywana jest oceną zbiorczą, wymaga pozyskiwania ocen cząstkowych (pierwotnych) z określonego horyzontu czasu. Oceny cząstkowe stanowią wynik rozpoznania faktów indywidualnych opisanych w *MN*, traktowanych jako zmienne losowe definiowane na podstawie:

- skokowych zmian stanów niezawodnościowych maszyny, występujących w czasie $t = 0$, a opisanych relacjami: $1\ R\ 0$, $0\ R\ 1$;
- przebywania w czasie $t > 0$ między zmianami stanów zgodnie z relacją $1\ R\ 1$, $0\ R\ 0$.

Ocena cząstkowa stanowi wynik procesu oceniania (*PC*), który można opisać według [7] relacją między podmiotem oceny (*A*), przedmiotem ocenianym, tzn. obiektem technicznym traktowanym jako system (*S*), kryterium oceny (*D*) i oceną (*C*):

$$PC \subset A \times S \times D \times C \tag{8}$$

gdzie:

$A = \{A_i\}$ $i = 1, 2, \ldots$ – zbiór ekspertów działających indywidualnie lub kolektywnie;

$S = \{S_i\}$ $i = 1, 2, \ldots$ – reprezentatywny zbiór ocenianych systemów eksploatowanych w *SE*;

$D = \{D_i\}$ $i = 1, 2, \ldots$ – zbiór kryteriów oceny niezawodności i przypisanych do tych cech zmiennych losowych,

$C = \{C_i\}$ $i = 1, 2, \ldots$ – zbiór ocen niezawodności przypisanych do zbioru zmiennych losowych.

Ocena cząstkowa wymaga przypisania zdarzenia do obiektu $S_i \subset S$ oraz jego podsystemów, a następnie zapisu mierzalnych cech opisujących zmienną losową (np. czasu, przebiegu, ...) i opisu niemierzalnych cech w postaci przyjętych kodów (np. postaci uszkodzenia). Oceny zbiorcze opracowane są *ex post* na podstawie ocen cząstkowych z określonego horyzontu czasu. Są ocenami statystycznymi lub probabilistycznymi. Ocena ilościowa badanego zdarzenia nie zawsze jest wystarczająca, np. uszkodzenie, naprawa, warunki eksploatacji opisywane są też zbiorami cech charakteryzujących określone zdarzenia (np. postać, przyczyna, skutek uszkodzenia). Wyróżnia się przypadki wykazywania w ocenie zbiorczej wszystkich występujących cech, cech dominujących (najbardziej prawdopodobnych) albo wyselekcjonowanych ze względu na określone kryterium. Zbiorcze oceny niezawodności zestawione są wg przyjętych zasad. Mogą mieć na uwadze różne cele, np. rozpoznanie, porównanie, kontrolę poziomu niezawodności każdej z badanych lub wybranej cechy niezawodności.

System badań obejmuje wszystkie elementy uczestniczące w przygotowaniu i realizacji badań. Budowa tego systemu podporządkowana jest celowi badań określonej instalacji lub urządzenia eksploatowanego w określonych warunkach. System badań posiada strukturę, którą opisać można jako:

$$SB = \left\langle E^{(SB)}, W^{(SB)}, R^{(SB)} \right\rangle \tag{9}$$

tj.:

$E^{(SB)}$ – zbiór wszystkich podsystemów,
$W^{(SB)}$ – zbiór wszystkich własności podsystemów,
$R^{(SB)}$ – zbiór relacji między własnościami podsystemów.

Struktura *SB* jest strukturą hierarchiczną. Kryteria budowy struktury hierarchicznej mogą być różne i wynikają z problemów merytorycznych i organizacyjnych. Są one charakterystyczne dla różnych etapów badań, np. rozpoznawczych, pilotowanych prowadzonych metodą oceny subiektywnej, uruchamiania i prowadzenia badań zasadniczych, statystycznych.

