INTRODUCTION TO CYBERNETIC THEORY OF HAZARD

WPROWADZENIE DO CYBERNETYCZNEJ TEORII ZAGROŻEŃ

Zbigniew Smalko

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

e-mail: zbigniew.smalko@itwl.pl

Abstract: *The paper presents selected highlights of the cybernetic theory of hazards. This theory is a basis for high school teaching of safety engineering. It is assumed that the theory of hazard, should be dealt with modeling and formal description of the behavior of the antropotechnical system in dangerous circumstances. As a basic tri-state systems are described: operator, mean and infrastructure of transport. The interactivity elements of system present matrices of desired and undesired incidents transition in the system multi-state threats. As an obvious aspect of the theory was qualitative and formal description unsafety characteristics. Unsafety states of antropotechnical system divided into border and critical. The critical state of the system that not less than one element of the system is in critical condition. Times attributed the occurrence of damage, making mistakes and critical impact forcing factors are treated as random variables. It is assumed that the basic characteristics of developments the dangerous circumstances are the intensity of critical failures and / or irreversible human errors. The unsafety characteristics represent a conditional unsafety probability and are associated with the coefficients of expected time to critical events.*

Keywords: *technosphere, antropotechnical system, forcing factors, the critical stage, risk characteristics.*

Streszczenie: *W referacie przedstawiono wybrane, ważniejsze elementy cybernetycznej teorii zagrożeń. Przyjęto, że teoria zagrożeń, powinna się zajmować modelowaniem i formalnym opisem zachowania się układów antropotechnicznych, działających w niebezpiecznych okolicznościach. Jako podstawowe, opisywane są trójstanowe systemy: człowieka, obiektu technicznego i infrastruktury transportu. Jako oczywisty aspekt teorii uznano jakościowy i formalny opis bezpieczeństwa charakterystyk.*

Słowa kluczowe: *technosfera, układ antropotechniczny, zagrożenie, stan krytyczny, charakterystyki intensywność uszkodzeń.*

1. Znaczenie i rola teorii zagrożeń

Teoria zagrożeń jest nową, rozwijającą się wielodyscyplinarną nauką techniczną. Teoria zagrożeń, w ujęciu cybernetycznym, umożliwia pełne zrozumienie rozważanego rozwoju sytuacji niebezpiecznej, analizę i tworzenie systemu zabezpieczania i przeciwdziałania niebezpieczeństwom. pozwala na ujawnienie istotnych, nie zawsze oczywistych, niepożądanych relacji między elementami układu człowiek - maszyna - otoczenie. Ujęcie cybernetyczne jest niezbędne w przypadkach łącznego rozpatrywania przepływu strumieni informacji i energii.

Teoria zagrożeń tworząc fenomenologiczny opis rzeczywistych niebezpiecznych sytuacji przedstawia je w wirtualnej rzeczywistości. W sensie psychologicznym fenomenologiczna rzeczywistość jest definiowana przez to co dane środowisko uważa za rzeczywistość. W szerszym i podmiotowym ujęciu, prywatne doświadczenia, ciekawość i selektywność obserwacji wpływają na osobistą interpretację zdarzeń i identyfikują fenomenologiczną rzeczywistość dostępną dla środowiska teorii zagrożeń. Rzeczywistość wirtualna jest obrazem sztucznej rzeczywistości stworzonym przy wykorzystaniu technologii informatycznej. Jest efektem komputerowej wizji przedmiotów, przestrzeni i zdarzeń. Może on odwzorowywać zarówno obiekty świata realnego (symulacje komputerowe), jak i zupełnie abstrakcyjnego dla rozwiązywania różnych scenariuszy sytuacji nauki o przyczynach, skutkach oraz konsekwencjach niebezpiecznych zdarzeń i co nie mniej ważne o metodach zapobiegawczych w tym zakresie. Podstawy teoretyczne tej rozwijającej się dziedziny wiedzy wywodzą się z formalnych założeń ogólnej teorii niezawodności, aparat logiczny i matematyczny jest podobny jak również metody badawcze. System pojęciowy teorii zagrożeń obejmuje nazwy i definicje:

- obiektów, układów antropotechnicznych, systemów cybernetycznych;
- czynnika ludzkiego i technologicznego;
- zawodności, uszkodzalności, niesprawności;
- właściwości użytkowych i wymagań;
- okoliczności, procesów, wymuszeń, zagrożeń;
- stanów parametrycznych i niebezpieczeństwowych, stanów granicznych i krytycznych”;
- niepożądanych zdarzeń:
 - awarii, wypadków, katastrof;
 - szkód, strat;
 - degradacji, destrukcji, nieodporności, nietrwałości;
 - ryzykowności;
 - niebezpieczności, niebezpieczeństwa i zagrożenia.