Metody niezawodności strukturalnej najczęściej zajmują się uszkodzeniem wybranego fragmentu elementu prowadzącego do stanu granicznego zniszczenia. Zagadnienia naprawialności obiektu nie są brane pod uwagę, a uszkodzenia mają charakter nagły lub zmęczeniowy.

Prawdopodobieństwo uszkodzenia elementu mechanicznego na podstawie relacji zachodzących między rozkładami naprężeń i wytrzymałości można określać w oparciu o teorię uszkodzeń [6], która stwierdza, że jeśli wytrzymałość materiału elementu jest mniejsza niż naprężenia spowodowane obciążeniem działającym na niego, to element uszkadza się. Prawdopodobieństwo uszkodzenia może być wyrażone jako:

$$P_f = P(W \le N) = P(W - N \le 0) \tag{10}$$

$$P_f = P(W \le N) = P(W / N \le 1) \tag{11}$$

gdzie:

P_f – prawdopodobieństwo uszkodzenia;
W – wytrzymałość;
N – naprężenie (obciążenie).

Dla znanych rozkładów W i N, które są zmiennymi losowymi i niezależnymi, zależność (11) może być wyrażona jako:

$$P_f = P(W/N \le 1) = \int_{-\infty}^{+\infty} F_W(x) f_N(x) dx \ , \tag{12}$$

gdzie:

$F_W(x)$ – skumulowana funkcja rozkładu $\int_{-\infty}^{x} f_W(y)dy$ wytrzymałości W,

$f_N(x)$ – chwilowa funkcja gęstości prawdopodobieństwa naprężenia N.

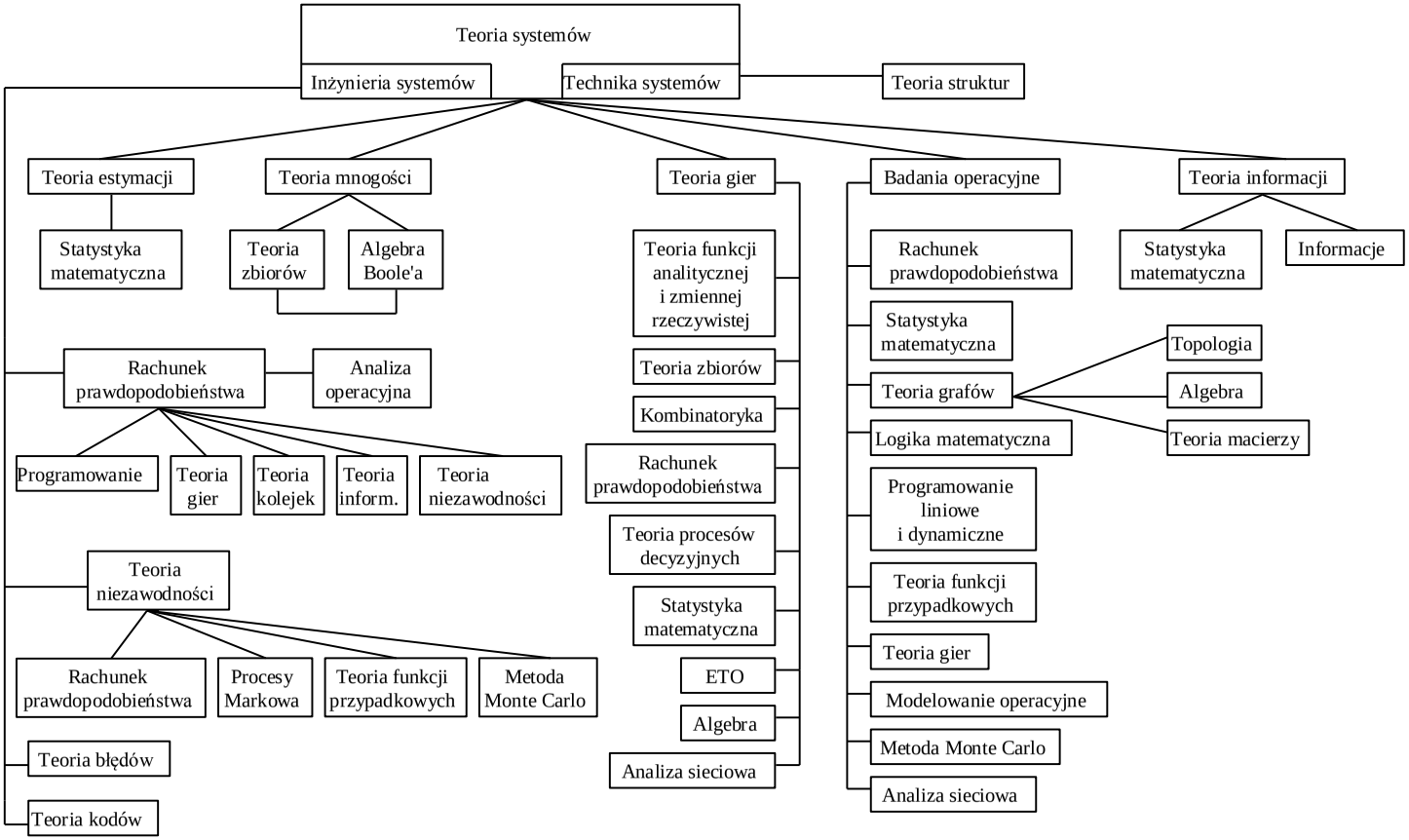
Metoda analizy strukturalnej opiera się na strukturze niezawodnościowej obiektu, która może być opisana analitycznymi zależnościami dla wszystkich struktur i umożliwia obliczenie i dobór niezawodności elementów składowych obiektu, którego niezawodność narzucono a priori lub obliczenie niezawodności całego obiektu przy określonej niezawodności jego elementów.