Ze względu na interdyscyplinarność i ujęcie cybernetyczne problematyki zagrożeń należy uwzględnić w niej rolę teorii systemów, teorii informacji, teorii chaosu, teorii rzadkich zdarzeń, teorii katastrof, teorii układów samodzielnych, matematycznej teorii niezawodności, teorii procesów losowych, teorii procesów realizacji, teorii użyteczności, prakseologii, teorii decyzji, logiki matematycznej,

psychologii matematycznej, diagnostyki, informatyki, energetyki itp energetyka itp.

Układami antropotechnicznymi nazywamy układy „człowiek – maszyna” przeznaczone do wykonywania pracy oraz/lub do przenoszenia i przetwarzania energii i informacji. Ma miejsce następująca sekwencja działań w układzie „człowiek - maszyna - otoczenie”:

człowiek oddziałuje na maszynę → maszyna oddziałuje na otoczenie → otoczenie
zwrotnie reagując oddziałuje na maszynę i człowieka

i za pośrednictwem maszyny spełnia lub niespełnia ludzkie potrzeby zgłaszane przez człowieka. Po przyjęciu i przetworzeniu informacji zawartych w sygnałach człowiek decyduje się na określone działanie, na daną czynność. Otrzymanie pożądanych wyników, jako zamierzonej realizacji celu, może nastąpić z różnych względów: psychofizycznych, technicznych, energetycznych oraz ekonomicznych. Człowiek może, w ujęciu cybernetycznym, występować w układzie, maszyna-środowisko naturalne - technosfera, jako decydent i operator. Jego pożądana sprawność psychofizyczna polega na umiejętności podejmowania słusznych decyzji oraz na sprawnym sterowaniu i operowaniu maszyną (ilustruje to rys.1). W układzie: „człowiek - maszyna - otoczenie”, ma miejsce realizacja określonych zadań roboczych. Człowiek ”C” oddziałuje na maszynę ”M”, która z kolei, oddziałuje na otoczenie ”S” w celu otrzymania pożądanej reakcji otoczenia.

Rys.1 Cybernetyczny model układu człowiek C-maszyna M –otoczenie S oraz podukładów: technosferycznego(mała pętla sprzężenia zwrotnego: otoczenie S- maszyna M) i antropotechnicznego(mała pętla sprzężenia zwrotnego: człowiek C-maszyna M)

2. Nowa jakość układu „człowiek - maszyna - otoczenie”

Człowiek obecnie jest włączony w globalną, światową sieć wymiany i przetwarzania informacji.

Wchodzi w wielorakie interakcje w układzie: człowiek - maszyna - otoczenie.

Człowiek „obiekt antropotroniczny” jest wszechstronnie wyposażony w interfejsy:

- zespół sterujący: człowiek – człowiek,
- układ antropotechniczny: człowiek - maszyna,
- układ antroposferyczny: człowiek - otoczenie.

Człowiek dzięki wbudowanym i przenośnym urządzeniom elektronicznym ma możliwość bezpośredniego pobierania i wysyłania informacji w Internecie oraz w systemie nawigacji satelitarnej. Urządzenie mechatroniczne jest w stanie, przy pomocy czujników:

- odbierać ze swego otoczenia sygnały
- przetwarzać je za pomocą mikroprocesora
- reagować przy pomocy elementów wykonawczych.

Jest więc oprogramowalnym urządzeniem z elementami mechanicznymi, z czujnikami, robotami, zewnętrzną i wewnętrzną komunikacją. Sprawność interaktywna polega na zdolności do bieżącego i zwrotnego, kojarzenia i przesyłania informacji przez ludzi i urządzenia informatyczne w układzie człowiek - maszyna - otoczenie. Czynności człowieka w układzie człowiek - maszyna polegają na przyjmowaniu sygnałów przez narządy zmysłowe dla sterowania układem.

Otoczenie składa się z względnie wyodrębnionej technosfery i środowiska naturalnego. Środowisko naturalne rozumiane jest jako wyodrębniony fragment otoczenia w obszarze, którego realizowane są zadania robocze przez układ człowiek - obiekt techniczny. Technosfera rozumiana jest jako wyodrębniony fragment otoczenia, który jest sferą działalności człowieka obejmującą ingerencję techniki w przyrodę. A także obszar objęty odbiorem, przekazywaniem i przetwarzaniem informacji w układzie ziemskim i przestrzeni kosmicznej przez satelitarne i ziemskie stacje przekaźnikowe. Stąd adekwatnym scalającym tworzywem naukowym postrzegana jest cybernetyka. Cybernetyka jako nauka o systemach sterowania oraz związanym z tym przetwarzaniem i przekazywaniem informacji (komunikacją). W rozpatrywanych przez nas układach antropotechnicznych, znajdujących się w zagrożeniu, jest nauką o systemach o przetwarzania i przekazywania informacji między człowiekiem i urządzeniem mechatronicznym i otoczeniem (w tym między środowiskiem naturalnym i technosferą). W nadążnych systemach oddalania niebezpieczeństwa nauka o systemach sterowania oraz związanym z tym natychmiastowym przetwarzaniem i przekazywaniem informacji o zagrożeniach i bieżącym rozwoju niebezpiecznej sytuacji.

Układ antropotechniczny to układ w którym człowiek i maszyna tworzą jednolity zespół regulacyjny, przetwarzający informację. W stosunkach pomiędzy człowiekiem a maszyną występują następujące przejawy procesów w informacyjnych: maszyna za pośrednictwem układu sygnalizacyjnego wysyła sygnał o określonym znaczeniu, człowiek obsługujący maszynę odbiera sygnał

przy pomocy tzw. receptorów, czyli narządów zmysłów i przekazuje go do układu nerwowego, czyli innymi słowy odczytuje treść otrzymanej informacji. W centralnym układzie nerwowym operatora maszyny następuje przetworzenie odebranej informacji, w wyniku którego powstaje decyzja. Operator wykonuje podjętą decyzję, oddziałując przy pomocy efektorów na elementy sterownicze maszyny i powodując uruchomienie, regulację czy zatrzymanie maszyny, itp. Pozytywny wynik omówionych wyżej działań będziemy uznawali za wykonanie zadania przez człowieka, wspomaganego przez maszynę przy pożądanej reakcji środowiska. Pożądane jest, przy tym, aby oddziaływania człowieka i jego maszyny na otoczenie były efektywne i bezpieczne. W rzeczywistości okoliczności, w jakich może się znaleźć układ: człowiek - maszyna - otoczenie, nie zawsze sprzyjają efektywnemu i bezpiecznemu wykonaniu zadania, ponieważ:

- z założenia pozytywnym oddziaływaniom człowieka na maszynę mogą towarzyszyć uboczne niepożądane, szkodliwe dla niego, zwrotne reakcje maszyny (np. wibracje, hałas);
- z założenia pozytywnym oddziaływaniom maszyny na otoczenie mogą towarzyszyć uboczne i niepożądane wtórne reakcje otoczenia szkodliwe dla niej samej, dla otoczenia oraz dla człowieka; występują niepożądane zmiany stanu maszyny w skali mikro - np. konflikty i kolizje z elementami środowiska, nadmierne wewnętrzne opory nieużyteczne oraz/lub w skali makro – np. nadmierne opory nieużyteczne w wyniku konfliktu z innymi obiektami technicznymi oraz/lub wytworami natury,
- z założenia pozytywnym wtórnym oddziaływaniom otoczenia na maszynę mogą towarzyszyć niepożądane oddziaływania szkodliwe dla organizmu człowieka.(np. szkodliwe działanie na zmysły wzroku, słuchu i węchu).

Czynniki te, łącznie lub oddzielnie, powodują niekorzystne zmiany stanów obiektów układu: człowiek - maszyna. Okoliczności niesprzyjające wykonaniu zadania utożsamiane są z niebezpiecznymi warunkami wykonywania zadań przez człowieka wspomaganego przez maszynę. Natomiast rzeczowym źródłem zagrożeń są zewnętrzne jak i wewnętrzne czynniki wymuszające będące przejawem procesów destrukcyjnych (zmęceniowych, zużyciowych i starzeniowych).

3. Zagrożenia

Źródłem zagrożeń są zewnętrzne i wewnętrzne czynniki wymuszające, które wraz z przekroczeniem dopuszczalnych poziomów oddziaływania mogą powodować różnego rodzaju krytyczne zdarzenia a w ślad za nimi niepożądane konsekwencje. Zagrożenie jest przesłanką tego, że określone naturalne i technosferyczne czynniki wymuszające mogą przyczynić się do wyrządzenia nieodwracalnych szkód człowiekowi, spowodować destrukcję maszyny i degradację otoczenia. Zagrożenie, jest rozumiane i odczuwane, jako niepożądane i groźne w skutkach zjawisko wywołane działaniem sił natury lub spowodowane ludzkim i technicznym czynnikiem. Zjawisko w wyniku którego poczucie niebezpieczeństwa nieustannie wzrasta, a tym samym poczucie bezpieczeństwa maleje bądź zupełnie zanika. Jest to przejaw przebiegu określonego destrukcyjnego procesu, który odbywa się

w pewnym przedziale czasowym i posiada mniej lub bardziej zaznaczony początek i koniec jego trwania. Jeżeli zagrożenie jest rozumiane także jako poczucie niebezpieczeństwa wtedy należy uznać iż rozumienie tego zjawiska ma dwoisty sens: w fenomenologicznej czasoprzestrzeni jest to potencjalny przejaw destrukcyjnego oddziaływania fizycznych czynników wymuszających a w wirtualnej czasoprzestrzeni jest to pomyślane odwzorowanie procesu generującego abstrakcyjne zjawiska szkodotwórcze. Należy zauważyć, że pojęcie niebezpieczeństwa jest stowarzyszone z pojęciem zagrożenia. Niebezpieczeństwo jest pewnym stanem obiektywnym, polegającym na realnym istnieniu zagrożenia. Ale zagrożenie jest także pomyślanym niebezpieczeństwem subiektywnie odczuwanym przez jednostkę lub grupę.

4. Przemiany stanów obiektów układu człowiek - maszyna - otoczenie

Modele przemian stanów poszczególnych obiektów podstawowych układu człowiek - maszyna - otoczenie przedstawiono w postaci grafów eksploatacyjnych wraz z pierwszego rzędu macierzami kwadratowymi sprzężeń między przemieniającymi się stanami operacyjnymi. Macierze te ,w ujęciu probabilistycznym, można również interpretować jako jądra procesów losowych przebiegających w każdym obiekcie systemu.

Rys 2. Trójstanowe modele przemian w obiektach sytemu człowiek – maszyna - otoczenie, objaśnienia numeracji węzłów grafów, opisują one kolejno(od lewej strony):stany człowieka: 1-sprawności, 2-potencjalnej niesprawności, 3-niesprawności; stany maszyny: 1-zdatności, 2-potencjalnej niezdatności, 3 –niezdatności; stany otoczenia: 1-podatności, 2-potencjalnej niepodatności, 3-niepodatności

Interpretacja stanów obiektów podstawowych oraz intensywności przejść między stanami wymagać będzie stosowania logiki trójwartościowej. Intensywności przejść wyrażają warunkowe prawdopodobieństwa przemian. Chwilowe przejściowe stany oznaczone „2” z jednej strony są potencjalnymi stanami oddalenia niebezpieczeństwa, sprzężenie „2-1”, jak i kontynuacji nieodwracalnych destrukcyjnych zmian, sprzężenie „2-3”, prowadzące do zniszczenia obiektu włącznie.

Człowiek

Człowieka charakteryzujemy następującymi stanami i okolicznościami:

- stan sprawności wyrażający poprawne działanie pod względem psychofizycznym (motorycznym i umysłowym) (oznaczenie „1”),
- stan potencjalnej niesprawności – chwilowy stan graniczny: możliwa utrata sprawności psychofizycznej(motorycznej i umysłowej) (oznaczenie „2”)
- stan niesprawności – stan krytyczny - całkowita niewydolność do działania pod względem psychofizycznym (motorycznym i umysłowym) (oznaczenie „3”)

Ilościowym wyrazem przemian w organizmie człowieka są następujące intensywności przejść:

- h_{12} - intensywność przejścia ze stanu sprawności do stanu potencjalnej niesprawności psychofizycznej, - ryzykowność znalezienia się w stanie potencjalnej niesprawności psychofizycznej - utrata zdolności do właściwego decydowania.
- h_{10} - intensywność przejścia ze stanu zdadności do stanu krytycznej niezdatności psychofizycznej, - ryzykowność znalezienia się w stanie krytycznej niesprawności psychofizycznej, - intensywność natychmiastowej utraty zdolności do właściwego decydowania.
- h_{20} - intensywność przejścia ze stanu zdadności do stanu krytycznej niezdatności psychofizycznej, - ryzykowność znalezienia się w stanie krytycznej niesprawności psychofizycznej, - intensywność całkowitej utraty zdolności do działania.
- m_{21} - zwrotna intensywność; przejścia ze stanu potencjalnej niezdatności do stanu zdadności, - szansa zdrowotnego powrotu do stanu sprawności psychofizycznej, - intensywność przywracania zdolności do poprawnego działania

Maszyna

Maszyna charakteryzujemy następującymi stanami i okolicznościami:

- stan zdadności - wyrażający poprawne funkcjonowanie pod względem ruchowym i sterowniczym (oznaczenie „1”),

- stan potencjalnej niezdatności - chwilowy stan graniczny, przewidywana możliwość utraty zdatości ruchowej i sterowniczej (oznaczenie „2”),
- stan niezdatności – stan krytyczny: spowodowany przez operatora (decydenta) oraz/lub przez losowo działające destrukcyjne czynniki wymuszające (oznaczenie „3”).

Ilościowym wyrazem przemian w maszynie są następujące intensywności przejść:

- h_{12} - intensywność przejścia ze stanu zdatości do stanu potencjalnej niezdatności, - intensywność tracenia zdolności do poprawnego działania, - ryzykowność znalezienia się w stanie granicznej niezdatności
- h_{10} - intensywność, przejścia ze stanu zdatości do stanu krytycznej niezdatności -intensywność całkowitej, nagłej utraty zdolności do działania, -ryzykowność działania w stanie krytycznej niezdatności.
- h_{20} - intensywność krytycznego przejścia ze stanu zdatości do stanu krytycznej niezdatności, - intensywność całkowitej utraty zdolności do działania, - ryzyko znalezienia się w stanie krytycznej niezdatności.
- m_{21} - zwrotna intensywność przejścia ze stanu potencjalnej niezdatności do stanu zdatości, -intensywność przywrócenia zdolności do poprawnego działania, - szansa powrotu do stanu zdatości.

Otoczenie

Otoczenie jest charakteryzujemy następującymi stanami i okolicznościami :

- stan podatności oraz/lub nieagresywności – warunki sprzyjające poprawnemu i bezpiecznemu funkcjonowaniu układu pod względem energetycznym i informacyjnym (oznaczenie „1”),
- stan potencjalnej niepodatności oraz/lub potencjalnej agresywności – chwilowy stan graniczny, możliwe występowanie szkodotwórczych warunków wykonywania zadań (oznaczenie „2”),
- stan niepodatności oraz /lub agresywności, stan krytyczny: czynne i bierne oddziaływanie czynników wymuszających zniszczenie tworzywa i struktury układu antropotechnicznego jako całości (oznaczenie „3”).

Ilościowym wyrazem przemian w otoczeniu są następujące intensywności przejść:

- h_{12} - intensywność przejścia ze stanu pozytywnego reagowania do stanu granicznego, negatywnego reagowania na oddziaływania maszyny, ryzyko znalezienia się w stanie potencjalnie negatywnego reagowania, intensywność osiągnięcia i przekraczania nominalnych wartości parametrów naturalnego środowiska oraz pożądaných wartości parametrów technosfery.
- h_{10} - intensywność, przejścia ze stanu pozytywnego reagowania do stanu krytyczno - destrukcyjnego reagowania na oddziaływania maszyny, w aspekcie energetycznym i informacyjnym, intensywność całkowitej utraty zdolności poprawnego funkcjonowania systemu informatycznego, intensywność zanikania wymaganych, przyjaznych warunków realizowania zadania, przekroczenie dopuszczalnych wartości parametrów atmosferycznych i technosferycznych,

ryzykowność działania w stanie krytycznego-destrukcyjnego reagowania otoczenia.

- h_{20} - intensywność przejścia ze stanu negatywnego reagowania do stanu krytycznego, destrukcyjnego reagowania na oddziaływania maszyny, intensywność krytycznej, całkowitej utraty zdolności do pozytywnego reagowania, intensywność zanikania wymaganych, przyjaznych warunków realizacji oraz osiągnięcia niedopuszczalnych wartości parametrów atmosferycznych i technosferycznych, ryzykowność znalezienia się w stanie krytycznego, niszczącego reagowania.
- m_{21} - zwrotna intensywność ze stanu granicznego, negatywnego reagowania na oddziaływania maszyny do stanu pozytywnego reagowania, szansa powrotu do stanu pozytywnego reagowania, intensywność przywrócenia zdolności do pozytywnego reagowania, intensywność przywrócenia pożądanych, nominalnych wartości parametrów naturalnego środowiska oraz wymaganych wartości parametrów technosferycznych.

Na rys. 3 przedstawiono graf ilustrujący przejścia między obiektami podstawowymi wraz z macierzą trzeciego rzędu pokazującą wybrane relacje systemowe między obiektami układu ze wszystkimi prostymi i zwrotnymi wzajemnymi oddziaływaniami na siebie.

	C	M	S
C	1	1	1
M	1	1	1
S	1	1	1

Rys. 3 Trójkątowy układ człowiek – maszyna - otoczenie,

gdzie: $\lambda_{cc}, \lambda_{mm}, \lambda_{ss}$ - intensywności wewnętrznych interakcji, odpowiednio: człowieka, maszyny i otoczenia; $\lambda_{cs}, \lambda_{cm}, \lambda_{ms}$ - intensywności sprzężeń prostych między, odpowiednio: człowiekiem i otoczeniem, człowiekiem i maszyną, maszyną i otoczeniem, $\mu_{s,c}, \mu_{m,c}, \mu_{s,m}$ intensywności sprzężeń zwrotnych między odpowiednio: otoczeniem i człowiekiem, maszyna i człowiekiem otoczeniem i maszyną.

Wybrane zagrażające sprzężenia, proste i zwrotne, zapisujemy w postaci macierzy trzeciego rzędu (rys. 4), elementami której są intensywności przemian stanów zachodzących w całości układu człowiek C-maszyna M otoczenie S.

		C			M			S			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
C	1	0	λ_{12}	λ_{13}	c_{14}	c_{15}	0	c_{17}	c_{18}	0	sprawny
	2	μ_{12}	0	λ_{23}	c_{24}	c_{25}	c_{26}	c_{27}	c_{28}	c_{29}	niesprawny
	3	μ_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	niewydolny
M	4	m_{41}	m_{42}	0	0	λ_{45}	λ_{46}	m_{47}	m_{48}	0	zdatny
	5	m_{51}	m_{52}	0	μ_{54}	0	λ_{56}	m_{57}	m_{58}	m_{59}	niezdatny
	6	m_{61}	m_{62}	0	μ_{64}	μ_{65}	0	0	0	0	niegotowy
S	7	s_{71}	s_{72}	s_{73}	s_{74}	s_{75}	s_{76}	0	λ_{78}	λ_{79}	podatne
	8	s_{81}	s_{82}	s_{83}	s_{84}	s_{85}	s_{86}	μ_{87}	0	λ_{89}	niepodatne
	9	0	0	0	0	0	0	μ_{97}	μ_{98}	0	pasywne

Macierz sprzężeń dla układu człowiek - maszyna - otoczenie

Rys.4 Macierz wybranych relacji zagrożeniowych w układzie człowiek -maszyna-otoczenie. Objaśnienie: elipsami oznaczono relacje zagrożeniowe dotyczące intensywności niepożądanych przemian wewnątrz obiektów (człowieka, maszyny, otoczenia) oraz niepożądanych przemian zewnętrznych w podukładach (człowiek-otoczenie, człowiek maszyna i maszyna otoczenie)

Macierz przedstawiona na rys. 4 zawiera informacje pozwalające na budowę drzew niezdatności i na tworzenie nadążnych sieci bayesowskich oraz, co oczywiste, stanowi bazę danych dla systemów ekspertowych. Może również być rozumiana jako model bloku sterującego w układzie cybernetycznym, pokazanym na rys.1, w którym podejmowane są decyzje mające na celu neutralizację zagrożeń i unikanie groźnych skutków niepożądanych zdarzeń.

Analiza systemowa

Teoria zagrożeń daje podstawy techniki organizacji i kierowania działalnością antropotechniczną. Ważną sferą aktywności teorii zagrożeń jest tzw. analiza systemów, która zajmuje się przygotowaniem decyzji w sprawach technicznych i organizacyjnych. W następującym trybie: przeprowadzania starannej analizy potencjalnie niebezpiecznej sytuacji, z uwzględnieniem wszystkich najważniejszych zależności wewnętrznych i zewnętrznych; stwierdzenia możliwości bezpiecznej realizacji pożądanych celów; stwierdzenia wszelkich możliwych wariantów rozwiązania; porównania tych wariantów z punktu widzenia ich rzeczowego efektu, potencjalnych szkód, strat oraz nakładów dla wybrania najkorzystniejszego rozwiązania. Do głównych problemów w tym zakresie należą: wybór odpowiedniego kryterium, znalezienie możliwych rozwiązań, uwzględnienie czynników niematerialnych, uwzględnienie czynnika ludzkiego, uwzględnienie zagrożeń wynikających z określonych okoliczności i uwzględnienie czynnika czasu.

Przy projektowaniu operacyjnych systemów transportowych zawsze istnieje ryzyko, że: system nie osiągnie zakładanego poziomu zabezpieczenia, szkody będą wyższe od zakładanych, stan otoczenia systemu zmieni się do tego stopnia, że uprzednio zakładane określone działanie i cele systemu będą już nieodpowiednie. Aby temu zaradzić, w aspekcie teorii zagrożeń, przeprowadzana jest analiza systemowa. Istnieją trzy różne cele analizy systemowej: cel rozważanego, rzeczywistego układu zabezpieczania, cel systemu stworzonego na tym układzie, cel przeprowadzanej analizy występujących zagrożeń. Analiza niepewności obejmuje wyznaczanie zmienności lub dokładności wyników wynikających ze zbiorowej zmienności parametrów i założeń. Obszarem blisko związanym z analizą niepewności jest analiza wrażliwości. Analiza wrażliwości obejmuje wyznaczenie zmian odpowiedzi modelu na zmiany poszczególnych parametrów modelu sytuacji niebezpiecznej. Przy tym wysoce pożądane jest, aby: znaleźć sposób przynajmniej częściowego zautomatyzowania procesu określania (opisania, definiowania) i prezentacji systemu; zadecydować się czy za elementy systemu będziemy uważać czynności, czy też obiekty; wybrać szczebel abstrakcji oraz stwierdzić, w jakim miejscu i w jakich okolicznościach przebiega proces decyzyjny.

Podejmowanie decyzji dotyczących istniejących zagrożeń może wystąpić w różnych okolicznościach podejmowania ryzykownych decyzji. Buduje się drzewa decyzyjne, diagramy i tabele wspomagające podejmowanie decyzji. Drzewa stanowią graficzną metodę wspomagania procesu decyzyjnego ich zadaniem może być zarówno stworzenie programu, jak i rozwiązanie problemu decyzyjnego. Metoda drzew decyzyjnych jest szczególnie przydatna w problemach z licznymi, rozgałęziającymi się wariantami oraz w przypadku podejmowania decyzji w warunkach niepewności. Tworzone są także specjalne systemy ekspertowe i prowadzone badania symulacyjne w wirtualnej rzeczywistości. Algorytm drzewa decyzyjnego stanowi działanie rekurencyjne dla każdego węzła drzewa podejmuje się decyzję, kończymy to wywołanie rekurencyjne gdy węzeł będzie liściem (według kryterium stopu) gdy będzie węzłem rozgałęziającym się (według kryterium wyboru atrybutu) dokonujemy wyboru atrybutu, tworzymy rozgałęzienia według wartości, jakie przyjmuje dany atrybut, i dla każdego węzła następującego tworzymy rekurencyjne wywołanie algorytmu, z listą atrybutów zmniejszoną o właśnie wybrany atrybut. Wszystkie algorytmy działają według podanego

schematu, różnice w zastosowań dotyczą kryteriów stopu i wyboru atrybutu. Inżynieria bezpieczeństwa w ujęciu systemowym, zajmuje się w przeważającej mierze systemami rzeczywistymi, które posiadają następujące cechy: są integralne w tym znaczeniu, że wszelkie komponenty są ukierunkowane na określony cel, który jednak na początku projektowania musi być dokładnie znany; system jest duży, składa się z dużej ilości różnych elementów, wykonuje wiele funkcji i jego cena jest wysoka; współzależność systemu jest znaczna (zmiany jednej zmiennej mają wpływ na szereg innych zmiennych systemu), wejścia systemu są stochastyczne; system jest przynajmniej częściowo skomputeryzowany

Pragmatyka teorii zagrożeń

Zasadniczą sprawą dla praktycznej analizy systemów zabezpieczania jest możliwość wykorzystania techniki symulacji komputerowej. Uzyskiwane w ten sposób rozwiązania są wysoce interesujące.

Założenia do metodologicznej budowy systemu zabezpieczania i oddalania niebezpieczeństwa powinny zawierać odpowiedzi na następujące pytania:

- Kto zgłasza potrzebę bezpiecznego wykonania zadania?
- Czyją potrzebę w zakresie zabezpieczania i oddalania niebezpieczeństwa mamy spełnić?
- Z czyjego punktu widzenia potrzeba zabezpieczania jest rozpatrywana?
- Z ilu punktów widzenia potrzebę bezpieczeństwa można rozpatrywać?
- Jakie miejsce w hierarchii naszych potrzeb – zapewnienie bezpieczeństwa zajmuje?
- Kiedy należy rozpocząć zabezpieczanie i na jak długo?
- Jakie techniki zapewniania bezpieczeństwa przewidujemy zastosować, tzn, jakie metody, nakłady itp.?
- Jakich spodziewamy się okoliczności występujących w trakcie zapewniania bezpieczeństwa? Jakich zakłóceń oraz okoliczności sprzyjających?
- Jakie istnieją ograniczenia w odniesieniu do metod i środków zabezpieczania?
- Jak zapewnić skuteczność zabezpieczania ?
- Jaką metodologiczną i rzeczową racjonalność zabezpieczania zamierzamy stosować?
- Jak zamierzamy równoważyć możliwości i potrzeby w zaspakajaniu potrzeb na środki zapewniania bezpieczeństwa?

Istnieje szereg metod zapobiegania niepożądanym zdarzeniom, granicznym i krytycznym, a w tym graficznych prezentacji rozwoju niebezpiecznych sytuacji. Są nimi np. *drzewo zagrożeń*, nazywane „drzewem zdarzeń”, które służy do analizy następstw określonego niebezpiecznego zdarzenia a w tym określenia zagrożeń i oceny działania w warunkach ryzyka; *drzewo zagrożeń* zazwyczaj dwuwartościowe drzewo logiczne, które rozciąga się od zdarzenia inicjującego do poszczególnych jego następstw oraz *drzewo zabezpieczeń*, nazwane również "przyczynowo-skutkowym", stanowiące modyfikację drzewa zagrożeń. Służy ono do przeprowadzenia analizy rozwoju niebezpiecznej sytuacji, w której znajduje się układ, a także oceny skuteczności przeciwdziałania spodziewanym skutkom krytycznych zdarzeń . Powyższe problemy wynikają z potrzeby wprowadzenia do praktyki wielowarstwowych zabezpieczeń wykonania zadań transportowych

5. Literatura

- [1] Arnold V.I., Teoria katastrof, Nauka, Moskva, 1990.
- [2] Awdiejew A., Szkice filozofii potocznej, PWN, Warszawa-Kraków, 1991.
- [3] Ayres R.U., Prognozowanie rozwoju techniki i planowanie długookresowe PWE, Warszawa, 1973.
- [4] Bloch A., Prawa Murphy'ego, Księga pierwsza, Wydawnictwo Zysk i S-ka, Poznań 2001.
- [5] Bobrowski D., Modele matematyczne teorii niezawodności w przykładach i zadaniach, WNT, Warszawa 1985.
- [6] Bobrowski D., Niezawodność systemu obiekt techniczny człowiek, Materiały uzupełniające kolokwium nt. Niezawodność systemu obiekt techniczny człowiek. WKP-WITPIS-XIX, 443, wew. 109/84, Sulejówek 1984.
- [7] Lukretius Carus Titus, O Naturze rzeczy, LSW Warszawa, 1995.
- [8] Coombs C.H., Daves R.M., Tversky A., Wprowadzenie do psychologii matematycznej, PWN, Warszawa, 1997.
- [9] Gilmore R., Catastrophe Theory for Scientists and Engineers, John Wiley and Sons, NY, 1993.
- [10] Gudej D., Twierdzenie papugi, Seria Literka, Albatros, Warszawa, 2003.
- [11] Height F.A, A Mathematical Model of Driver Alertness, Ergonomics, 1972, vol.15, No 4, pp. 367-378.
- [12] Hawking S., Krótka historia czasu, Zysk i S-ka Wydawnictwo, Poznań 1990.
- [13] Huang A., Numerologia I Cing, Studio Astropsychologii, Białystok 2002.
- [14] Jagłom A., Jagłom J.M., Prawdopodobieństwo i informacja, Książka i Wiedza, Warszawa 1963.
- [15] Kevin D. Mitnick, William L.Simon, Sztuka infiltracji, Albatros, Warszawa 2006,
- [16] Kiliński A. Podstawy teorii procesów realizacji, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1972
- [17] Kobolev.N.I., Issledovanie v oblasti termodynamiki procesov informacii i myslenia, Izdatielstvo Moskovskogo Universiteta, Moskva 1971.
- [18] Koźniewska I., Włodarczyk M., Modele odnowy, niezawodności i masowej obsługi, PWN, Warszawa 1978.
- [19] Krzywiec R., O formalizowaniu pojęcia układu, Archiwum Budowy Maszyn, Tom XVIII, Zeszyt 2, 1971.
- [20] Lange O., Całość i rozwój w świetle cybernetyki, PWN, Warszawa 1962.
- [21] Lange O., Optymalne decyzje, PWN, Warszawa 1964.
- [22] Lange O., Wstęp do cybernetyki ekonomicznej, PWN, Warszawa 1965.
- [23] Lem St., Summa technologiae, Wydawnictwo Literackie, Kraków 1974.
- [24] Lem St., Biblioteka XXI wieku, Wydawnictwo Literackie, Kraków 1986.
- [25] Lem St., Tajemnica chińskiego pokoju, Universitas, Kraków, 1996.
- [26] Lem St., Bomba megabitowa, Wydawnictwo Literackie, Kraków, 1999.
- [27] Mazur M., Cybernetyczna teoria układów samodzielnych, PWN, Warszawa 1996.
- [28] Merksiz J., Nowakowski T., Smalko Z., Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa transportu, Uwarunkowania rozwoju systemu transportowego Polski, Wydawnictwo ITE Radom, 2007, str. 499-559.
- [29] Paprocki W., Pierjegud J., Teoria katastrof a ocena transportu kolejowego. Zeszyty Naukowe, SGH, Warszawa, 2002.

- [30] Parkinson C.N., Prawo zwłoki, KiW, Warszawa, 1967.
- [31] Sawyer W.W., W poszukiwaniu modelu matematycznego, Wiedza Powszechna, Warszawa, 1975.
- [32] Smalko Z., Systematic Analysis of Dangerous Occurring in Technosphere, Sfety and reliability Assessment - An Integral approach. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, London, NeW York, Tokio, 1993, pp. 973-985.
- [33] Smalko Z. Risk analysis of transport systems. Archives of Transport, volume 7, issue 1-4, Warsaw 1995
- [34] Smalko Z. Modelowanie eksploatacyjnych systemów transportowych, Biblioteka Problemów eksploatacji, ITE, Radom, 1996
- [35] Smalko Z., Relation Between Safety and Security in Technical Systems, Journal of KONBIN, 1(3), 2007, Wydawnictwo ITWL, 2007. str. 63-74.
- [36] Smalko Z. Characteristics of the man-machine-environment system. Materials Reliability Sciences School, Publisher ITE, Radom 2007.
- [37] Smalko Z., Szpytko J. The Man Machine Type Systems Modeling Approach, Journal of KONBiN, 5(8) 2008, Printing Houses AFiT, Warsaw, s.s. 189-201
- [38] Smalko Z., Studium terminologiczne inżynierii bezpieczeństwa transportu, Navigator 21, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2010.
- [39] Smalko Z., Drobiszewski J., Analysing the impact of human factors in transport systems, Safety and Reliability of Industrial Products, Systems and Structures, CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, London, 2010. pp. 157-166.
- [40] Smalko Z. Wprowadzenie do teorii zagrożeń, Journal of KONES, Vol.18, nr 4, s.457-462, Wydawnictwa ILOT, Warszawa, 2011.
- [41] Smalko Z., Wybrane elementy teorii zagrożeń, Materiały XL Jubileuszowej Szkoły Niezawodności PAN, Niezawodność procesów systemów technicznych, Wydawnictwo naukowe ITE, Radom, 2012, s. 36.
- [42] Sobański O., I Cing Księga Przemian (spolszczenie: Laege J.VI tom Święte Księgi Wschodu, Oxford, 1899; Wilhelm R., Księga przemian, Jena, 1924), KAW, Warszawa 1990.
- [43] Szymanek Andrzej, Skalowanie zagrożeń, Materiały Sympozjum Naukowego nt. Bezpieczeństwo Systemów, Wydawnictwo ITWL, Warszawa 1998, str. 203-208.
- [44] Thom R., Parabole i katastrofy, PIW, Warszawa, 1991.

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Smalko, profesor w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych. Specjalizuje się w tematyce niezawodności, bezpieczeństwa i eksploatacji technicznych systemów transportowych. Autor i współautor ponad 200 publikacji naukowych. Członek Komitetu Transportu PAN, PTBiN, ERN SAFERELNET, ETNiŚT. Redaktor Archiwum Transportu.