Problem badania niezawodności grupy maszyn eksploatowanych w rzeczywistych warunkach rozpatrywać można jako analizę systemu S, tzn. celowo wyodrębnionej zbiorowości podsystemów powiązanych zależnościami lub oddziaływaniami [5, 12]. Zgodnie z zasadą analizy systemowej postawiony cel badań powinien zostać podzielony na cele cząstkowe. W każdym zadaniu cząstkowym występuje podmiot nazwany obiektem badań, traktowany jako podsystem S_i, i = 1, 2,... systemu S. Zapisać to można:

$$S = \langle S_i, R_i \rangle \tag{13}$$

przy czym $R = \{R_i\}$, i = 1, 2,... jest zbiorem zależności oraz oddziaływań zachodzących między podsystemami. W rozważanym przypadku w pracy [12] wyróżnia się systemy: techniczny (maszyna) oraz podporządkowane mu systemy: eksploatacji, oceny i badań. Sposób rozwiązania zadań cząstkowych nazwano procedurami. Składają się one na standaryzowany tok i sposób postępowania oraz wymagają potwierdzenia w praktyce.

Ogólnie sformułowany problem niezawodności strukturalnej dotyczy zależności między wektorem zmiennych losowych χ reprezentującym niepewne wielkości opisujące konstrukcję i funkcją uszkadzalności $g(W,L)$ opisującą stan graniczny konstrukcji [8]. Funkcja uszkadzalności jest oparta na mechanicznym zachowaniu się konstrukcji i zwykle jest formułowana w postaci zbioru zmiennych wytrzymałości $W = W(\chi) = [W_1,...,W_k]^T$ (np. granica plastyczności, trwałość zmęczeniowa, dopuszczalne przemieszczenie) oraz jako zbiór efektów obciążenia $L = L(\chi) = [L_1,...,L_p]^T$ (np. naprężenie, odkształcenie, przemieszczenie, głębokość pęknięcia). Umownie, funkcja uszkadzalności jest interpretowana tak, że $g(W, L) = 0$ oznacza powierzchnię stanu granicznego, a $g(W, L) < 0$ oznacza przekroczenie stanu granicznego rozumiane jako uszkodzenie.



Rys. 1. Narzędzia formalne używane do tworzenia modeli systemów technicznych
Fig. 1. Formal tools used for modeling of technical systems

Prawdopodobieństwo uszkodzenia jest więc określone zależnością:

$$P_f = P[g(W,L)] \leq 0 \tag{14}$$

Rozwiązanie szczegółowe równania (14) jest trudne, ponieważ obliczane prawdopodobieństwo jest z założenia bardzo małe (10^{-3} i mniej). Gdy ilość zmiennych projektowych przekracza 4 lub 5, całkowanie numeryczne wprowadza błędy tego samego rzędu co wynik obliczeń. Także metoda Monte Carlo jest ogromnie kosztowna przy wyznaczaniu tak małych prawdopodobieństw zdarzenia.

Uwagi końcowe

Zaprezentowane uwagi dotyczące definicji i pojęć związanych z systemami technicznymi, być może chaotyczne ze względu na konieczność skrótów, są odniesione głównie do zagadnień ściśle związanych z systemami siłowni okrętowych i problemami ich badania. Pełen obraz systemu technicznego powinien obejmować także otoczenie, w jakim ten funkcjonuje oraz wpływ na system i otoczenie człowieka jako projektanta, wykonawcy i eksploatatora, a na końcu likwidatora systemu. Jak obszerne są to zagadnienia, wskazuje zestaw wybranych narzędzi do tworzenia modeli systemów technicznych pokazany na rysunku 1.

Literatura

1. Adamkiewicz W., Hempel L., Podsiadło A., Śliwiński R., *Badania i ocena niezawodności maszyny w systemie transportowym*, WKiŁ, Warszawa 1983.
2. *Analiza charakterystyk niezawodnościowych złożonego systemu technicznego na przykładzie siłowni okrętowej (cz. II)*, Raport nr 1998/15 Projektu Badawczego Nr 9T12C07710 *Badanie uszkodzeń i rozkładów uszkodzeń złożonych układów technicznych na przykładzie instalacji siłowni okrętowych*, Wyższa Szkoła Morska w Szczecinie, Szczecin 1997, maszynopis.
3. Dietrych J., *System i konstrukcja*, WNT, Warszawa 1985.
4. Gołąbek A., *Metodyka badań i oceny niezawodności maszyn w ujęciu systemowym*, Materiały XXI Zimowej Szkoły Niezawodności, Szczyrk 1993, nt. Kształtowanie i obliczanie niezawodności obiektów technicznych w procesie ich projektowania, s. 93 – 110.
5. *Gotowość naprawialnych urządzeń siłowni okrętowych*, Raport nr 1997/10 Projektu Badawczego Nr 9T12C07710 *Badanie uszkodzeń i rozkładów uszkodzeń złożonych układów technicznych na przykładzie instalacji siłowni*

okrętowych, Wyższa Szkoła Morska w Szczecinie, Szczecin 1997, maszynopis.
6. Hall A.D., *Podstawy techniki systemów*, PWN, Warszawa 1969.
7. Kececioglu D., *Reliability Analysis of Mechanical Components and Systems*, Nuclear Engineering Design, nr 19/1972, s. 259 – 290.
8. Kinreghlan A., Juh-Bin K., *Finite – element Based Reliability Structural* Safety *and Reliability*, I COSSAR '85.
9. Klira J. (red.), *Ogólna teoria systemów*, WNT, Warszawa 1976.
10. Murzewski J., *Niezawodność konstrukcji inżynierskiej*, Arkady, Warszawa 1989.
11. Ruta R., Mazurkiewicz A., *Modelowanie symulacyjne systemów eksploatacji*, MCNEMT, Radom 1991.
12. Wojciechowicz B., Ziemba S., *Zadania nauki w budowie maszyn*. ZEM, z. 3 – 4/1986, s. 433 – 444.

Wpłynęło do redakcji w lutym 2005 r.

Recenzenci

prof. dr hab. inż. Bogdan Żółtowski
dr hab. Zenon Zwierzewicz, prof. AM

Adres Autora

dr hab. inż. Zbigniew Matuszak, prof. AM
Akademia Morska w Szczecinie
Instytut Technicznej Eksploatacji Siłowni Okrętowych
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin