AKADEMIA
SZTABU GENERALNEGO
IM. GENERAŁA BRONI
KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

Mjr mgr inż. A. GROCHALSKI
Mjr mgr inż. L. KWIATEK

MODELOWANIE SYSTEMU ROZPOZNANIA WOJSKOWEGO NA SZCZEBLACH TAKTYCZNYCH W ASPEKCIE BADANIA EFEKTYWNOŚCI

Część II

OCENA EFEKTYWNOŚCI SYSTEMU ROZPOZNANIA WOJSKOWEGO NA SZCZEBLACH TAKTYCZNYCH

Rozprawa doktorska

WARSZAWA 1989

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO

IM. GENERAŁA BRONI KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

Mjr mgr inż. A. GROCHALSKI
Mjr mgr inż. L. KWIATEK

MODELOWANIE SYSTEMU ROZPOZNANIA WOJSKOWEGO NA SZCZEBLACH TAKTYCZNYCH W ASPEKCIE BADANIA EFEKTYWNOŚCI

Część II

OCENA EFEKTYWNOŚCI SYSTEMU ROZPOZNANIA WOJSKOWEGO NA SZCZEBLACH TAKTYCZNYCH

Rozprawa doktorska

WARSZAWA 1989

A K A D E M I A S Z T A B U G E N E R A L N E G O WP
im. Gen. KAROLA S W I E R C Z E W S K I E G O

WYDZIAŁ WOJSK LĄDOWYCH

Mjr mgr inż. A. GROCHALSKI
Mjr mgr inż. L. KWIATEK

MODELOWANIE SYSTEMU ROZPOZNANIA WOJSKOWEGO NA SZCZEBLACH TAKTYCZNYCH W ASPEKCIE BADANIA EFEKTYWNOŚCI

CZĘŚĆ II

OCENA EFEKTYWNOŚCI SYSTEMU ROZPOZNANIA WOJSKOWEGO NA SZCZEBLACH TAKTYCZNYCH

ROZPRAWA DOKTORSKA

WARSZAWA CZERWIEC 1989r

SPIS TREŚCI

ROZDZIAŁ I - PODSTAWY TEORETYCZNE EFEKTYWNOŚCI ROZPOZNANIA

ROZDZIAŁ II - METODA OCENY EFEKTYWNOŚCI DZIAŁANIA SYSTEMU EX POST

ROZDZIAŁ III - METODA OCENY EFEKTYWNOŚCI DZIAŁANIA SYSTEMU EX ANTE

ROZDZIAL I
PODSTAWY TEORETYCZNE EFEKTYWNOSCI ROZPOZNANIA

W czasie prowadzonych studiów nad metodami badania efektywności stwierdziliśmy, że nie ma jednolitej metody oceny, jednolitego wzorca dla budowania kryteriów oceny efektywności systemów działania. Stwierdzenie to nie tyle wynika z praw rządzących efektywnością, ile z istoty funkcjonowania systemów, a głównie różnorodności ich cech charakterystycznych. System rozpoznania wojskowego nie jest w tym względzie wyjątkiem.

Z uwagi na to, że system rozpoznania zalicza się do wielkich systemów działania, jego ocenę należy oprzeć o szeroki zestaw parametrów charakteryzujących stan i własności działania systemu, możliwych do rejestrowania bez zakłócania jego pracy.

W dalszych badaniach uwzględnione zostaną przede wszystkim te parametry, wskaźniki i kryteria efektywności reprezentujące cechy charakterystyczne systemu, które mają zasadniczy wpływ na jego działanie. Biorąc pod uwagę zróżnicowanie części składowych systemu rozpoznania wojskowego, a za tym i różnorodność potrzeb oceny ich efektywności , uznajemy za celowe analizowanie możliwości oceny efektywności systemu rozpoznania wojskowego na podstawie jego cech charakterystycznych.

W Części I rozprawy dokonaliśmy analizy systemu rozpoznania w aspekcie badania jego efektywności. W wyniku analizy określony został model opisowy systemu oraz określone zostały parametry i wskaźniki, w oparciu o które konstruowane będą kryteria oceny jego efektywności. Część II

poświęcona jest wypracowywaniu metod oceny efektywności elementów, podsystemów, rodzajów rozpoznania oraz systemu rozpoznania wojskowego szczebla taktycznego.

W celu zbudowania metody oceny efektywności określimy model matematyczny systemu rozpoznania, który będzie stanowił podstawę dalszych rozważań. Na użytek tego modelu wprowadzimy nieformalne definicje niektórych pojęć, które będą używane w Części II rozprawy.

Element rozpoznania - najmniejsza część sił i środków rozpoznania uwzględniana w ocenie efektywności.

System rozpoznania - powiązany funkcjonalnie zbiór elementów rozpoznania z określonymi dla nich procesami planowania rozpoznania, zdobywania informacji rozpoznawczych oraz dystrybucji meldunków rozpoznawczych.

Podsystem rozpoznania - powiązany funkcjonalnie podzbiór elementów rozpoznania z określonymi dla nich procesami planowania rozpoznania, zdobywania informacji rozpoznawczych oraz dystrybucji meldunków rozpoznawczych.

Element organizacyjny - element rozpoznania posiadający podległe elementy realizujący proces planowania.

Element wykonawczy - element rozpoznania nie posiadający podległych elementów realizujący proces zdobywania i dystrybucji informacji. Jeżeli realizuje on proces planowania, to proces ten nie jest w modelu rozpatrywany.

Obiekt rozpoznania - część wojsk nieprzyjaciela lub operacyjnego przygotowania terenu, która może być źródłem informacji dla systemu rozpoznania (uwzględniona w ćwiczeniu przez jego autora lub rozjemców).

Rodzaj rozpoznania - siły i środki wyspecjalizowane w wykrywniu obiektów rozpoznania poprzez specyficzne dla

siebie sposoby działania. Element rozpoznania jest reprezentantem rodzaju rozpoznania, jeżeli stosuje jednorodny sposób działania. Tradycyjnie wyróżnia się takie rodzaje rozpoznania jak: ogólnowojskowe, radioelektroniczne, specjalne, powietrzne, agenturalne, kosmiczne.

Typ elementu rozpoznania - tradycyjnie wyróżniane są typy elementów rozpoznawczych ze względu na typ sprzętu i taktykę działania, np: zestaw namierników UKF, zestaw namierników KF, grupa specjalna, patrol na BWP, patrol na SKOT, śmigłowiec rozpoznawczy, samolot rozpoznawczy.

Ocena nieprzyjaciela - zbiór obiektów rozpoznania, znajdujących się w pasie działania elementu rozpoznania, z uwzględnieniem stref odpowiedzialności i ugrupowania bojowego wojsk nieprzyjaciela.

Zadanie planowania - rozkaz opracowania przez element organizacyjny planu rozpoznania w wymaganym czasie z uwzględnieniem aktualnej oceny nieprzyjaciela.

Zadanie rozpoznawcze - wydany przez element organizacyjny podległemu elementowi wykonawczemu rozkaz wykrycia i śledzenia obiektu rozpoznania w wyznaczonym rejonie oraz składania terminowych meldunków o jego położeniu.

Plan rozpoznania - zbiór zadań rozpoznawczych dla podległych elementów uwzględniający ich stan sił i środków oraz możliwości, a także aktualną ocenę nieprzyjaciela.

Meldunek rozpoznawczy - informacja o obiekcie rozpoznania przesłana w formie meldunku elementowi organizacyjnemu przez podległy mu element rozpoznawczy, zawierająca: nazwę, numer i położenie obiektu rozpoznania, czas wykrycia, rodzaj rozpoznania, który wykrył obiekt oraz czas odebrania meldunku przez element organizacyjny.

Obiekt rozpoznany - obiekt rozpoznania o określonym

przez meldunki rozpoznawcze aktualnym i dokładnym położeniu.

Wykonanie zadania rozpoznawczego - przekazywanie przez element rozpoznawczy meldunków rozpoznawczych o aktualnym i dokładnym położeniu obiektu rozpoznania określonego w zadaniu rozpoznawczym.

W celu zbudowania metody efektywności działania systemu rozpoznania zdefiniujemy model jego struktury w postaci grafu:

$$\mathbb{G}_R = \langle \mathcal{J}, \Gamma_R \rangle$$

gdzie:

$\mathcal{J} = \left\{ j_i : i = 0,1,\ldots,J \right\}$ - zbiór elementów rozpoznania.

$\Gamma_R \subset \mathcal{J} \times \mathcal{J}$ - relacja podporządkowania funkcjonalnego elementów systemu rozpoznania określająca dla każdego elementu zbiór podległych mu elementów rozpoznania:

$\Gamma_R = \left\{ (j',j'') \in \mathcal{J}\times\mathcal{J} : j'' \text{ jest elementem rozpoznania funkcjonalnie podległym elementowi rozpoznania } j' \right\}$.

Relacja podporządkowania funkcjonalnego Γ_R określa na zbiorze $\mathcal{J}$ strukturę hierarchii, w której:

1. każdy element $j \in \mathcal{J}$ posiada co najwyżej jeden element nadrzedny

$$\overline{\overline{\Gamma_R^{-1}(j)}} \leq 1$$

2. istnieje dokładnie jeden element $j_o \in \mathcal{J}$ nie posiadający elementu narzędnego

$$\Gamma_R^{-1}(j_o) = \emptyset$$

W opisywanym systemie rozpoznania wyróżniamy zbiory:

$\mathcal{J}^w = \left\{ j \in \mathcal{J} : \Gamma_R(j) = \emptyset \right\}$ - zbiór elementów wykonawczych;

$\mathcal{J}^{\circ} = \left\{ j \in \mathcal{J}: \Gamma_{\mathbf{R}}(j) \neq \emptyset \right\}$ - zbiór elementów organizacyjnych.

Między wymienionymi zbiorami zachodzą zależności:

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}^{v} \cup \mathcal{J}^{\circ};$$

$$\mathcal{J}^{v} \cap \mathcal{J}^{\circ} = \emptyset.$$

Dalej będziemy rozpatrywać tylko te podsystemy rozpoznania, których struktura $\mathcal{G}' = (\mathcal{J}', \Gamma'_{\mathbf{R}})$ spełnia warunki 1 i 2 oraz

$$\mathcal{J}' \subset \mathcal{J},$$

$$\Gamma'_{\mathbf{R}} = \mathcal{J}' \times \mathcal{J}' \cap \Gamma_{\mathbf{R}}.$$

Działanie systemu rozpoznania będą opisywać oceny nieprzyjaciela, zadania planowania, plany rozpoznawcze, zarządzenia rozpoznawcze, meldunki rozpoznawcze oraz stany sił i środków elementów systemu.

Do otoczenia zewnętrznego zaliczymy obiekty rozpoznania i ich charakterystykę, normy działania określone teorią działania wojsk oraz okres prowadzenia działań (badań).

Metoda obliczania efektywności systemu, podsystemów i elementów rozpoznania będzie polegać na wyznaczaniu bieżących ocen cząstkowych spełniania określonych własności rozpoznania w trakcie realizacji przez nie poszczególnych procesów.

Na podstawie ocen cząstkowych sformułowane zostaną uogólnione chwilowe oceny elementów, podsystemów i systemu rozpoznania, z których będzie można wypracowywać oceny za dowolne przedziały czasu.

1. ODWZOROWANIE FUNKCJONALNE DZIALANIA SYSTEMU A PARAMETRY I WSKAZNIKI EFEKTYWNOSCI.

(L. Kwiatek)

Odwzorowanie funkcjonalne systemu rozpoznania wojskowego opisane w Części I rozprawy dotyczące badania efektywności ex post, jak również ex ante jest niezwykle pomocne przy wyrażaniu stanów dynamicznych tego systemu i dlatego traktujemy to odwzorowanie jako podstawę budowania parametrów i wskaźników efektywności. Teoretyczne odwzorowanie funkcjonalne jednego elementu na jednym szczeblu hierarchii systemu rozpoznania stanowi podstawę do wypracowania metody oceny efektywności elementu systemu. Ze względu na różnice w modelu matematycznym procesów realizowanych przez system rozpoznania szczebla taktycznego do oceny ex post i ex ante, w dalszej części rozdziału opiane zostaną poszczególne modele matematyczne oraz parametry i wskaźniki ocen efektywności oddzielnie.

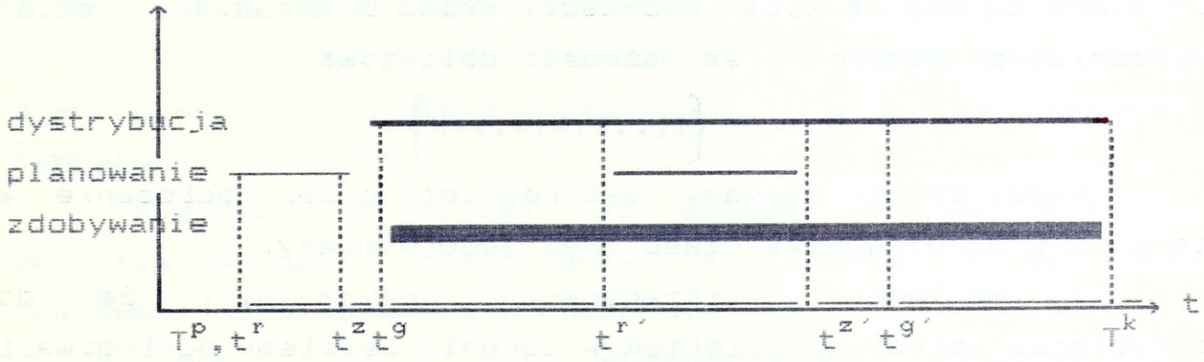
1.1. Model matematyczny działania systemu rozpoznania w aspekcie badania efektywności ex post

Działanie systemu rozpoznania rozpatrywane jest w określonym przedziale czasu. Wszystkie konstruowane wskaźniki i kryteria powinny być funkcją czasu i odpowiednich parametrów. W dalszych rozważaniach przyjmujemy, że badanie działania systemu rozpoznania prowadzone będzie w przedziale czasu $\mathbb{T} = \langle T^p, T^k \rangle$, gdzie:

T^p - astronomiczny czas rozpoczęcia badania działania systemu;

T^k - astronomiczny czas zakończenia badania działania systemu.

W rozpatrywanym przedziale czasu system rozpoznania realizuje określone procesy działania, z których trzy będą podlegały ocenie: planowanie, zdobywanie i dystrybucja informacji. Schematycznie na osi czasu można przedstawić zależności między procesami oraz wskazać interesujące nas chwile czasowe, reprezentujące określone stany poszczególnych procesów. Na rysunku 1.1 przedstawiono profil przebigu procesów działania w funkcji czasu.



Rys.1.1 Profil przebiegu trzech procesów działania.

t^r - czas rozpoczęcia tworzenia planu rozpoznania;

t^z - czas zakończenia tworzenia planu na daną systuację;

t^g - czas gotowości systemu (czas rozpoczęcia realizacji obowiązującego planu).

System rozpoznania funkcjonuje w określonym otoczeniu zewnętrznym, które stanowią obiekty rozpoznania wynikające ze struktury wojsk nieprzyjaciela znajdujących się w pasie działania systemu i będące przedmiotem rozpoznawania. Do dalszych rozważań przyjmujemy, że w dowolnej chwili czasu $t \in \mathbb{T}$ dany jest niepusty zbiór obiektów rozpoznania, oznaczany przez $\mathbb{N}(t)$, a każdy obiekt n należący do tego

zbioru opisujemy trójką:

$$n = \langle k, H^{\alpha}(t), \Delta H \rangle$$

gdzie:

$k \in \mathbb{K}$ - numer klasy do której należy obiekt;

$H^{\alpha}(t) \in \mathbb{H}$ - położenie obiektu określone przez autora ćwiczenia lub rozjemców w chwili czasu t;

$\Delta H \in \Delta\mathbb{H}$ - wymiary obiektu.

Zgodnie z przedstawioną w Części I rozprawy charakterystyką obiektów nieprzyjaciela (p.1.5 str.50), dzielone są one na klasy ważności. Przez $\mathbb{K}$ oznaczamy zbiór wyróżnianych numerów klas ważności obiektów:

$$\mathbb{K} = \left\{1,\ldots,k,\ldots,K\right\}$$

Każdy obiekt opisany jest również przez położenie w terenie w danej chwili czasu oraz jego wymiary.

Ze względów obliczeniowych przyjmujemy, że do określania położenia obiektów w terenie będziemy posługiwali się wyłącznie współrzędnymi geograficznymi.

Przez $\mathbb{H}$ oznaczymy przestrzeń współrzędnych geograficznych:

$$\mathbb{H} = \left\{ \langle \vartheta, \lambda \rangle : \vartheta \in \langle -90^{\circ}, +90^{\circ} \rangle,\ \lambda \in \langle -180^{\circ}, +180^{\circ} \rangle \right\}$$

gdzie:

ϑ - szerokość geograficzna w stopniach;

λ - długość geograficzna w stopniach.

Przez $\Delta\mathbb{H}$ będziemy oznaczać zbiór wymiarów obiektów nieprzyjaciela:

$$\Delta\mathbb{H} = \left\{ \langle l, g \rangle : l, g \in \mathcal{R} \right\}$$

gdzie:

l - długość obiektu w kilometrach;

g - głębokość obiektu w kilometrach.

W systemie rozpoznania rozpatrujemy dwa rodzaje elementów systemu (wykonawcze i organizacyjne) oraz trzy procesy działania (planowanie, zdobywanie i dystrybucja). Każdy element organizacyjny będzie oceniany za realizację procesu planowania i dystrybucji informacji, zaś wykonawczy za zdobywanie i dystrybucję. Proces planowania rozpoznania rozpoczyna się od wypracowania i zatwierdzenia oceny nieprzyjaciela (wojska nieprzyjaciela znajdujące się w pasie rozpoznania), a kończy się opracowaniem planu rozpoznania i przekazaniem zarządzeń rozpoznawczych podległym elementom (postawienie zadań rozpoznawczych).

Ocena nieprzyjaciela polega na określaniu wojsk nieprzyjaciela w pasie rozpoznania oraz przewidywaniu zamiaru ich działań.

W modelu przyjmujemy, że polega ona na określaniu obiektów w pasie rozpoznania z uwzględnieniem stref ogniowego oddziaływania i nadzoru.

Niech $\mathbb{S} = \{1, 2\}$ zbiór numerów stref odpowiedzialności.

Ocena nieprzyjaciela dokonana przez element organizacyjny $j_o \in \mathbb{J}$ w chwili czasu t, to określony podzbiór obiektów rozpoznania $\mathbb{N}(t)$ z podziałem na strefy odpowiedzialności $\mathbb{S}$:

$$\Phi_{j_o}(t) \subset \mathbb{N}(t) \times \mathbb{S}$$

przy czym obiekt nie może występować jednocześnie w dwóch strefach odpowiedzialności:

$$\langle n,s\rangle, \langle n,s'\rangle \in \Phi_{j_o}(t) \text{ to } \langle n,s\rangle = \langle n,s'\rangle.$$

Planowanie wykonywane przez element organizacyjny można potraktować jako realizację zadania planowania.

Wynikiem realizacji tego zadania jest plan działania podległych elementów wykonawczych opracowany w oparciu o ocenę nieprzyjaciela. Zadanie planowania elementu organizacyjnego j_o będziemy opisywać czwórką:

$$z^p_{j_o} = \langle \Phi_{j_o}(t^r),\ t^r,\ t^p,\ t^o \rangle$$

gdzie:

$\Phi_{j_o}(t^r)$ - opracowana przez element j_o ocena nieprzyjaciela;

t^r - czas rozpoczęcia tworzenia planu rozpoznania;

t^p - czas pożądany zakończenia tworzenia planu rozpoznania;

t^o - czas ostateczny zakończenia tworzenia planu.

Zadanie planowania realizowane bieżąco lub ostatnio zrealizowane do chwili czasu t, przez element j_o określimy następująco:

$$Z^p_{j_o}(t) = \langle \Phi_{j_o}(t^r), t^r, t^p, t^o \rangle$$

przy czym:

$T^p \leq t^r < t$

$t^r \leq t^p \leq t^o$

Przyjmujemy założenie, że w chwili czasu $t \in \mathbb{T}$ istnieje co najwyżej jedno zadanie planowania wykonane lub wykonywane przez element organizacyjny.

W wyniku realizacji przez element organizacyjny $j_o \in \mathcal{J}^o$ zadania planowania powstaje plan rozpoznania opisany czwórką

$$q = \langle j_o,\ t^z,\ t^g,\ \mathbb{Z}^v \rangle$$

gdzie:

$t^z \in \mathbb{T}$ - czas zakończenia tworzenia planu rozpoznania;

$t^g \in \mathbb{T}$ - czas gotowości podległych elementów wykonawczych;

$t^g \geq t^z$;

$\mathbb{Z}^v$ - zbiór zadań rozpoznawczych dla podległych elementów:

$$\mathbb{Z}^{v} = \mathbb{Z}^{v}(q) \subset \Gamma_{R}(j_{o}) \times \mathbb{N}(t) \times \mathbb{H}$$

przy czym $z = \langle j, n, H^{p} \rangle \in \mathbb{Z}^{v}$ oznacza zadanie rozpoznawcze postawione elementowi j dotyczące wykrycia obiektu rozpoznania n w rejonie określonym położeniem H^{p}.

Określamy zbiór wszystkich planów opracowanych przez element organizacyjny j_{o} do chwili czasu t:

$$\mathbb{Q}_{j_{o}}(t) = \left\{ \langle j_{o}, t^{z}, t^{g}, \mathbb{Z}^{v} \rangle : T^{p} \leq t^{z} < t \right\}.$$

Zbiór wszystkich planów rozpoznania opracowanych w systemie do chwili czasu t:

$$\mathbb{Q}(t) = \bigcup_{j_{o} \in \mathbb{J}^{o}} \mathbb{Q}_{j_{o}}(t),$$

zbiór zadań rozpoznawczych dla elementu $j \in \Gamma_{R}(j_{o})$ wynikających z obowiązującego planu rozpoznania $q = \langle j_{o}, t^{z}, t^{g}, \mathbb{Z}^{v} \rangle$ odpowiada zarządzeniu rozpoznawczemu:

$$\mathbb{Z}^{v}_{j}(q) = \left\{ \langle j, n, H^{p} \rangle \in \mathbb{Z}^{v}(q) \right\}.$$

Do dalszych rozważań przyjmujemy że:
w danej chwili t istnieje tylko co najwyżej jeden plan rozpoznania, który jest obowiązującym planem dla elementu wykonawczego badanego systemu rozpoznania.

Po postawieniu zadań przez elementy organizacyjne podległym wykonawcom od chwili t^{g} rozpoczyna się realizacja danego planu, której wynikiem są napływające meldunki rozpoznawcze.

Każdy meldunek rozpoznawczy opisany jest szóstką:

$$m = \langle j, r, n, H^{v}, t^{v}, t^{d} \rangle$$

gdzie:

$j \in \mathbb{J}$ - element systemu przekazujacy meldunek;

$r \in \mathbb{R}$ - rodzaj rozpoznania, który wykrył obiekt;

$n \in \mathbb{N}(t)$ - wykryty obiekt rozpoznania;

$H^v \in \mathbb{H}$ - położenie obiektu;

$t^v \in \mathbb{T}$ - czas rozpoznania obiektu;

$t^d \in \mathbb{T}$ - czas dotarcia informacji o obiekcie, przy czym $t^d \geq t^v$.

Zbiór meldunków jakie przekazał element j do chwili czasu $t \in \mathbb{T}$ określimy następująco:

$$\mathbb{M}_j(t)=\left\{\langle j,r,n,H^v,t^v,t^d\rangle : T^p \leq t^v \leq t\right\}$$

Zbiór $\mathbb{M}_j(t)$ to zbiór wszystkich meldunków rozpoznawczych o rozpoznanych obiektach nieprzyjaciela, które zostały przekazane przez j-ty element systemu elementowi nadrzędnemu do chwili czasu t.

Elementy wykonawcze w trakcie prowadzonych działań przekazują okresowo meldunki o stanie własnych sił i środków. Zbiór takich meldunków oznaczymy jako $\mathbb{V}_j$, a elementem tego zbioru będzie medunek "v" opisany trójką:

$$v=\langle j,t^u,u\rangle$$

gdzie:

$j \in \mathbb{J}^v$ - nadawca meldunku;

$t^u \in \mathbb{T}$ - czas przekazania danych;

$u \in R$ - stan sił i środków elementu.

Zbiór meldunków przekazanych do chwili czasu t przez element j, o stanie własnych sił i środków można zdefiniować następująco:

$$\mathbb{V}_j(t) = \left\{\langle j,t^u,u\rangle : T^p \leq t^u \leq t\right\}.$$

Zakładamy istnienie danych o stanie sił i środków

każdego elementu wykonawczego w chwili rozpoczęcia oraz zakończenia badań systemu (w chwili czasu T^p i T^k).

W trakcie dokonywania analizy systemu rozpoznania (Część I rozprawy) zostały opisane niektóre charakterystyczne normy i wymagania dotyczące pracy systemu rozpoznania. Są to:

$a: \mathbb{K} \times \mathbb{S} \longrightarrow \mathcal{R}$ - normy procentowego rozpoznania obiektów nieprzyjaciela występujących w pasie rozpoznania według klas ważności i stref odpowiedzialności;

$\Delta L: \mathbb{K} \longrightarrow \mathcal{R}$ - normy dopuszczalnego błędu określania położenia obiektów według klas ważności;

$\Delta t^p \in \mathcal{R}$ - pożądane okresy czasu na dotarcie informacji o obiektach;

$\Delta t^o \in \mathcal{R}$ - ostateczne okresy czasu na dotarcie informacji o obiektach;

$\alpha^v \in \mathcal{R}$ - normy strat sił i środków elementów systemu przypadających na jednostkę czasu,

gdzie:

$\mathbb{K}$ - zbiór klas ważności obiektów;

$\mathbb{S}$ - zbiór stref odpowiedzialności;

$\mathcal{R}$ - zbiór liczb rzeczywistych.

W modelu działania systemu rozpoznania będą występowały również parametry zewnętrzne (wyliczeniowe) wykorzystywne przy wyznaczaniu wskaźników efektywności. Do parametrów tych zostały zaliczone:

- wagi obiektów nieprzyjaciela;
- pożądane okresy czasu składania meldunków o rozpoznanych obiektach.

Wagi obiektów mogą być wyznaczane na podstawie ważności danego obiektu, jego miejsca w ugrupowanu oraz przynależności do klasy ważności lub też mogą być ustalone metodą ekspertów. Możemy zapisać, że:

$$c: \mathbb{N} \longrightarrow \mathcal{R}$$

Pożądane okresy czasu składania meldunków rozpoznawczych mogą wynikać z przyjętych cyklów pracy informacyjnej w danym systemie, bądź mogą być ustalane przez elementy organizacyjne danego systemu:

$$\Delta t^{w}: \mathbb{N} \longrightarrow \mathcal{R}$$

W dalszych rozważaniach $\Delta t^{w}(n)$ będzie oznaczać pożądany okres składania meldunków o obiekcie rozpoznania n. Ostateczny okres składania meldunków będzie równy $2*\Delta t^{w}(n)$. Jeżeli od chwili wykrycia upłynie ten okres czasu, to informacja w nim zawarta będzie posiadała jedynie wartość archiwalną.

Przedstawiony model działania systemu rozpoznania do badania oceny efektywności ex post będzie podstawą do tworzenia metod oceny efektywności. Przy wyborze i stosowaniu parametrów oraz wskaźników efektywności kierowaliśmy się następującymi założeniami:

- *wskaźniki efektywności powinny optymalizować funkcjonowanie rozpatrywanego systemu;*
- *wskaźniki powinny wynikać z dotychczasowego stylu pracy rozpoznania i informować o aktualnym stanie funkcjonowania systemu rozpoznania;*
- *wskaźniki powinny być konstruowane w oparciu o możliwości i dane taktyczno-techniczne sprzętu oraz normy taktyczno-techniczne potwierdzone informacjami z praktycznych*

działań systemu rozpoznania.

Każda opisana w Części I rozprawy własność systemu rozpoznania jest charakteryzowana odpowiednimi parametrami, które to stanowią dane do budowy wskaźników efektywności, np. terminowość planowania charakteryzują między innymi takie parametry jak: czas rozpoczęcia planowania, pożądany czas zakończenia planowania, czas zakończenia danego zadania planowania itd.

Z parametrów opisujących daną własność wybiera się takie, które najlepiej (najpełniej) charakteryzują tę własność rozpoznania przy realizacji określonego procesu informacyjnego. Wskaźniki efektywności, które konstruowane są w oparciu o odpowiednie parametry, określają stopień spełnienia danej własności. Przez W_{xy} oznaczymy wskaźnik określający stopień spełnienia własności "y" w procesie informacyjnym "x". Wskaźniki te dalej będą nazywane "wskaźnikami własności".

W oparciu o wskaźniki własności będą konstruowane wskaźniki działania systemu rozpoznania wynikające z realizacji poszczególnych procesów informacyjnych. Przez W_x oznaczymy wskaźnik działania procesu x, który będzie funkcją odpowiednich wskaźników własności.

W Części I rozprawy zostały zdefiniowane poszczególne własności i procesy informacyjne oraz zostały określone parametry i wskaźniki, które należy uwzględnić przy budowie kryteriów oceny efektywności elementów systemu. Określone są więc następujące zbiory:

$\mathcal{X} = \left\{ z, d, p \right\}$ zbiór procesów informacyjnych;

gdzie :

z - proces zdobywania informacji;

d - proces dystrybucji informacji;

p - proces planowania rozpoznania;

$\mathcal{Y} = \{a, c, d, t, s\}$ zbiór własności rozpoznania;

gdzie:

a - własność aktywność;

c - własność celowość;

d - własność dokładność;

t - własność terminowość;

s - własność skrytość,

a także zbiory parametrów charakteryzujących poszczególne własności w określonych procesach informacyjnych.

Z praktyki naszych badań wynika, że nie wszystkie z wymienionych w Części I rozprawy parametrów będą użyteczne w dokonywanej ocenie efektywności działania systemu. Część z wymienionych parametrów opisujących własności rozpoznania to parametry "obojętnie" wpływające na wynik oceny efektywności. Inna część to parametry uzyskiwane skomplikowanymi metodami pomiaru, co powoduje wydłużenie czasu niezbędnego na dokonanie oceny efektywności. Ponadto dla części parametrów niepotrafimy określić metody ich pomiaru. Z tych powodów w dalszych punktach niniejszego rozdziału przedstawiamy wybrane przez nas własności rozpoznania, które:

1. *wywierają istotny wpływ na procesy informacyjne charakteryzujące działanie elementów systemu rozpoznania;*

2. *dają się opisać parametrami wyrażającymi przydatność procesów informacyjnych do osiągnięcia celu systemu rozpoznania;*
3. *mogą stać się optymalizatorami działania systemu rozpoznania.*

1.2. Model matematyczny działania systemu rozpoznania w aspekcie badania efektywności ex ante

Z przedstawionego w Cześci I rozprawy opisowego modelu systemu rozpoznania do badania oceny efektywności ex ante oraz z przyjętych tam założeń wynika, iż ocenę efektywności należy dokonywać w oparciu o oceny poszczególnych elementów wykonawczych systemu rozpoznania. Przewidywane działanie systemu rozpoznania rozpatrywać należy w określonym przedziale czasu. Zakładamy, iż badanie systemu będzie dotyczyć badania możliwości realizacji jednego planu rozpoznania (jedna, konkretna ocena nieprzyjaciela). Przewidywana ocena efektywności systemu rozpoznania opierać się będzie na przewidywanych ocenach efektywności poszczególnych elementów ocenianego systemu. W trakcie realizacji narzuconego planu rozpoznania system ma zrealizować określone procesy, z których dwa będą podlegały ocenie:

- zdobywanie informacji rozpoznawczych;
- dystrybucja informacji rozpoznawczych.

Do dalszych rozważań przyjmujemy, że dany jest niepusty zbiór obiektów rozpoznania $\mathbb{N}$, które mogą być rozpoznawane przez oceniany system. Każdy obiekt rozpoznania reprezentuje trójka:

$$n = \langle k, H^{\alpha}, \Delta H \rangle$$

gdzie:

$k \in \mathbb{K}$ - numer klasy ważności obiektu;

$H^{\alpha} \in R$ - odległość obiektu od linii styczności wojsk (w modelu ex post atrybut ten oznaczał położenie autorskie obiektu rozpoznania);

$\Delta H \in \Delta \mathbb{H}$ - wymiary obiektu.

Określona jest, przyjęta przez element j_o systemu ocena nieprzyjaciela, którą stanowi podzbior obiektów występujących w pasie działania badanego systemu rozpoznania:

$$\Phi_{j_o} \subset \mathbb{N}$$

gdzie:

$\mathbb{N}$ - zbiór wszystkich obiektów nieprzyjaciela występujących w pasie rozpoznania, według autora ćwiczenia.

Na podstawie oceny nieprzyjaciela tworzone są plany rozpoznania. Ze względu na brak metod zautomatyzowanego wspomagania tworzenia planów rozpoznania przyjmujemy, że dla każdego ocenianego elementu wykonawczego istnieje zbiór zadań rozpoznawczych zleconych do wykonania w określonym czasie. Plan rozpoznania danego elementu organizacyjnego reprezentuje dwójka:

$$q = \langle j_o, \mathbb{Z}^{v} \rangle$$

gdzie:

$j_o \in \mathcal{J}^{o}$ - element organizacyjny;

$\mathbb{Z}^{v}$ - zbiór zadań rozpoznawczych zleconych przez j_o-ty element podległym elementom wykonawczym:

$$\mathbb{Z}^{v} = \mathbb{Z}^{v}(q) \subset \Gamma_{\mathbf{R}}(j_o) \times \Phi_{j_o}$$

przy czym $z = \langle j,n \rangle \in \mathbb{Z}^{v}$ oznacza zadanie rozpoznawcze postawione elementowi $j \in \Gamma_{r}(j_{o})$ dotyczące wykrycia obiektu rozpoznania n.

Zbiór zadań rozpoznawczych dla elementu $j \in \Gamma_{R}(j_{o})$ wynikających z obowiązującego planu rozpoznania $q = \langle j_{o}, \mathbb{Z}^{v} \rangle$ (stanowiący zarządzenie rozpoznawcze) określimy przez:

$$\mathbb{Z}^{v}_{j}(q) = \left\{ \langle j,n \rangle \in \mathbb{Z}^{v}(q) \right\}.$$

Dla każdego elementu wykonawczego dysponujemy planem rozpoznania (zbiór zadań rozpoznawczych $\mathbb{Z}^{v}_{j}$), czyli znamy obiekty rozpoznania zlecone elementowi j do rozpoznawania. Przez $\mathbb{N}^{p}_{j}$ oznaczać będziemy zbiór obiektów przydzielonych do rozpoznawania elementowi j:

$$\mathbb{N}^{p}_{j} = \left\{ n \in \mathbb{N} : \langle j,n \rangle \in \mathbb{Z}^{v}_{j}(q) \right\}.$$

Wynikiem realizacji procesu zdobywania informacji wg planu rozpoznania q będą zbiory rozpoznanych obiektów nieprzyjaciela. Symbolem $\mathbb{N}^{r}_{j}$ będziemy oznaczać zbiór możliwych do rozpoznania obiektów nieprzyjaciela przez j-ty element systemu. Zbiór ten będzie wynikać z analizy planu rozpoznania, norm na okresowe składanie meldunków o obiektach i wymagań czasowych na rozpoznanie obiektów. Będzie to podzbiór zbioru obiektów przydzielonych do rozpoznawania.

W modelu strukturalnym systemu rozpoznania wyróżniliśmy jego elementy składowe powiązane ze sobą strukturą funkcjonalną. Elementy systemu rozpoznania dzielone są na elementy wykonawcze oraz elementy organizacyjne. Każdy zaś element systemu jest opisany typem środka rozpoznania $r \in \mathbb{R}$ jaki sobą reprezentuje.

Klasyfikację reprezentuje relacja $\mathcal{K}$ zdefiniowana następująco:

$$\mathcal{K}: \mathcal{J} \longrightarrow \mathbb{R}$$

gdzie:

$\mathbb{R}$ - zbiór wyróżnianych typów elementów rozpoznawczych.

W omawianym modelu głównymi parametrami wykorzystywanymi do budowy wskaźników efektywności będą parametry wyliczeniowe oraz parametry wynikające z norm regulujących działanie systemu rozpoznania. Do parametrów tych zostały zaliczone parametry opisane w punkcie 1.1:

$c(n)$ - waga obiektu rozpoznania n,

$\Delta t^{v}(n)$ - wymagane okresy czasu na składanie meldunków o obiekcie n;

parametry opisane w Części III rozprawy:

$\Delta\tau^{v}(n,r)$ - wymagany okres czasu na rozpoznanie obiektu n przez środek rozpoznania r z minimalnym błędem przy określaniu położenia obiektu w terenie,

$L(r,n,\Delta\tau)$ - funkcja dokładności określania położenia obiektu n przez środek rozpoznania r, w zależności od wielkości czasu $\Delta\tau$ zużytego na rozpoznawanie obiektu;

oraz dodatkowo:

$\zeta(j)$ - normy określające maksymalną przepustowość kanałów łączności elementu j zbierającego informacje (maksymalna liczba meldunków, które może przyjąć element w określonej jednostce czasu).

Wprowadzony parametr określający maksymalną przepustowość kanałów łączności elementu organizacyjnego wynika z liczby oraz jakości środków łączności jakimi on

dysponuje. Dotychczas brak metod, które pozwalałyby na wyznaczanie wartości tak określanego parametru, na podstawie znajomości typów środków łączności. Do dalszych rozważań przyjmujemy, że dany jest dla każdego elementu organizacyjnego parametr $\zeta(j)$. Parametr ten może być ustalany metodą ekspertów na podstawie parametrów poszczególnych typów środków łączności i będzie określał maksymalną liczbę możliwych do przyjęcia meldunków w umownej jednostce czasu.

Wybrane i opisane procesy informacyjne oraz własności systemu rozpoznania będą stanowić podstawę do budowy wskaźników efektywności. W rozpatrywanym modelu wybrane zostały dwa procesy informacyjne (zdobywanie i dystrybucja) oraz trzy własności rozpoznania (terminowość, dokładność, celowość). Wskaźniki własności będą konstruowane w oparciu o parametry, które najpełniej wskazują stopień spełnienia danej własności przy realizacji danego procesu i są możliwe do określenia. Będą to parametry wynikające z norm taktyczno-technicznych oraz parametry świadczące o potencjalnych możliwościach systemu rozpoznania i poszczególnych jego elementów. Określone są więc następujące zbiory:

$\mathcal{X} = \{z, d\}$ zbiór procesów informacyjnych;

gdzie :

z - proces zdobywania informacji;

d - proces dystrybucji informacji;

$\mathcal{Y} = \{c, d, t\}$ zbiór własności rozpoznania;

gdzie:

c - własność celowość;

d - własność dokładność;

t - własność terminowość.

Wybrane zostały te własności i procesy, które:

- można opisać parametrami obliczalnymi, mierzalnymi, bądź ustalanymi metodą ekspertów, wyrażającymi przydatność procesów do osiągnięcia celu przez system rozpoznania;
- można na ich podstawie uzyskać wymierne i wiarygodne informacje o zdolnościach systemu do realizacji zadań rozpoznawczych.

2. WYBOR PARAMETROW I WSKAZNIKOW EFEKTYWNOSCI SYSTEMU ROZPOZNANIA ORAZ ICH CHARAKTERYSTYKA

(L. Kwiatek)

W niniejszym punkcie zostaną omówione poszczególne, wybrane przez nas (w Części I) do dalszych rozważań parametry i przy ich pomocy będą opisane poszczególne wskaźniki oceniające działanie elementów systemu. Charakterystyka ta zostanie przedstawiona z podziałem na ocenę ex post i ocenę ex ante. Podział ten wynika z różnic w modelach matematycznych procesów informacyjnych realizowanych przez system jak również odmiennym podejściu do parametryzacji działania elementu systemu rozpoznania.

2.1. Wybór parametrów i wskaźników dla oceny dokonywanej EX POST

Z opisów badań przedstawionych w Części I rozprawy wynika, że ocenę efektywności elementu systemu rozpoznania konstruować należy na podstawie wskaźników własności określonych przez następujące parametry:

- aktywności zdobywania - $W_{z\alpha}$:

  $\mathbb{N}^p_j$ - zbiór obiektów przydzielonych do rozpoznawania elementowi j systemu rozpoznania,

  $\mathbb{N}^d_j$ - zbiór obiektów rozpoznanych poza planem przez element j,

  c() - wagi obiektów rozpoznania;

- celowości zdobywania - W_{zc}:

$\mathbb{N}^p_j$ - zbiór obiektów przydzielonych do rozpoznawania elementowi j systemu rozpoznania,

$\mathbb{N}^w_j$ - zbiór obiektów rozpoznanych przez element j,

c()- wagi poszczególnych obiektów nieprzyjaciela;

- celowości planowania - W_{pc}:

$\mathbb{N}^o_{ks}$ - zbiory obiektów poszczególnych klas ($k \in \mathbb{K}$), zawartych w ocenie nieprzyjaciela, z podziałem na strefy odpowiedzialności ($s \in \mathbb{S}$),

$\mathbb{N}^p_{ks}$ - zbiory obiektów zawartych w planie rozpoznania z podziałem na strefy odpowiedzialności i klasy ważności ($s \in \mathbb{S}$ i $k \in \mathbb{K}$),

a_{ks} - normy na rozpoznawanie obiektów poszczególnych klas w określonych strefach odpowiedzialności;

- dokładności zdobywania - W_{zd}:

H^a - rzeczywiste położenia obiektów,

H^w - rozpoznane położenia obiektów,

$\Delta L()$- dopuszczalny błąd w określaniu położenia obiektów,

c()- wagi poszczególnych obiektów;

- dokładności planowania - W_{pd}:

H^a - rzeczywiste położenia obiektów,

H^p - przewidywane położenia obiektów ujętych w opracowanych planach rozpoznania,

ΔH - wymiary obiektów;

- terminowość zdobywania - W_{zt}:

  t^g - czas rozpoczęcia realizacji zadań rozpoznawczych,

  $\Delta t^v()$ - pożądane okresy czasu składania meldunków o obiektach rozpoznania,

  t^v - czas rozpoznania obiektu;

- terminowość dystrybucji - W_{dt}:

  t^d - czas dotarcia informacji o obiekcie,

  $\Delta t^p()$ - pożądany okres czasu na dotarcie informacji o obiektach,

  $\Delta t^o()$ - ostateczny okres czasu na dotarcie informacji o obiektach (czas po upływie którego informacja posiada jedynie wartość archiwalną);

- terminowości planowania - W_{pt}:

  t^r - czas rozpoczęcia opracowywania planunu rozpoznania,

  t^z - czas zakończenia opracowywania planu rozpoznania,

  t^p - pożądany czas zakończenia opracowywania planu rozpoznania,

  t^o - ostateczny czas zakończenia opracowywania planu rozpoznania (czas po upływie którego wykonany plan posiada wartość archiwalną);

- skrytości zdobywania - W_{zs}:

  u^p - stan sił i środków elementów systemu w początkowej fazie badania systemu (pierwszy meldunek o stanie sił i środków danego elementu),

  u^t -stan sił i środków elementów systemu w chwili czasu t,

  α^v - dopuszczalne normy ponoszonych strat dla elementów systemu przeliczone na jednostkę czasu.

Wyżej wymienione parametry pod względem ich uzyskiwania można podzielić na parametry wyliczeniowe, parametry normatywne oraz parametry rejestrowane w trakcie działania badanego systemu rozpoznania. Wartość poszczególnych wskaźników własności będzie zależała od wartości parametrów zarejestrowanych do w chwili czasu $t \in \mathbb{T}$ i będzie stała do kolejnej chwili t', w której nastąpi wyznaczenie nowych wartości poszczególnych wskaźników efektywności.

Można przyjąć że:

- *poszczególne wskaźniki efektywności będą w funkcji czasu funkcjami przedziałami stałymi;*
- *dla dowolnej chwili czasu (t = const) wskaźniki w funkcji parametrów je opisujących powinny być funkcjami ciągłymi, malejącymi lub rosnącymi, a typ tych funkcji powinien zależeć od przyjętej strategii obliczania konkretnego wskaźnika.*

2.2. Wybór parametrów i wskaźników dla oceny dokonywanej EX ANTE

Z opisów badań przedstawionych w Części I rozprawy wynika, że ocenę efektywności elementu systemu rozpoznania należy konstruować na podstawie wskaźników określonych przez następujące parametry:

- dokładności zdobywania - W_{zd}:

$\mathbb{N}^P$ - zbiór obiektów zaplanowanych do rozpoznania,

$c()$ - wagi obiektów,

$\Delta\tau^w()$ - wymagane okresy czasu na dokładne rozpoznanie obiektów,

$\Delta t^{w}()$ - wymagany okres czasu na składanie meldunku o obiektach;

- terminowość dystrybucji - W_{dt}:

$\xi()$ - normy określające przepustowość kanałów łączności elementów zbierających meldunki rozpoznawcze,

$\mathbb{Z}^{w}$ - zbiór zadań rozpoznawczych,

$\Delta t^{w}()$ - wymagane okres czasu na składanie meldunku o obiektach;

- celowość zdobywania - W_{zc}:

$\mathbb{N}^{p}$ - zbiór obiektów zaplanowanych do rozpoznania,

$c()$ - wagi obiektów,

$\mathbb{N}^{w}$ - zbiór możliwych do rozpoznania obiektów.

Wyżej wymienione parametry pod względem ich uzyskiwania można podzielić na parametry wyliczeniowe i parametry normatywne. Wartość poszczególnych wskaźników własności będzie zależała od wartości tych parametrów. Można przyjąć że:

- *wskaźniki w funkcji parametrów je opisujących powinny być funkcjami ciągłymi, malejącymi lub rosnącymi, a typ tych funkcji powinien zależeć od przyjętej strategii obliczania konkretnego wskaźnika.*

3. METODY BUDOWY WSKAZNIKOW EFEKTYWNOSCI SYSTEMU ROZPOZNANIA

(L. Kwiatek)

W niniejszym punkcie przedstawione zostaną metody konstruowania poszczególnych, wcześniej wytypowanych wskaźników własności i wskaźników działania systemu rozpoznania w oparciu, o które budowane będą kryteria oceny efektywności. W punkcie 2 zostały zestawione parametry, w oparciu o które będą konstruowane wytypowane wskaźniki tak dla oceny ex post jak i dla oceny ex ante badanego systemu rozpoznania. Pozostało więc, określić metody konstruowania wymienionych wskaźników.

W literaturze można spotkać wiele sposobów tworzenia wspólnego, uogólnionego wskaźnika czy kryterium na podstawie wskaźników cząstkowych, są one jednak zazwyczaj odmianą dwóch metod: dominacji oraz addytywnego wyrażenia.

Szerzej o metodach konstrukacji kryteriów w oparciu o wskaźniki piszemy w punkcie dotyczącym metod budowy kryteriów oceny efektywności.

Wskaźniki uzyskać można kilkoma sposobami, takimi jak:

- analityczne wyznaczanie na podstawie konkretnych parametrów, np. wyznaczenie prawdopodobieństwa rozpoznania obiektu na podstawie danych o obiekcie, warunkach w jakich prowadzone są działania, możliwościach danego elementu rozpoznawającego, itp;
- jakościowe mierzalne jako zbiór parametrów technicznych, taktycznych, czasowo-przestrzennych;
- jakościowe minimalne jako zbiór ocen dokonywanych metodą ekspertów.

W Części I rozprawy stwierdziliśmy, że ocenę efektywności systemu rozpoznania należy dokonywać w oparciu o wiele kryteriów oceny, przyjmujemy więc wielokryterialną ocenę efektywności. Kryteria zaś, konstruowane będą w oparciu o wybrane wskaźniki działania, które budowane są w oparciu o wskaźniki własności. Do budowy wskaźników działania przyjmujemy jedną z ogólnie stosowanych metod opartą na addytywnym wyrażaniu wskaźników.

Do wyznaczania wskaźników własności w oparciu owybrane parametry charakteryzujące działanie elementów systemu przyjmujemy metodę opartą na analitycznym wyrażaniu wskaźników.

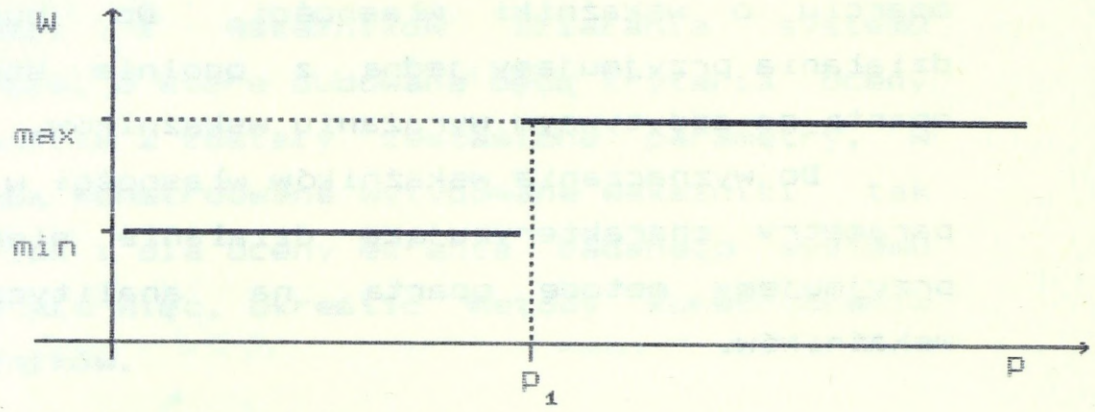
W rozprawie będziemy wyróżniać następujące wskaźniki efektywności, w oparciu o które oceniane będą elementy, podsystemy i system rozpoznania:

- wskaźnik działania to wskaźnik określający stopień realizacji określonego procesu działania;

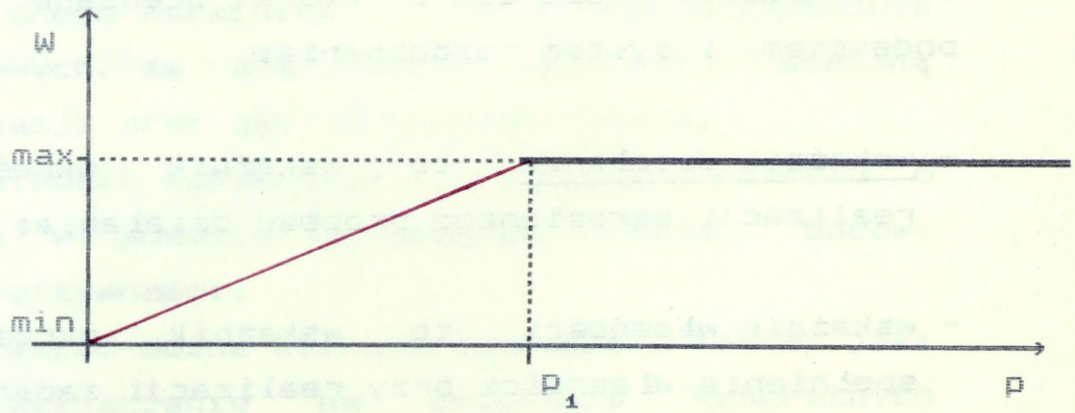
- wskaźnik własności to wskaźnik określający stopień spełnienia własności przy realizacji zadania dotyczącego określonego procesu działania.

Wskaźniki własności dla t = const są funkcjami odpowiednich parametrów. Funkcje te w danym przedziale zmienności parametru powinny być funkcjami malejącymi albo rosnącymi oraz powinny wyrażać przyjmowaną strategię na zmianę wartość wskaźnika w zależności, od wartości parametru lub parametrów.

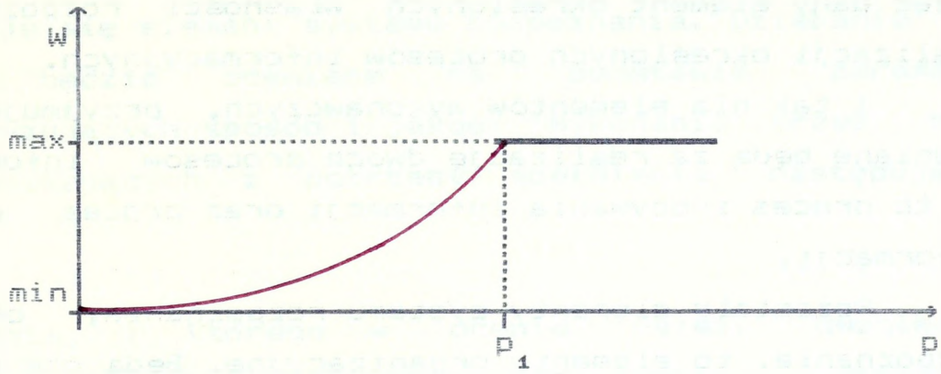
Przykłady wykorzystywanych w praktyce funkcji do opisu wskaźników oceny efektywności przedstawiają poniższe rysunki.



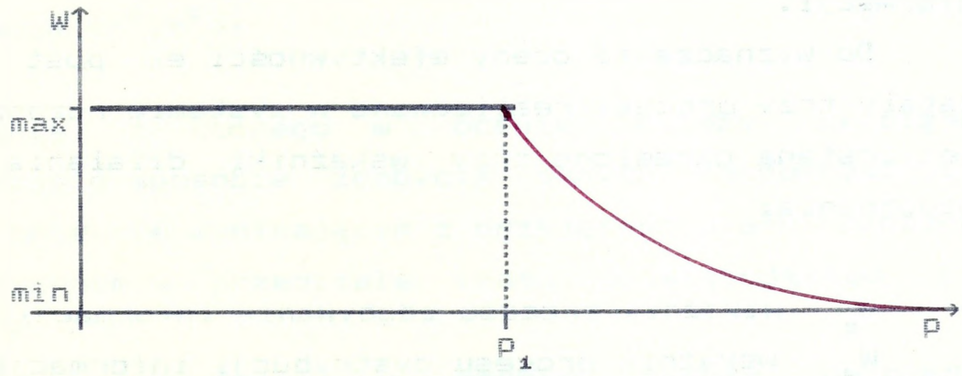
Rys. 3.1 Funkcja skokowa



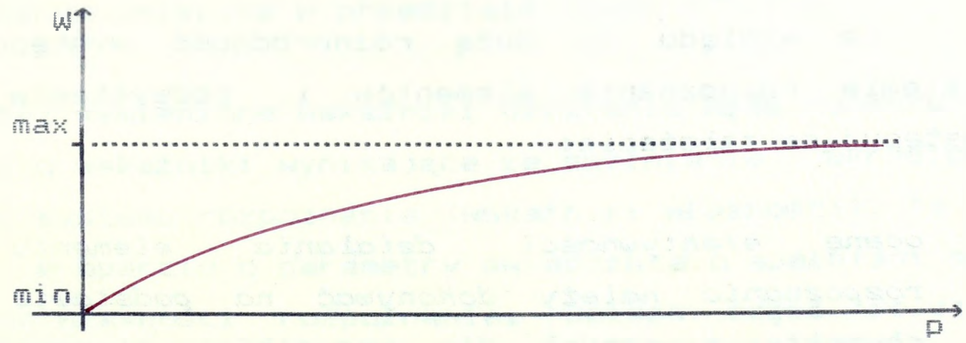
Rys. 3.2 Funkcja liniowo rosnąca w przedziale



Rys. 3.3 Funkcja wykładniczo rosnąca w przedziale



Rys. 3.4 Funkcja wykładniczo malejąca w przedziale



Rys. 3.5 Funkcja logarytmiczna.

Przy wyznaczaniu oceny ex post działania elementu, podsystemu i systemu rozpoznania przyjmuje się, że ocena ta

dokonywana będzie w oparciu o ustalone oceny spełnienia przez dany element określonych własności rozpoznania przy realizacji określonych procesów informacyjnych.

I tak dla elementów wykonawczych, przyjmuje się, że oceniane będą za realizację dwóch procesów informacyjnych. Są to proces zdobywania informacji oraz proces dystrybucji informacji.

Pozostałe elementy systemu rozpoznania, organizujące rozpoznanie, to elementy organizacyjne. Będą one oceniane za realizację procesu planowania działań i procesu dystrybucji informacji.

Do wyznaczania oceny efektywności ex post wytypowane zostały trzy procesy realizowane w systemie rozpoznania, tak więc zostaną określone trzy wskaźniki działania systemu rozpoznania:

W_z - wskaźnik procesu zdobywania informacji;
W_d - wskaźnik procesu dystrybucji informacji;
W_p - wskaźnik procesu planowania działań.

Ze względu na dużą różnorodność występujących w systemie rozpoznania elementów i podsystemów przyjęto następujące założenie:

ocenę efektywności działania elementu systemu rozpoznania należy dokonywać na podstawie własności charakterystycznych dla wszystkich elementów systemu rozpoznania.

Podstawą oceny efektywności elementów systemu będą informacje o realizacji poszczególnych zadań przez nie

wykonywanych. Stąd najmniejszym, podstawowym przedmiotem oceny staje się element systemu rozpoznania. Działanie tego elementu będzie oceniane na podstawie parametrów charakteryzujących sposób i jakość wykonania przez niego zadań wynikających z potrzeby spełnienia następujących funkcji:

- planowania, z którego w ocenie należy uwzględniać czynności elementu wykonywane od chwili otrzymania wytycznych do planowania, do chwili postawienia zadań wykonawcom $\langle t^r, t^z \rangle$;
- zdobywanie, z którego w ocenie należy uwzględniać informacje o sposobie zdobycia danych rozpoznawczych o każdym obiekcie wynikającym z przyjętego planu rozpoznania i rozpoznanym w przedziale czasu obowiązującego planu $\langle t^g, t^{g'} \rangle$;
- dystrybucji, z której w ocenie należy uwzględniać informacje o sposobie przekazywania danych o każdym rozpoznanym obiekcie w przedziale czasu $\langle T^p, T^k \rangle$.

Wyżej wymienione wskaźniki działania będą konstruowane w oparciu o wskaźniki wynikające ze spełniania określonych własności systemu rozpoznania (wskaźniki własności), te zaś powstaną w oparciu o parametry świadczące o spełniani przez ocenianego własności rozpoznania. Dalsza część rozdziału dotycząca budowania metod oceny ex post jest poświęcona wskaźnikom własności oraz wskaźnikom działania. Konstruowane są poszczególne wskaźniki własności w oparciu o określone parametry, a następnie poszczególne wskaźniki działania poprzez zdefiniowane wcześniej wskaźniki własności.

Do wyznaczania oceny ex ante działania elementu, podsystemu oraz systemu rozpoznania przyjmuje się, że ocena będzie dokonywana w oparciu o oceny spełnienia przez wyróżniane w systemie elementy określonych własności rozpoznania przy przewidywanych realizacjach określonych procesów informacyjnych. W modelu tym rozpatrujemy również dwa rodzaje elementów: wykonawcze i organizacyjne realizujące dwa procesy: zdobywanie i dystrybucję informacji. W dalszych rozważaniach określone zostaną dwa wskaźniki działania systemu:

W_z - wskaźnik zdobywania;

W_d - wskaźnik dystrybucji.

Podstawą wypracowywania oceny efektywności elementów będą parametry świadczące o możliwości realizacji zadań przydzielonych do wykonania. Stąd najmniejszym, podstawowym przedmiotem oceny staje się element rozpoznania a jego działanie będzie oceniane na podstawie parametrów określających możliwości spełnienia następujących funkcji:

- zdobywania, z którego w ocenie należy uwzględnić parametry świadczące o możliwości rozpoznania obiektu z określoną dokładnością i w wymaganym czasie, obiektu który został przydzielony do rozpoznawania;
- dystrybucji, z której w ocenie należy uwzględnić parametry świadczące o możliwej liczbie przekazywanych informacji w kanałach łączności, w określonych przedziałach czasu.

3.1. Wskaźniki efektywności dla oceny EX POST

Wskaźniki te będą dotyczyć oceny elementu systemu rozpoznania realizującego proces zdobywania informacji rozpoznawczych, proces dystrybucji informacji oraz proces planowania działań rozpoznawczych. W trakcie realizacji tych procesów muszą być spełniane określone własności rozpoznania, z których do oceny poddaliśmy dla procesu zdobywania pięć własności: dokładność, terminowość, celowość, aktywność, skrytość, dla procesu dystrybucji jedynie terminowość, a dla procesu planowania trzy własności: celowość, terminowość, dokładność. Kolejno omówimy sposoby konstruowania poszczególych wskaźników.

3.1.1. Wskaźnik celowości planowania

Z definicji przyjętej w Części I rozprawy oraz parametrów charakteryzujących celowość planowania wynika, że badanie spełnienia opisywanej własności przez elementy organizacyjne systemu rozpoznania, to badanie relacji zachodzących między aktualnie obowiązującą oceną nieprzyjaciela $\Phi_{j_o}(t)$, aktualnym planem rozpoznania $q_{j_o}(t)$, a normami na rozpoznanie obiektów. Jest to badanie relacji między zbiorem obiektów zawartych w ocenie i zbiorem obiektów zaplanowanych do rozpoznania według klas ważności i stref odpowiedzialności, a wymaganiami stawianymi przed systemem rozpoznania, przy uwzględnieniu klas obiektów oraz stref odpowiedzialności na jakie dzielony jest pas rozpoznania, wymagania które reprezentuje tablica $[a_{ks}]_{K*S}$.

Na podstawie aktualnej oceny nieprzyjaciela $\Phi_{j_o}(t)$ otrzymujemy zbiory obiektów występujących w pasie rozpoznania elementu j z podziałem obiektów na klasy ważności i strefy odpowiedzialności:

$$\mathbb{N}^{o}_{j_o ks}(t) = \left\{ n = \langle k, H^{a}(t), \Delta H \rangle \in \mathbb{N}(t) : \langle n, s \rangle \in \Phi_{j_o}(t) \right\}$$

Z kolei na podstawie zarzadzenia rozpoznawczego $\mathbb{Z}_j(q)$ opracowanego na podstawie aktualnego planu rozpoznania $q_{j_o}(t)$ (j_o - element nadrzedny dla elementu j) otrzymujemy zbiór wszystkich obiektów zaplanowanych do rozpoznania z podziałem na klasy ważności k i strefy odpowiedzialności s:

$$\mathbb{N}^{p}_{j_o ks}(t) = \left\{ n \in \mathbb{N}^{o}_{j_o ks}(t) : \langle j, n, H^{p} \rangle \in \mathbb{Z}_j(q_{j_o}(t)) \wedge j_o \in \Gamma^{-1}_{R}(j) \right\}$$

Wskaźnik celowości planowania to badanie relacji między liczbą obiektów rozpoznania wynikających z oceny i planu, z obowiązującymi normami. Niech dla chwili czasu t, strefy odpowiedzialności s i klasy ważności obiektów k:

$$w_{pcj_o ks}(t) = w_c(\overline{\overline{\mathbb{N}^{p}_{j_o ks}(t)}}, \overline{\overline{\mathbb{N}^{o}_{j_o ks}(t)}}, a_{ks})$$

to wartość wskaźnika celowości planowania będzie zależeć od aktualnie obowiązującego planu rozpoznania:

$$W_{pcj_o}(t) = \begin{cases} \text{nieokreślony} & \text{dla} \quad t \in \langle T^{p}, t^{z}) \\ \theta\left(\left[w_{pcj_o ks}(t^{z'}) \right]_{K*S} \right) & \text{dla} \quad t \in \langle t^{z'}, t^{z''}) \end{cases}$$

gdzie:

$t^z, t^{z'}, t^{z''}$ - czasy zakończenia opracowywania kolejnych planów rozpoznania;

$w_{pcj_o ks}(t^z)$ - wskaźnik celowości planowania obiektów k-tej klasy w s-tej strefie odpowiedzialności, w chwili czasu t^z;

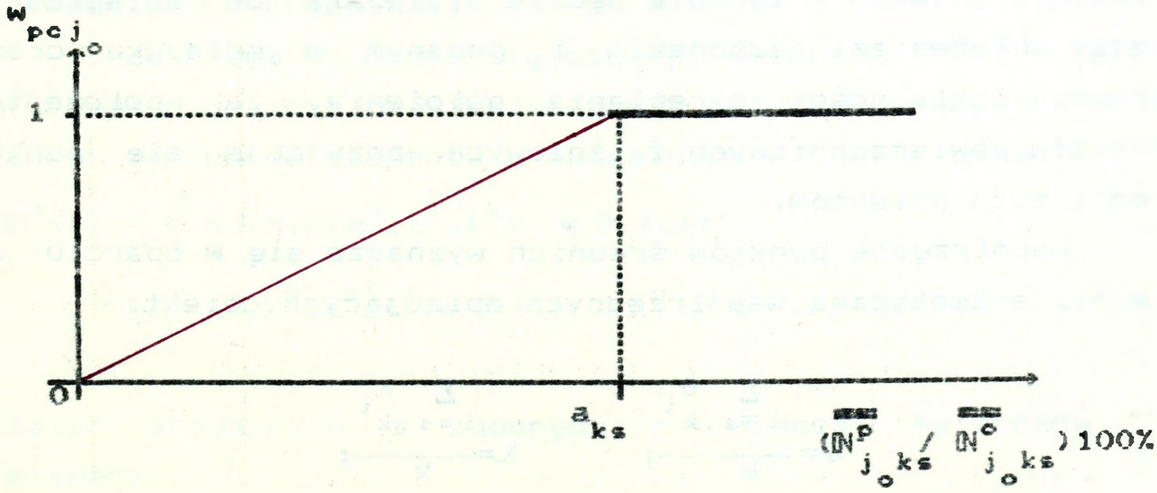
$K = \overline{\overline{K}}$ - liczba klas ważności obiektów;

$S = \overline{\overline{S}}$ - liczba stref odpowiedzialności;

θ - funkcja wyznaczania wskaźnika własności;

w_c - funkcja oceny celowości.

Przyjmując na przykład, że funkcja w_c jest liniowa, rosnąca w przedziale $\langle 0, a_{ks} \rangle$, ocena jaką uzyska element organizacyjny za celowość planowania, jest proporcjonalna do procentu obiektów ujętych w planie rozpoznania w stosunku do ogólnej liczby obiektów to wartość wskaźnika będzie się zmieniała jak na poniższym wykresie.



Rys.3.1.1 Przykładowa postać wskaźnika celowości planowania.

3.1.2. Wskaźnik dokładności zdobywania

Dokładność zdobywania informacji to ustalenie współrzędnych obiektów nieprzyjaciela zgodnie z obowiązującymi normami dla rozpoznawania tych obiektów, wynikającymi z zapotrzebowania użytkowników informacji rozpoznawczych.

W dalszych rozważaniach przyjmujemy zgodnie z wydawnictwem MON pt. "Charakterystyka obiektów jako przedmiotów rozpoznania" następujący podział obiektów:

- obiekty powierzchniowe (obiekty opisane co najmniej trzema punktami);
- obiekty liniowe (opisane dwoma punktami);
- obiekty punktowe opisane za pomocą jednego punktu.

Wartość wskaźnika określającego dokładność rozpoznania położenia obiektu w terenie będzie zależała od odległości między położeniami autorskim i podanym w meldunku oraz normami dokładności określania położenia. Za położenie obiektów powierzchniowych i liniowych przyjmuje się punkt średni tych obiektów.

Współrzędne punktów średnich wyznacza się w oparciu o średnią artmetyczną współrzędnych opisujących obiekt:

$$\vartheta = \frac{\sum_{i=1,k} \vartheta_i}{k}; \qquad \lambda = \frac{\sum_{i=1,k} \lambda_i}{k};$$

gdzie:

$k \geq 3$ dla obiektów powierzchniowych ;

$k = 2$ dla obiektów liniowych.

Przyjmujemy, że punkty określające obiekt nieprzyjaciela będą opisywane współrzędnymi geograficznymi. Dalej mówiąc o współrzędnych punktów obiektów będziemy przyjmowali, że dana jest długość i szerokość geograficzna tego punktu, mówiąc zaś, że dane jest położenie obiektu będziemy przyjmowali, iż dany jest co najmniej jeden punkt opisujący obiekt.

Każdy obiekt jest opisany położeniem autorskim H^a oraz znana jest jego przynależność do klasy ważności k. Jeżeli istnieje aktualny meldunek, dotyczący tego obiektu znane jest jego położenie H^w.

W danej chwili czasu $t \in \mathbb{T}$ istnieje zbiór meldunków $\mathbb{M}_j(t)$ o obiektach rozpoznanych przez j-ty element wykonawczy. W ocenie dokładności zdobywania uwzględniać będziemy meldunki aktualne oraz te które dotyczą obiektów zleconych do rozpoznania.

Za aktualny uważa się ostatni meldunek o obiekcie, dla którego nie minął ostateczy termin składania meldunku o nim. Zbiór meldunków elementu j aktualnych w chwili czasu t:

$$\mathbb{M}_j^a(t) = \Big\{ \langle j,r,n,H^w,t^w,t^d\rangle \in \mathbb{M}_j(t):$$
$$\langle j,r,n,H^{w'},t^{w'},t^{d'}\rangle \in \mathbb{M}_j(t) \wedge t^{w'} < t^w \wedge t-2\Delta t^w(n) < t^w \le t \Big\}$$

Zbiór aktualnych i zgodnych z planem meldunków elementu j:

$$\mathbb{M}_j^w(t) = \Big\{ \langle j,r,n,H^w,t^w,t^d\rangle \in \mathbb{M}_j^a(t):\ n \in \mathbb{N}_j^p(t) \Big\}.$$

Wartość wskaźnika dokładności zdobywania dla meldunku rozpoznawczego będzie zależeć od odległości między położeniami autorskim i podanym w meldunku oraz normami

dokładności określania położenia:

$$w_{zdm}(t) = w_d(L(H^a(t^v), H^v), \Delta L(k))$$

gdzie :

$m = \langle j, r, n, H^v, t^v, t^d \rangle \in \mathbb{M}^v_j(t)$ - meldunek o obiekcie rozpoznania $n = \langle k, H^a(t), \Delta H \rangle$;

$L(H^a(t^v), H^v)$ - odległość między położeniami autorskim i podanym w meldunku;

$\Delta L(k)$ - dopuszczalny błąd w określaniu położenia obiektu klasy k;

w_d - funkcja oceny dokładności.

Wartość wskaźnika dokładności zdobywania w chwili $t \in \mathbb{T}$ dla elementu j:

$$W_{zdj}(t) = g\left(\left[w_{zdm}(t) \right]_{\mathbb{M}^v_j(t)} \right)$$

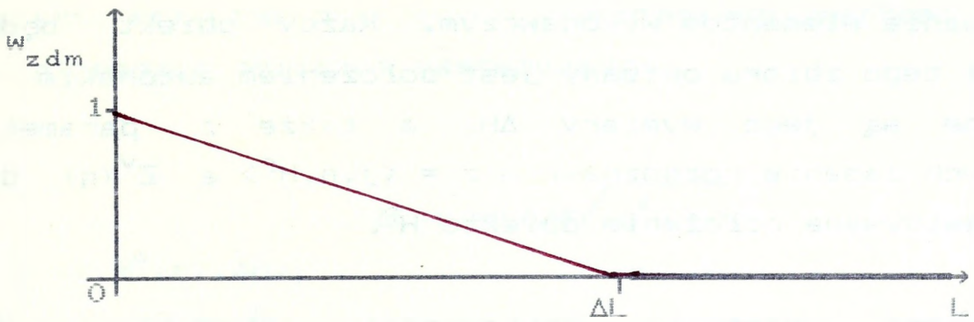
gdzie:

w_{zdm} - wskaźnik dokładności dla medunku $m \in \mathbb{M}^v_j(t)$;

g - funkcja wyznaczania wskaźnika własności;

w_d - funkcja oceny dokładności.

Przyjmując na przykład, że ocena jaką uzyska element wykonawczy za dokładność zdobywania informacji o jednym obiekcie nieprzyjaciela jest odwrotnie proporcjonalna do popełnionego błędu L (odległość między położeniami autorskim i podanym w meldunku m) i osiąga wartość minimalną z chwilą przekroczenia dopuszczalnego błędu ΔL (obiekt uważany jest za nierozpoznany) to wartość wskaźnika będzie się zmieniała jak na poniższym wykresie.



Rys.3.1.2 Przykład postaci wskaźnika dokładności zdobywania.

3.1.3. Wskaźnik dokładności planowania

Definicja oraz parametry charakteryzujące dokładność planowania opisane zostały w Części I rozprawy. Analizując parametry dochodzimy do wniosku, iż badanie spełnienia własności rozpoznania jaką jest dokładność w czasie realizacji procesu planowania działań w systemie rozpoznania, to badanie relacji zachodzących między rzeczywistym położeniem obiektów ujętych w planie rozpoznania a przewidywanym położeniem tychże obiektów.

Dokładność przewidywania położenia obiektów zlecanych do rozpoznawania elementom wykonawczym bezpośrednio rzutuje na wykonawstwo zadań. Oznacza to właściwy lub nie rejon działania elementów wykonawczych systemu rozpoznania. Wskaźnik W_{pd} będzie wyrażał stopień dokładności określania położenia wszystkich obiektów ujętych w opracowanym i aktualnie obowiązującym planie rozpoznania q.

Z aktualnego w danej chwili czasu planu rozpoznania

dysponujemy zbiorem obiektów nieprzyjaciela zleconych do rozpoznawania elementom wykonawczym. Każdy obiekt będący elementem tego zbioru opisany jest położeniem autorskim H^a oraz znane są jego wymiary ΔH, a także z parametrów opisujących zadanie rozpoznawcze $z = \langle j,n,H^p \rangle \in \mathbb{Z}^v(q)$ dane jest przewidywane położenie obiektu H^p.

Wartość wskaźnika dokładności planowania dla postawionego podległemu elementowi j zadania rozpoznawczego będzie zależeć od odległości między położeniami autorskim i przewidywanym w zarządzeniu rozpoznawczym oraz wymagań:

$$w_{pdz}(t) = w_d(L(H^a(t),H^p),\Delta L(n))$$

gdzie :

$z = \langle j,n,H^p \rangle \in \mathbb{Z}^v(q)$ - zadanie rozpoznawcze elementu j wynikające z aktualnego planu rozpoznania dotyczące obiektu $n = \langle k,H^a(t),\Delta H \rangle$;

$L(H^a(t^z),H^p)$ - odległość dwóch punktów wyliczana na podstawie wzoru wyznaczania odległości między dwoma punktami na kuli ziemskiej

$\Delta L(n)$ - dopuszczalny błąd w określaniu położenia obiektu n podczas przewidywania jego położenia.

w_d - funkcja oceny dokładności.

Wymagania na dokładność przewidywania położenia obiektu wyznaczane będą w oparciu o jego wymiary $\Delta H = \langle g,l \rangle$ (głębokość i szerokość). Będzie to graniczna wielkość błędu na określanie położenia obiektu w terenie $\Delta L(n)$. Dla uproszczenia obliczeń przyjmujemy, że parametr ΔL to promień koła, w którym położony jest obiekt o znanych wymiarach. Za środek koła przyjmuje się podane współrzędne punktu obiektu,

a promień to połowa przekątnej prostokąta jaki opisuje obiekt. Przy tak przyjętych założeniach wartość parametru $\Delta L(n)$ będzie obliczna następująco:

$$\Delta L(n)=1/2*\sqrt{g^2 + l^2}$$

$n = \langle k, H^{a}(t), \Delta H\rangle$;

$\Delta H = \langle l, g\rangle \in \Delta \mathbb{H}$.

Wartość wskaźnika dokładności planowania w chwili $t^z \in \mathbb{T}$ dla elementu j_o:

$$W_{pdj_o}(t^z) = \mathcal{g}\left(\left[w_{pdz}(t^z) \right]_{\mathbb{Z}^v(q)} \right)$$

gdzie:

w_{pdz} - wskaźnik dokładności dla zadania $z \in \mathbb{Z}^v(q)$,

$q = \langle j_o, t^z, t^g, \mathbb{Z}^v\rangle$ plan rozpoznania;

$\mathcal{g}$ - funkcja wyznaczania wskaźnika własności.

Wartość wskaźnika dokładności planowania w chwili $t \in \mathbb{T}$ będzie równa wartości wskaźnika dokładności aktualnie obowiązującego planu rozpoznania:

$$W_{pdj_o}(t) = \begin{cases} \text{nieokreślony} & \text{dla } t \in \langle T^p, t^z) \\ \mathcal{g}\left(\left[w_{pdz}(t^{z'}) \right]_{\mathbb{Z}^v(q)} \right) & \text{dla } t \in \langle t^{z'}, t^{z''}) \end{cases}$$

gdzie:

$q = \langle j_o, t^z, t^g, \mathbb{Z}^v\rangle$ - plan rozpoznania wykonany przez element organizacyjny j_o;

$\mathbb{Z}^v(q)$ - zarządzenia rozpoznawcze dla podległych elementów;

$z = \langle j, n, H^p \rangle$ – zadanie rozpoznawcze dla elementu $j \in \Gamma_R(j_o)$;

$t^z, t^{z'}, t^{z''}$ – czasy zakończenia opracowywania planów rozpoznania;

$w_{pdz}(t^z)$ – wskaźnik dokładności planowania dla zadania rozpoznawczego z;

g – funkcja wyznaczania wskaźnika własności.

3.1.4. Wskaźnik terminowości zdobywania

Terminowość to własność rozpoznania charakteryzująca wszystkie procesy informacyjne i w sposób jednoznaczny wskazująca stan realizacji zamierzonych celów. Własność ta określa terminowe wykonywanie zadań przez poszczególne elementy systemu rozpoznania na podstawie parametrów wynikających z przyjętych ustaleń lub norm czasowych określających realizowane przez system rozpoznania zadania.

W procesie zdobywania informacji terminowość będzie dotyczyć rozpoznawania obiektów nieprzyjaciela w pożądanym, wymaganym czasie.

Terminowość zdobywania informacji o planowo rozpoznawanych obiektach nieprzyjaciela będzie wynikała z badania relacji zachodzących pomiędzy czasem wykonania zadań rozpoznawczych a pożądanymi okresami składania meldunków o obiektach. Wskaźnik będzie wyrażał terminowość rozpoznawania obiektów nieprzyjaciela.

Na podstawie aktualnego planu rozpoznania q dysponujemy zbiorem obiektów przydzielonych wykonawcy i czasem gotowości elementu do realizacji postawionych zadań:

$$\mathbb{N}^p_j(t) = \left\{ n \in \mathbb{N}(t) : \langle j,n \rangle \in \mathbb{Z}^v_j(q) \right\};$$

$j \in \Gamma_R(j_o)$;

$q = \langle j_o, t^z, t^g, \mathbb{Z}^v \rangle$.

Z norm znane są pożądane okresy czasu $\Delta t^v(n)$ składania meldunków o obiekcie n, a ze zbioru meldunków znane są czasy t^v wykrycia poszczególnych obiektów.

W chwili czasu t istnieje zbiór aktualnych meldunków elementu j o rozpoznanych obiektach zgodnie z obowiązującym planem dla tego elementu $\mathbb{M}^v_j(t)$.

Wartość wskaźnika terminowości zdobywania dla meldunku rozpoznawczego będzie zależeć od czasu wykrycia obiektu, czasu rozpoczęcia wykrywania oraz normy na pożądany okres składania meldunku o obiekcie:

$$w_{ztm}(t) = w_t(t^g, t^v + \Delta t^v(n), t^v + 2\Delta t^v(n), t)$$

gdzie:

$m = \langle j, r, n, H^w, t^v, t^d \rangle \in \mathbb{M}^v_j(t)$ - meldunek o obiekcie rozpoznania $n = \langle k, H^a(t), \Delta H \rangle$;

$\Delta t^v(n)$ - pożądane okresy czasu na składanie meldunków o obiekcie n;

$2\Delta t^v(n)$ - ostateczne okresy czasu na składanie meldunków o obiekcie n;

$q = \langle j_o, t^z, t^g, \mathbb{Z}^v \rangle$ - plan rozpoznania;

t^g - czas gotowości podległych elementów;

w_t - funkcja oceny terminowości.

Wartość wskaźnika terminowości zdobywania w chwili $t \in \mathbb{T}$ dla elementu j:

$$W_{ztj}(t) = \theta\left(\left[w_{ztm}(t) \right]_{\mathbb{M}_j^w(t)} \right)$$

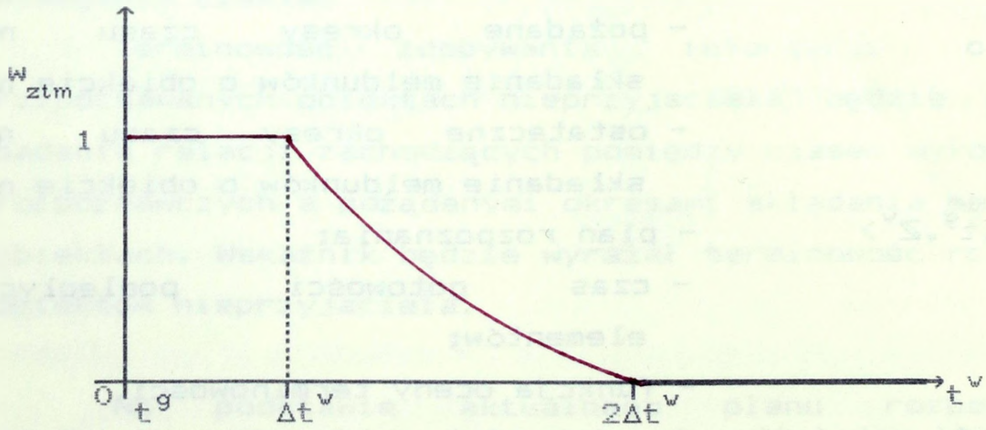
gdzie:

$\mathbb{M}_j^w(t)$ - zbiór meldunków od elementu j o rozpoznanych przez niego obiektach zgodnie z obowiązującym planem;

$w_{ztm}(t)$ - wskaźnik terminowości dla medunku $m \in \mathbb{M}_j^w(t)$;

θ - funkcja wyznaczania wskaźnika własności.

Przyjmując na przykład, że ocena jaką uzyska element wykonawczy za terminowość zdobywania informacji o jednym obiekcie nieprzyjaciela, zależy od czasu rozpoznania obiektu i wymagań na aktualność danych o nim w sposób wykładniczy i przy przekroczeniu pożądanego okresu czasu na wykonanie zadania (Δt^w) wystąpi szybki spadek wartości wskaźnika, a w miarę upływu czasu od pożądanego momentu zakończenia, wartość wskaźnika monotonicznie maleje, by dla ostatecznego czsu wykonania zadania ($2\Delta t^w$) osiągnąć wartość minimalną, (przyjętą jako próg użyteczności informacji) to wartość wskaźnika będzie się zmieniała jak na poniższym wykresie.



Rys.3.1.4 Przykład wskaźnika terminowości zdobywania.

3.1.5. Wskaźnik terminowości planowania

Własność terminowości w procesie planowania określa terminowe wykonywanie zadań planowania przez poszczególne elementy organizacyjne systemu. Terminowość planowania zadań dla podległych elementów wykonawczych będzie wynikała z badania relacji zachodzących pomiędzy czasem wykonania zadań planowania a pożądanym i ostatecznym czasem na opracowanie planu rozpoznania. Wskaźnik będzie wyrażał terminową realizację aktualnie obowiązującego planu rozpoznania.

Z aktualnego w danej chwili czasu planu rozpoznania q dysponujemy czasem zakończenia realizacji tego planu t^z, zaś z zadania planowania $Z^p_{j_o}$, wynikiem którego są zarządzenia rozpoznawcze dla podległych elementów, dysponujemy czasem rozpoczęcia realizacji zadania t^r, czasem pożądanym t^p oraz czasem ostatecznym t^o zakończenia zadania planowania. Parametry te wykorzystane zostaną do budowy wskaźnika terminowości dla zadania planowania wykonywanego przez elementy organizacyjne systemu rozpoznania.

Wartość wskaźnika terminowości planowania dla zadania planowania $Z^p_{j_o}$ będzie zależeć od czasu rozpoczęcia, czasu zakończenia planowania oraz wymagań czasowych na opracowane planu rozpoznania na daną sytuację bojową:

$$W_{ptZ}(t) = w_t(t^r, t^p, t^o, t^z)$$

gdzie :

$Z = Z^p_{j_o}(t) = \langle \Phi_{j_o}(t^r), t^r, t^p, t^o \rangle$ - zadanie planowania wykonane przez element j_o;

$t^r \in \mathbb{T}$ - czas rozpoczęcia zadania;

$t^p \in \mathbb{T}$ - pożądany czas zakończenia zadania;

$t^o \in \mathbb{T}$ - ostateczny czas zakończenia zadania;

$t^z \in \mathbb{T}$ - czas zakończenia zadania;

przy czym:

$T^p \leq t^r < t$;

$t^r \leq t^p \leq t^o$;

$q=\langle j_o, t^z, t^g, Z^v \rangle$ -plan rozpoznania opracowany przez element j_o;

w_t - funkcja oceny terminowości.

Wartość wskaźnika terminowości planowania w chwili czasu t będzie równa wartości wskaźnika terminowości aktualnie obowiązującego planu rozpoznania:

$$W_{ptj_o}(t) = \begin{cases} \text{nieokreślona} & \text{dla } t \in \langle T^p, t^z) \\ W_{ptZ}(t^{z'}) & \text{dla } t \in \langle t^{z'}, t^{z''}) \end{cases}$$

Postać opisanego wskaźnika, dotyczącego wykonywania jednego planu rozpoznania może być taka sama jak postać wskaźnika terminowości zdobywania informacji o jednym obiekcie nieprzyjaciela.

3.1.6. Wskaźnik terminowości dystrybucji

Terminowość dystrybucji informacji rozpoznanwczych jest określona przez zbiór meldunków jakie przekazane zostały przez elementy systemu i normy na czasy docierania informacji do użytkowników tych informacji. Wskaźnik ten będzie wynikał z badania relacji zachodzących pomiędzy czasem dotarcia meldunku o tym obiekcie do adresata, czasem rozpoznania obiektu, a pożądanym i ostatecznym okresem na przesłanie informacji do adresata. Wskaźnik będzie wyrażał

terminowość przekazywania informacji o rozpoznanych obiektach.

Na podstawie zbioru meldunków przekazanych przez j-ty element do chwili czasu t dysponujemy czasami wykrycia t^w obiektów i czasami dotarcia t^d informacji o nich do adresatów. Z norm regulujących dystrybucję informacji w systemie rozpoznania znane są pożądane okresy i ostateczne okresy na docieranie informacji do użytkownika (Δt^p i Δt^o).

Meldunki rozpoznawcze zazwyczaj przekazywane są przez elementy w ustalonych wcześniej okresach czasu np. co dwie, cztery godziny, czy też w ustalonych chwilach czasu (na 20.00) i dotyczą większej ilości obiektów nieprzyjaciela. Zbiór ten traktowany jest przez nas jako pakiet meldunków przekazanych do chwili czasu t przez element j:

$$\mathbb{M}^p_j(t) = \Big\{ \langle j,r,n,H^w,t^w,t^d\rangle \in \mathbb{M}_j(t) : \langle j,r,n',H^{w'},t^{w'},t^{d'}\rangle \in \mathbb{M}_j(t) \wedge t^{d'} \le t^d \le t \Big\}.$$

Wartość wskaźnika terminowości dystrybucji będzie zależała od czasu rozpoznania obiektu, czasu dotarcia informacji o rozpoznanym obiekcie i norm na pożądany i ostateczny okres dotarcia meldunku o obiekcie, możemy więc zapisać zależność na wartość wskaźnika w_{ztm} dla meldunku m:

$$w_{dtm}(t) = w_t(t^w,t^d,\Delta t^p,\Delta t^o)$$

gdzie:

$m = \langle j,r,n,H^w,t^w,t^d\rangle \in \mathbb{M}^p_j(t)$ - meldunek rozpoznawczy;

t^p - czas dotarcia m-tego meldunku;

Δt^p - pożądany okres czas na dotarcie meldunku;

Δt^{o} - ostateczny okres czas na dotarcie meldunku;
w_t - funkcja oceny terminowości.

Ogólna postać na wyznaczanie wskaźnika terminowości dystrybucji informacji dla elementu j w chwili czasu $t \in \mathbb{T}$ będzie następująca:

$$W_{dtj}(t) = \begin{cases} \text{nieokreślone} & \text{dla } \mathbb{M}^{p}_{j}(t) = \emptyset \\ \theta\left(\left[w_{dtm}(t)\right]_{\mathbb{M}^{p}_{j}(t)}\right) & \text{dla } \mathbb{M}^{p}_{j}(t) \neq \emptyset \end{cases}$$

gdzie:
w_{dtm} - wskaźnik terminowości przekazania meldunku $m \in \mathbb{M}^{p}_{j}(t)$;
θ - funkcja wyznaczania wskaźnika własności.

3.1.7. Wskaźnik aktywności zdobywania

Aktywność zdobywania informacji jest rozumiana jako wykonywanie dodatkowych zadań rozpoznawczych. Jest więc to rozpoznawanie dodatkowych, nieujętych w planach obiektów nieprzyjaciela. W zależności od stopnia przekroczenia planu rozpoznania każdy element winien być odpowiednio nagradzany. Wskaźnik aktywności zdobywania informacji będzie określał jedynie stopień przekroczenia planu rozpoznania. Rozpoznane obiekty będą uwzględniane wówczas, gdy wskaźniki terminowości i dokładności dla meldunku o tym obiekcie uzyskają pozytywną ocenę (wykonane zostanie zadanie rozpoznawcze).

Wskaźnik aktywności zdobywania w chwili czasu t jest funkcją zadań zaplanowanych do zrealizowania oraz meldunków

jakie zostały przekazane do tej chwili czasu przez dany element wykonawczy.

W oparciu o zbiór zadań rozpoznawczych j-tego elementu wyznaczany jest zbiór obiektów przydzielonych do rozpoznawania i śledzenia temu elementowi wykonawczemu:

$$\mathbb{N}_j^p(t) = \left\{ n \in \mathbb{N}(t) : \langle j,n,H^p \rangle \in \mathbb{Z}_j^v(q) \right\}.$$

Zbiór obiektów ponadplanowo rozpoznanych przez j-ty element wynika ze zbioru meldunków nadanych przez ten element:

$$\mathbb{N}_j^d(t) = \left\{ n \in \mathbb{N}(t) \setminus \mathbb{N}_j^p(t) : \right.$$
$$\left. m = \langle j,r,n,H^v,t^v,t^d \rangle \in \mathbb{M}_j^a(t) \wedge w_{ztm}(t) > 0 \wedge w_{zdm}(t) > 0 \right\}$$

gdzie :

w_{ztm} - wskaźnik terminowości zdobywania dla meldunku m;

w_{zdm} - wskaźnik dokładności zdobywania dla meldunku m.

Jest to zbiór tych obiektów, o których do chwili czasu t dany element przesłał meldunki, przy czym obiekty te są rozpoznane z wymaganą dokładnością i w wymaganym czasie (aktualne informacje o obiekcie), i nie są planowane do rozpoznawania.

Wartość omawianego wskaźnika będzie wynikała z badania relacji zachodzącej między liczbą obiektów lub sumą wag obiektów. Zasadnym wydaje się, badanie relacji między sumą wag wszystkich obiektów zaplanowanych a sumą wag obiektów dodatkowo rozpoznanych i nagradzanie danego wykonawcy w zależności od "wagowego", a nie liczbowego przekraczania

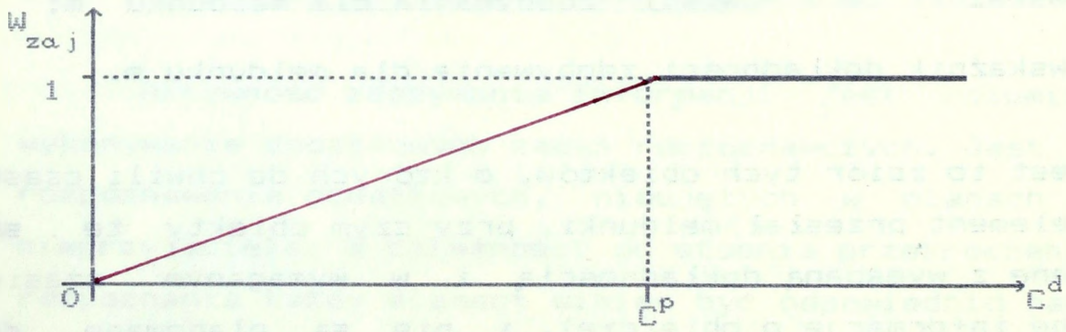
planu rozpoznania. Uwzględniając to można zapisać ostateczną zależność na wartość wskaźnika:

$$W_{zaj}(t) = w_a\left[\sum_{n \in \mathbb{N}_j^p(t)} \underline{c}(n) \;,\; \sum_{n \in \mathbb{N}_j^d(t)} \underline{c}(n)\right]$$

gdzie:

w_a - funkcja oceny aktywności.

Przyjmując na przykład, że ocena jaką uzyska element wykonawczy za aktywność zdobywania przy realizacji postawionych zadań rozpoznawczych jest wprost proporcjonalna do sumy wag dodatkowo rozpoznanych obiektów przez element C^d i osiąga wartość maksymalną z chwilą przekroczenia "wagowego" swego planu C^p, wartość wskaźnika będzie się zmieniała jak na rys. 3.1.7.



Rys.3.1.7 Przykład postaci wskaźnika aktywności zdobywania.

3.1.8. Wskaźnik celowości zdobywania

Z przyjętej w Części definicji celowości zdobywania oraz parametrów ją charakteryzujących wynika, że badanie stopnia spełnienia tej własności w trakcie realizacji

procesu zdobywania informacji, to badanie relacji zachodzącej między zadaniami zaplanowanymi do wykonania a wykonanymi przez oceniany element wykonawczy systemu rozpoznania.

Zadania zaplanowane dla elementu określone są przez aktualne w zarządzenie rozpoznawcze $\mathbb{Z}_j^v(t)$.

Zadania wykonane dotyczą tych obiektów nieprzyjaciela, o których istnieje aktualna, dokładna informacja rozpoznawcza. Informacje te są zawarte w meldunkach rozpoznawczych przekazanych do chwili czasu t przez dany element $\mathbb{M}_j^a(t)$.

Zbiór zadań rozpoznawczych danego elementu określa obiekty przydzielone mu do rozpoznania. Wskaźnik celowości zdobywania będzie więc funkcją zbioru obiektów zaplanowanych i zbioru obiektów rozpoznanych zgodnie z planem danego elementu.

Obiekt którego dotyczy meldunek m uważany jest za rozpoznany wówczas, gdy wskaźniki terminowości i dokładności dla tego meldunku uzyskają pozytywną ocenę (w_{ztm} i $w_{zdm} > 0$).

Zbiór obiektów rozpoznanych zgodnie z planem danego elementu można zdefiniować w następujący sposób:

$$\mathbb{N}_j^v(t) = \Big\{ n \in \mathbb{N}_j^p(t) : m = \langle j,r,n,H^v,t^v,t^d \rangle \in \mathbb{M}_j^a(t) \wedge$$

$$\wedge\ w_{ztm}(t) > 0 \wedge w_{zdm}(t) > 0 \Big\}.$$

Funkcja określająca ten wskaźnik to badanie relacji między liczbą lub wagą obiektów. Zasadnym wydaje się, badanie relacji miedzy sumą wag wszystkich obiektów zaplanowanych danemu elementowi a sumą wag obiektów

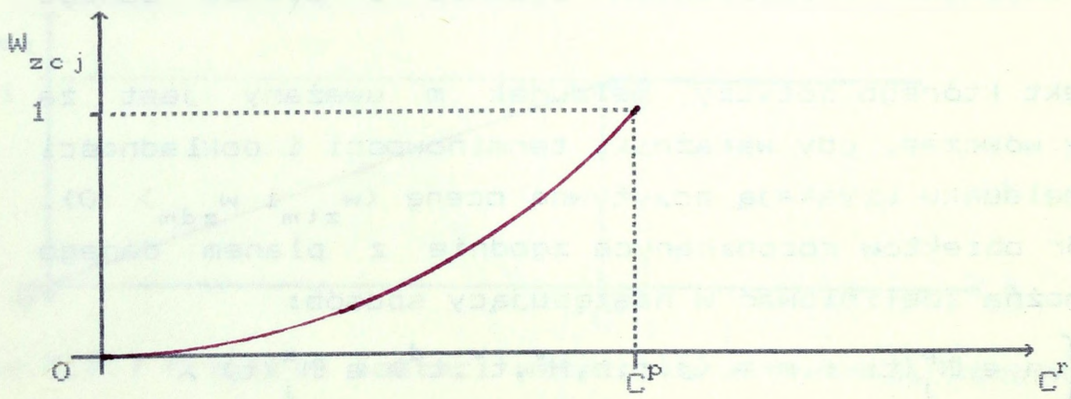
rozpoznanych zgodnie z planem przez ten element i nagradzanie danego wykonawcy w zależności od "wagowego" wykonania planu rozpoznania:

$$W_{zcj}(t) = w_c\left(\sum_{n \in \mathbb{N}_j^p(t)} c(n),\ \sum_{n \in \mathbb{N}_j^w(t)} c(n)\right)$$

gdzie:

w_c - funkcja oceny celowości.

Przyjmując na przykład za funkcję w_c funkcję wykładniczą, rosnącą w przedziale, przy ustalonym dla elementu wykonawczego planie rozpoznania, przyjmujemy że ocena jaką uzyska element wykonawczy za celowość zdobywania jest tym wyższa im więcej element rozpozna ważnych obiektów (C^r) w odniesieniu do obiektów zaplanowanych dla niego (C^p).



Rys.3.1.8 Przykładowa postać wskaźnika celowości zdobywania.

3.1.9. Wskaźnik skrytości zdobywania

Skrytość zdobywania informacji realizowana przez elementy wykonawcze to unikanie zbędnego ryzyka i zachowanie wysokiego stanu zdolności rozpoznawczej. Inaczej mówiąc jest

to działanie elementów wykonawczych systemu rozpoznania z minimalizowaniem strat sił i środków rozpoznawczych. Własność tę charakteryzują dane o stanie sił i środków elementów systemu rozpoznania odnoszone do norm określających dopuszczalne straty.

Dysponujemy więc, w chwili czasu $t \in \mathbb{T}$ zbiorem meldunków o stanie sił i środków danego elementu $\mathbb{V}_j$ oraz dopuszczalnymi stratami tego elementu α_j^v. Będą to parametry w oparciuo które wyznaczany będzie wskaźnik skrytości zdobywania dla elementu wykonawczego.

Norma strat danego elementu podaje dopuszczalne straty przypadające na umowną jednostkę czasu i dlatego też, straty ponoszone przez element przeliczane będą na jednostkę czasu. Straty elementu tak przeliczone oznaczane dalej będą symbolem β_j. Wartość ponoszonych strat przez j-ty element wykonawczy może posiadać wartość ujemną w przypadku uzupełnień stanu sił i środków tego elementu.

Dla uproszczenia rozważań założymy, że w dowolnej chwili czasu $t \in \mathbb{T}$ istnieje ostatni i przedostatni meldunk o stanie sił i środków j-tego elementu wykonawczego oraz, że w chwili czasu $t = T^p$ (rozpoczęcie badania działania systemu) istnieje pierwszy meldunek o stanie sił i środków każdego elementu wykonawczego systemu rozpoznania. Wskaźnik skrytości zdobywania w chwili czasu t odnosił się będzie do strat jakie ten element poniósł w minionym cyklu działania (przedział czasu ograniczony chwilą czasu złożenia dwóch kolejnych meldunków, $\langle t^{u'}, t^{u''} \rangle$).

Zależność na wyznaczanie wskaźnika możemy zapisać w następujący sposób:

$$W_{zsj}(t) = \begin{cases} \text{nieokreślony} & \text{dla } t \in \langle T^p, t^{u'}) \\ w_s(\beta_j^v(t), \alpha_j^v) & \text{dla } t^{u'} \le t < t^{u''} \end{cases}$$

gdzie:

$v' = \langle j, t^{u'}, u' \rangle$, $v'' = \langle j, t^{u''}, u'' \rangle$,

$v', v'' \in \mathbb{V}_j$ - dwa kolejne meldunki elementu j o stanie własnych sił i środków, w szczególnym przypadku $v' = \langle j, T^p, u' \rangle$ a $v'' = \langle j, T^k, u'' \rangle$;

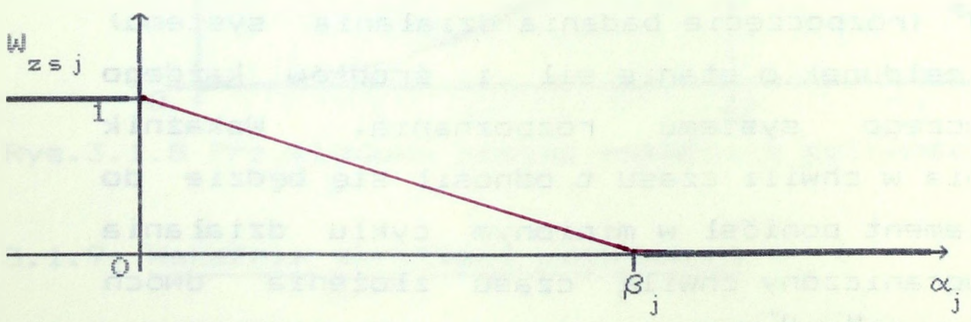
$t \in \langle t^{u'}, t^{u''})$;

$\beta_j^v(t) = \dfrac{u' - u''}{t^{u'} - t^{u''}}$ - straty j-tego elementu przypadające na jednostkę czasu,

α_j^v - norma strat w jednostce czasu;

w_s - funkcja oceny skrytośći.

Przyjmując na przykład za funkcję w_s funkcję liniową, malejącą w przedziale $\langle 0, \beta \rangle$, przyjmujemy że ocena jaką uzyska element wykonawczy za skrytość zdobywania jest proporcjonalna do ponoszonych strat α i osiąga wartość minimalną z chwilą przekroczenia dopuszczalnych strat β.



Rys.3.1.9 Przykładowa postać wskaźnika skrytości zdobywania.

3.1.10. Wskaźnik zdobywania

Zdobywanie informacji (definicja przyjęta w Części I) to działanie sił i środków rozpoznania w celu ustalenia danych o wojskach nieprzyjaciela i terenie działań bojowych. W dalszej części rozprawy zdobywanie informacji będziemy utożsamiać z rozpoznawaniem obiektów nieprzyjaciela (jednostki wojsk nieprzyjaciela) i obiektów terenowych (obiekty operacyjnego przygotowania terenu).

Z własności rozpoznania charakteryzujących proces zdobywania informacji w dalszych rozważaniach uwzględnimy pięć własności: terminowość, dokładność, skrytość, celowość oraz aktywność.

Pozostałe własności rozpoznania tj. ciągłość, wiarygodność, elastyczność częściowo zawierają się w wybranych przez nas własnościach (np. wiarygodność zawarta jest w opisie dokładności zdobywania informacji), albo nie dają się opisać parametrami przydatnymi do oceny efektywności (np. elastyczność).

Wskaźnik zdobywania jest więc funkcją pięciu wskaźników własności, W_{zt}, W_{zd}, W_{za}, W_{zs} W_{zc} i będzie dotyczył oceny elementu wykonawczego za realizację, postawionych mu przez nadrzędny element organizacyjny, zadań rozpoznanwczych:

$$W_{zj}(t) = f\left[W_{ztj}(t), W_{zdj}(t), W_{zaj}(t), W_{zsj}(t), W_{zcj}(t)\right].$$

gdzie:

f - funkcja wyznaczania wskaźnika działania.

Przyjmujemy, że decydujący wpływ na realizację procesu zdobywania informacji przez elementy systemu posiada terminowe, celowe i dokładne zdobywanie informacji, oraz wykazanie się aktywnością i skrytością w trakcie realizacji zadań rozpoznawczych. Wybrane wskaźniki własności (wskaźniki cząstkowe) mogą być łączone przy wykorzystaniu jednej z metod tworzenia wskaźnika uogólnionego. Funkcja f określa wybraną metodę tworzenia wskaźników. Postać wskaźnika zdobywania w chwili czasu $t \in \mathbb{T}$ jest więc następująca:

$$W_{zj}(t) = \begin{cases} \text{nieokreślony} & \text{dla } t \in \langle T^p, t^g) \\ f\left[W_{ztj}(t), W_{zdj}(t), W_{zaj}(t), W_{zsj}(t), W_{zcj}(t)\right] & \text{dla } t \in \langle t^g, T^k \rangle \end{cases}$$

gdzie:

t^g - czas gotowości elementu wykonawczego do działań;

3.1.11. Wskaźnik procesu dystrybucji

Proces dystrybucji informacji i danych rozpoznawczych (definicja przyjęta w Części I) to działanie sił i środków rozpoznania w celu zrealizownia czynności związanych z przekazywaniem, informowaniem, dostarczaniem, wymienianiem oraz uzyskiwaniem informacji i danych rozpoznawczych. Proces ten w systemie rozpoznania jest realizowany przy wykorzystaniu różnych form, takich jak:

- techniczne środki łączności będące na wyposażeniu elementów systemu rozpoznania;
- wszelkiego typu dokumenty obowiązujące poszczególne elementy systemu rozpoznania (mapy, kalki, zarządzenia, itd);
- kontakt osobisty (np. podwładny - przełożony).

W dalszych rozważaniach zakładamy, że przy analitycznym opisie procesu dystrybucji informacji nie będzie uwzględniana forma, a jedynie stopień realizacji tego procesu pod względem spełnienia określonych, wytypowanych własności systemu rozpoznania.

W wyniku analizy poszczególnych własności rozpoznania charakteryzujących proces dystrybucji informacji wybrana została (przy uwzględnieniu wcześniej przyjętych założeń) jedna własność, terminowość. Pozostałe własności systemu rozpoznania nie zostały przez nas wykorzystane do oceny procesu dystrybucji informacji. Nie potrafimy ich opisać parametrami przydatnymi do oceny efetywności.

Wskaźnik dystrybucji jest więc funkcją jednego wskaźnika własności, terminowości dystrybucji:

$$W_{dj} = \begin{cases} \text{nieokreślony} & \text{dla } t \in \langle T^p, t^g) \\ f(W_{dtj}(t)) & \text{dla } t \in \langle t^g, t^k \rangle \end{cases}$$

gdzie:

f - funkcja wyznaczania wskaźnika działania.

Realizowany proces dystrybucji informacji w chwili czasu $t \in \mathbb{T}$ jest oceniany jedynie za terminowość przekazywania meldunków przez elementy systemu. Postać wskaźnika dystrybucji informacji jest więc następująca:

$$W_{dj}(t) = \begin{cases} \text{nieokreślony} & \mathbb{M}^p_j(t) = \emptyset \\ W_{dtj}(t) & \mathbb{M}^p_j(t) \neq \emptyset \end{cases}$$

gdzie:

$M^p_j(t)$ - pakiet meldunków przekazanych do chwili t przez j-ty element systemu rozpoznania;

$W_{dt_j}(t)$ - wskaźnik terminowości dystrybucji j-tego elementu.

3.1.12. Wskaźnik procesu planowania

Z własności rozpoznania charakteryzujących proces planowania w dalszych rozważaniach brane są pod uwagę trzy własności, a mianowicie, terminowość, dokładność i celowość. Pozostałe własności rozpoznania tj. ciągłość, wiarygodność, elastyczność, aktywność oraz skrytość bądź zawierają się w wybranych przez nas własnościach jako wskaźniki własności (np. wiarygodność zawarta jest w opisie dokładności dystrybucji informacji), bądź nie dają się opisać parametrami wyrażającymi przydatność do oceny efektywności (np. skrytość, ciągłość).

Wskaźnik procesu planowania jest więc funkcją trzech wskaźników własności, W_{pt}, W_{pd}, W_{pc}:

$$W_{pj_o}(t) = \begin{cases} \text{nieokreślony} & \text{dla } t \in \langle T^p, t^z) \\ f\left[W_{ptj_o}(t), W_{pdj_o}(t), W_{pcj_o}(t)\right] & \text{dla } t \in \langle t^z, T^k \rangle \end{cases}$$

gdzie:

f - funkcja wyznaczania wskaźnika działania.

Przyjmujemy, że decydujący wpływ na realizację procesu planowania przez elementy systemu wywiera terminowe, celowe i dokładne opracowanie planu rozpoznania. Wybrane wskaźniki własności mogą być łączone przy wykorzystaniu dostępnych metod łączenia wskaźników.

Wartość wskaźnika procesu planowania może być wyznaczana po opracowaniu danego planu rozpoznania i jak określiliśmy jest funkcją wskaźnika dokładności planowania położenia wszystkich obiektów ujętych w planie, wskaźnika celowości planowania uwzględniającego przyjętą ocenę nieprzyjaciela oraz wskaźnika terminowości realizacji jednego zadania, jakim jest opracowanie jednego planu rozpoznania.

Postać wskaźnika procesu planowania, oceniającego określony element organizacyjny systemu rozpoznania za realizację procesu planowania rozpoznania (ocena za opracowany plan rozpoznania) jest więc następująca:

$$W_{pj_o}(t) = \begin{cases} \text{nieokreślony} & \text{dla } t \in \langle T^p, t^z) \\ W_{pj_o}(t^z) & \text{dla } t \in \langle t^z, t^{z'}) \\ W_{pj_o}(t^{z'}) & \text{dla } t \in \langle t^{z'}, t^{z''}) \end{cases}$$

gdzie:

T^p - czas rozpoczęcia badania systemu;

t^z, $t^{z'}$, $t^{z''}$ - czasy zakończenia kolejnych planów rozpoznania opracowanych przez j-ty element organizacyjny.

3.1.13 Podsumowanie

W punkcie dotyczącym metod budowy wskaźników do badania efektywności ex post systemu rozpoznania scharakteryzowaliśmy wytypowane wskaźniki działania i wskaźniki własności. Przedstawiliśmy także metody ich budowy. Nie podaliśmy jednak konkretnej tworzenia wskaźników względu na to, że staraliśmy się w tej części pokazać koncepcję budowy tych wskaźników. Konkretne postacie poszczególnych wskaźników zostaną przedstawione w następnym

rozdziale po określeniu skali wartości wskaźników oraz po przyjęciu założeń i ograniczeń dotyczących systemu rozpoznania oraz jego otoczenia.

Ponadto zostaną wybrane funkcje wyznaczania wskaźników własności (g) (wskaźniki oceniające spełnienie jednej własności rozpoznania przy realizacji jednego zadania z jednego procesu działania) oraz funkcje wyznaczania wskaźników działania (f).

Na zakończenie przedstawiamy symbole zdefiniowanych wskaźników, w oparciu o które budowane będą kryteria oceny efektywności. Są to następujące wskaźniki:

W_z - wskaźnik zdobywania;
W_{za} - wskaźnik aktywności zdobywania;
W_{zc} - wskaźnik celowości zdobywania;
W_{zd} - wskaźnik dokładności zdobywania;
W_{zs} - wskaźnik skrytości zdobywania;
W_{zt} - wskaźnik terminowości zdobywania;
W_p - wskaźnik planowania;
W_{pc} - wskaźnik celowości planowania;
W_{pd} - wskaźnik dokładności planowania;
W_{pt} - wskaźnik terminowości planowania;
W_d - wskaźnik dystrybucji;
W_{dt} - wskaźnik terminowości dystrybucji.

3.2. Wskaźniki efektywności dla oceny EX ANTE

Wskaźniki te dotyczyć będą przewidywanej oceny elementu systemu rozpoznania realizującego proces zdobywania informacji rozpoznawczych oraz proces dystrybucji informacji. W trakcie realizacji tych procesów muszą być spełniane określone własności rozpoznania, z których do oceny poddaliśmy dla procesu zdobywania trzy własności, dokładność, terminowość i celowość, a dla procesu dystrybucji jedynie terminowość. Kolejno omówimy poszczególne wskaźniki własności.

3.2.1. Wskaźnik dokładności zdobywania

Dokładność zdobywania informacji rozpoznawczych to ustalenie współrzędnych obiektów nieprzyjaciela z określoną, wymaganą dokładnością, w określonym czasie. Dokładność określania położenia obiektów nieprzyjaciela będzie wynikała z możliwości danego elementu wykonawczego i rodzaju obiektu. W części III rozprawy określone zostały wymagane czasy na rozpoznawanie obiektów nieprzyjaciela przez poszczególne typy elementów rozpoznawczych z minimalnym błędem w określaniu położeń obiektów. Możemy więc stwierdzić, na podstawie tych danych oraz określonego okresu czasu składania meldunków o obiektach, czy wszystkie przydzielone do rozpoznania obiekty zostaną rozpoznane z minimalnym błędem, czy też nie.

Dla każdego elementu wykonawczego dysponujemy planem rozpoznania (zbiór zadań rozpoznawczych Z_j^w), czyli znamy obiekty zlecone danemu elementowi do rozpoznawania:

$$\mathbb{N}_j^p = \left\{ n \in \mathbb{N}: \langle j,n \rangle \in \mathbb{Z}_j^v \right\}$$

Dla każdego obiektu dysponujemy parametrami charakteryzującymi go z punku widzenia danego elementu wykonawczego. Są to:

$\Delta t^w(n)$ - wymagany okres czasu składania meldunku o obiekcie;

$\Delta \tau^w(n,r)$ - wymagany okres czas na rozpoznanie obiektu przez dany typ elementu z minimalnym błędem przy określaniu położenia obiektu;

$L(r,n,\Delta\tau)$ - funkcja dokładności określania położenia obiektu w zależności od wielkości czasu zużytego na rozpoznawanie obiektu (malejąca względem $\Delta\tau$);

Ocena dokładności zdobywania informacji o obiektach będzie wynikała z ocen uzyskanych za określenie położenia poszczególnych, zleconych do rozpoznawania obiektów. Wartość wskaźnika dokładności zdobywania informacji o położenu jednego obiektu będzie zależała od wartości wymaganej dokładności z jaką należy określać położenie tego obiektu i wartości przewidywanego błędu jaki popełni element przy rozpoznawaniu obietu. Z parametrów opisujących obiekt oraz parametrów określających element wykonawczy będziemy określać błąd, jaki popełnić może element zużywając na jego rozpoznawnie określony okres czasu. I tak, jeżeli wymagany okres czasu na składanie meldunku o danym obiekcie jest krótszy od wymaganego czasu na rozpoznanie tego obiektu z minimalnym błędem, to element wykonawczy zmuszony jest do skrócenia czasu rozpoznawania obiektu, co powoduje przyrost

błędu dokładności określania jego położenia.

Przyjęte oznaczenia:

$\Delta L(n)$ - dopuszczalny błąd w określaniu położenia obiektu;

$L^m(n)$ - minimalny błąd w określaniu położenia obiektu przez dany typ elementu;

$\Delta\tau(n,j)$ - okres czasu jaki poświęci element na rozpoznawanie danego obiektu.

Ogólna postać wskaźnika dokładności zdobywania dla elementu j dotyczącego obiektu nieprzyjaciela n będzie następująca:

$$w_{zdj}(n) = w_d(L, \Delta L)$$

gdzie:

$$\Delta\tau = \begin{cases} \Delta\tau^{w}(n,\mathcal{H}(j)) & \text{dla } \Delta t^{w}(n) \geq \Delta\tau^{w}(n,\mathcal{H}(j)) \\ \Delta\tau^{w}(n,\mathcal{H}(j)) - \Delta t^{w}(n) & \text{dla } \Delta t^{w}(n) < \Delta\tau^{w}(n,\mathcal{H}(j)); \end{cases}$$

$L^m = L\left(n,\mathcal{H}(j),\Delta\tau^{w}(n,\mathcal{H}(j))\right)$;

$L = L(n,\mathcal{H}(j),\Delta\tau) - L^m$;

$\Delta L = \Delta L(n) - L^m$;

w_d - funkcja oceny dokładności;

$\mathcal{H}(j) \in \mathbb{R}$ - typ środka rozpoznania jaki sobą reprezentuje element j.

Wartość wskaźnika dokładności zdobywania za wszystkie zlecone do rozpoznania obiekty będzie zależała od wartości wskaźników za poszczególne obiekty. Możemy zatem zapisać:

$$W_{zdj} = g\left(\left[w_{zdj}(n)\right]_{\mathbb{N}_j^p} \right)$$

gdzie:

$w_{zdj}(n)$ - wskaźnik dokładności zdobywania informacji o n-tym obiekcie nieprzyjaciela;

g - funkcja wyznaczania wskaźnika własności.

3.2.2. Wskaźnik terminowości zdobywania

Wskaźnik ten będzie określał możliwość terminowego rozpoznania obiektów nieprzyjaciela określonych w planie rozpoznania. Każdy element wykonawczy powinien rozpoznać wszystkie przydzielone mu obiekty z wymaganą dokładnością, a więc każdy obiekt powinien być rozpoznawany przez co najmniej taki okres czasu jaki jest wystarczający do rozpoznania obiektu, określony jako $\Delta\tau^{v}$. Wartość wskaźnika terminowości zdobywania to wynik badania relacji zachodzących między wymaganymi czasami na dokładne rozpoznanie obiektów a wymaganymi okresami czasu składania meldunków o tych obiektach.

Rozpatrując zadanie rozpoznawcze (rozpoznanie jednego obiektu nieprzyjaciela), możemy opisać wskaźnik terminowości zdobywania parametrami czasowymi charakteryzującymi dany obiekt:

$$w_{ztj}(n) = w_t\left(\Delta t^{v}(n), 2\Delta t^{v}(n), \Delta\tau^{v}(n, \mathcal{H}(j))\right)$$

gdzie:

w_t - funkcja oceny terminowości;

$2\Delta t^{v}(n)$ - ostateczny okres czasu składania meldunku o obiekcie.

Wartość wskaźnika terminowości zdobywania dla elementu j:

$$W_{ztj} = g\left(\left[w_{ztj}(n)\right]_{\mathbb{N}_j^p}\right)$$

gdzie:

$w_{ztj}(n)$ - wskaźnik terminowości zdobywania informacji o n-tym obiekcie nieprzyjaciela;

g - funkcja wyznaczania wskaźnika własności.

3.2.3. Wskaźnik celowości zdobywania

Badanie stopnia spełnienia własności rozpoznania, jaką jest celowość w procesie zdobywania informacji rozpoznawczych, to badanie relacji zachodzącej między zadaniami zleconymi do wykonania, a zadaniami wykonanymi przez oceniany element systemu. Zadania rozpoznawcze wykonane przez element, to rozpoznane obiekty nieprzyjaciela. Zadania zlecone to obiekty przydzielone elementowi do rozpoznawania w planie rozpoznania.

Wartość wskaźnika celowości zdobywania zależy od liczności zbioru obiektów nieprzyjaciela zleconych do rozpoznania i zbioru obiektów rozpoznanych. Obiekt uważany jest za rozpoznany wówczas, gdy wskaźniki terminowości i dokładności zdobywania dla tego obiektu uzyskają pozytywną ocenę. W oparciu o to założenie możemy zdefiniować zbiór możliwych do rozpoznania obiektów:

$$\mathbb{N}_j^w = \left\{ n \in \mathbb{N}_j^p : w_{ztj}(n) > 0 \wedge w_{zdj}(n) > 0 \right\}.$$

Zbiór obiektów zleconych do rozpoznania przez element wynika z planu rozpoznania:

$$\mathbb{N}_j^p = \left\{ n \in \mathbb{N}: \langle j,n \rangle \in \mathbb{Z}_j^w \right\}.$$

Wartość wskaźnika celowości zdobywania zależy od liczby obiektów lub ich wag:

$$W_{zcj} = w_c\left[\sum_{n \in \mathbb{N}_j^p} c(n), \sum_{n \in \mathbb{N}_j^v} c(n)\right]$$

gdzie:

w_c - funkcja oceny celowości.

3.2.4. Wskaźnik terminowości dystrybucji

Terminowość w procesie dystrybucji wynika z czasu jaki poświęca się na przekazywanie informacji rozpoznawczych oraz z liczby przekazywanych informacji. Wskaźnik ten można wyznaczyć w oparciu o przewidywaną intensywność napływu meldunków rozpoznawczych od podległych elementów oraz o możliwości danego elementu do przyjmowania tych informacji. Parametry te zależą głównie od parametrów środków łączności. Z badań prowadzonych podczas ćwiczeń wynika, że możliwości elementów podległych w przekazywaniu meldunków są znacznie większe niż możliwości ich przyjmowania przez pośrednie elementy i podsystemy systemu rozpoznania.

Z planu rozpoznania danego elementu organizacyjnego dysponujemy zbiorem zadań rozpoznawczych zleconych wszystkim podległym elementom. Zbiór ten jest podstawą do wyznaczenia przewidywanej intensywności napływu meldunków od podległych elementów.

W oparciu o wymagany okres czasu Δt^v oraz zbiór zadań rozpoznawczych możemy wyznaczyć przewidywaną intensywność napływu meldunków do elmentu organizacyjnego $j_o \in \mathcal{J}^o$:

$$\lambda(j_o) = \sum_{\langle j,n\rangle \in \mathbb{Z}^v} \frac{1}{\Delta t^v(n)}$$

Wartość wskaźnika terminowości dystrybucji informacji wynika z badania relacji między maksymalną przepustowością kanałów łączności elementu organizacyjnego a intensywnością napływu meldunków rozpoznawczych od podległych elementów:

$$W_{dt\,j_o} = w_{dt}\left(\lambda(j_o), \xi(j_o)\right)$$

gdzie:

w_{dt} - funkcja oceny terminowości dystrybucji.

4. CHARAKTERYSTYKA METOD BUDOWY KRYTERIÓW OCENY EFEKTYWNOŚCI

(A. Grochalski)

Podstawą prezentowanych metod oceny efektywności są wcześniej przedstawione wskaźniki stanowiące ocenę spełnienia wybranych własności w trakcie realizacji przez elementy systemu rozpoznania poszczególnych procesów działania. Wskaźniki wyrażają chwilową ocenę efektywności działania elementów rozpoznania. Tworzą one zbiór wskaźników:

$$\mathbb{W}(t) = \left\{ W_{xyj}(t) : x \in \mathbb{X} \wedge y \in \mathbb{Y} \wedge j \in \mathbb{J} \right\}, \; t \in \mathbb{T} .$$

gdzie:

$\mathbb{X}$ - zbiór procesów informacyjnych;

$\mathbb{Y}$ - zbiór własności;

$\mathbb{J}$ - zbiór elementów systemu rozpoznania;

$\mathbb{T}$ - okres badań systemu.

Należy zaznaczyć, że nie dla wszystkich wartości x, y, j oraz t są określone wskaźniki.

Dla modelu ex post przyjmujemy, że elementy organizacyjne będziemy oceniać za realizację zadań w procesie planowania z uwzględnieniem następujących własności: terminowość, dokładnośc i celowość. Wskaźniki im odpowiadające określone są dopiero po zakończeniu planowania i zatwierdzeniu pierwszego planu rozpoznania danego elementu organizacyjnego. Elementy wykonawcze będą oceniane za terminowość procesu dystrybucji oraz za skrytość, aktywność, terminowość, dokładność i celowość procesu zdobywania. Działanie systemu będzie rozpatrywane w przedziale czasu $\mathbb{T}$

określającego okres badań.

W modelu ex ante będziemy oceniać elementy wykonawcze za terminowość, dokładność, celowość procesu zdobywania i elementy organizacyjne za terminowość procesu dystrybucji. Będziemy rozpatrywać tylko chwilową ocenę efektywności działania systemu rozpoznania.

Efektywność systemów jest nierozrywalnie związana z ich sterowaniem, a więc i optymalnym działaniem. Dlatego metody oceny efektywności systemu rozpoznania należy formułować w oparciu o pojęcia optymalizacji [2].

Zbiór wskaźników można uporządkować i traktować go jako wektorowe kryterium jakości.

Niech

$\mathbb{I} = \{1,2,\ldots,I\}$, gdzie $I = \overline{\mathbb{X}}\ \overline{\mathbb{Y}}\ \overline{\mathbb{J}}$,

$\chi: \mathbb{X} \times \mathbb{Y} \times \mathbb{J} \longrightarrow \mathbb{I}$ funkcja wzajemnie jednoznaczna,

$i \in \mathbb{I}, j \in \mathbb{J}, x \in \mathbb{X}, y \in \mathbb{Y}, t \in \mathbb{T}$,

$$W_i(t) = W_{\chi(x,y,j)}(t) = \begin{cases} 0 & \text{dla } W_{xyj}(t) \notin \mathbb{W}(t) \\ W_{xyj}(t) & \text{dla } W_{xyj}(t) \in \mathbb{W}(t) \end{cases}$$

Istnieje więc wektor wskaźników $\langle W_1(t),\ldots,W_I(t)\rangle$, który będzie stanowił wektorowe kryterium jakości dla chwili czasu t.

Istnieje również potrzeba porównywania wskaźników lub ich grup względem siebie i względem czasu. Wymagane jest więc określenie relacji na przestrzeni kryterialnej, którą tworzy zbiór wartości wskaźników własności procesów działania.

Konstruując wskaźniki założyliśmy, że ich wartości będą znormalizowane do przedziału liczb rzeczywistych $\langle 0,1\rangle$. Jednocześnie rosnące wartości wskaźników odpowiadać będą ich

pozytywnym zmianom, a więc wzrostowi efektywności. Wskaźniki określone są funkcjami przedziałami liniowymi względem czasu i ich parametrów.

Przestrzeń kryterialna jest więc kostką I-wymiarową:

$$\mathcal{Y} = \langle 0,1 \rangle^{I}.$$

Stanowi ona zbiór ograniczony, domknięty i wypukły w przestrzeni liniowej $\mathcal{R}^{I}$. Naszym zadaniem jest określenie relacji liniowego porządku:

$$\overset{R}{\leq} \subset \mathcal{Y} \times \mathcal{Y}$$

i relacji równoważności:

$$\overset{R}{\equiv} \subset \mathcal{Y} \times \mathcal{Y}.$$

Funkcje generujące relacje równoważności umożliwią przejście z wielokryterialnej oceny efektywności do jednowymiarowych kryteriów ocen efektywności działania systemu rozpoznania i wartościowanie ich przy pomocy odpowiedniej skali porządkowej.

Jako kryterium główne traktować będziemy kryterium globalnej oceny efektywności systemu rozpoznania za okres prowadzenia badań. Jednocześnie rozpatrywać będziemy szereg kryteriów pomocniczych. Pozwolą one na badanie efektywności części składowych systemu oraz wyróżnionych procesów i własności, a także na śledzenie jej zmian w czasie.

W oparciu o wcześniej opisane wskaźniki zostaną sformułowane dla modelu ex post następujące kryteria oceny efektywności:

1. ze względu na czas:
   a) chwilowe, w danym momencie czasowym (np. natarcia, uderzenia jądrowego, kontrnatarcia itp.);
   b) za dany przedział czasu (np. fazę ćwiczeń, określony plan rozpoznania, okres przygotowania natarcia itp.);

c) za cały okres badań (przebieg ćwiczeń);

2. ze względu na procesy:

a) za zdefinowane procesy działania i własności im odpowiadające (terminowośc planowania, celowość planowania, dokładność zdobywania, terminowość dystrybucji itd.);

b) za dany proces (planowanie, dystrybucje lub zdobywanie);

c) globalne, za realizację wszystkich procesów;

3. ze względu na podzbiór elementów:

a) elementu;

b) podsystemu;

c) systemu;

4. ze względu na rodzaje rozpoznania.

Dla modelu ex ante kryteria oceny efektywności będą podobne, będą jednak dotyczyć oceny systemu rozpoznania podczas realizacji jednego okresu planowanego działania:

$$W_i(t) = W_i = \text{const.}$$

Zbiór wskaźników jest bardzo zróżnicowany, przez co tworzenie metody oceny efektywności jest znacznie utrudnione. Wynika to z istnienia dwóch typów elementów, organizacyjnych i wykonawczych, oraz nieporównywalności własności ich procesów działania.

W literaturze spotyka się różnorodne metody tworzenia kryteriów efektywności. Najtrafniejsze istnieją tam, gdzie łączy się wskaźniki za procesy i własności mierzalne oraz tam, gdzie istnieją wzorce idealne, do których można odnosić pomiary. Tak jest w takich dziedzinach jak fizyka, mechanika, elektronika itp. Większe trudności występują przy

tworzeniu kryteriów efektywności w ekonomii i ekonomice, gdzie zastosowane metody nie zawsze są oczywiste i istnieje wielowariantowość rozwiązań.

Z analizy różnorodnych rozwiązań można sformułować wniosek: czym mniej mierzalne procesy i własności i mniej oczywisty ich wpływ na efektywność systemu, tym prostsze metody należy stosować do obliczenia wskaźników i kryteriów efektywności.

Przegląd formuł stosowanych w kryteriach oceny efektywności podał R. Kolman [4]. Są to następujące metody:

1. multyplikacyjna

$$K = \prod_{i=1,I} W_i \;;$$

2. multyplikacyjna korygowana

$$K = \prod_{i=1,I} \alpha_i W_i \;;$$

3. multyplikacyjno-wykładnicza

$$K = \prod_{i=1,I} W_i^{\lambda_i} \;;$$

4. multyplikacyjno-wykładnicza korygowana

$$K = \prod_{i=1,I} \alpha_i W_i^{\lambda_i} \;;$$

5. addytywna

$$K = \frac{1}{I} \sum_{i=1,I} W_i \;;$$

6. addytywna korygowana

$$K = \frac{1}{I} \sum_{i=1,I} \alpha_i W_i \;;$$

7. addytywno-wykładnicza

$$K = \frac{1}{I} \sum_{i=1,I} W_i^{\lambda_i} ;$$

8. addytywno-wykładnicza korygowana

$$K = \frac{1}{I} \sum_{i=1,I} \alpha_i W_i^{\lambda_i} ;$$

gdzie:

K - kryterium oceny efektywności;

W_i - wskaźniki efektywności;

α_i - współczynniki korelacyjne uwzględniające ważność współczynników;

λ_i - wykładniki potęgowe, skalujące rozrzut wartości wskaźnika w przedziale jego zmienności;

I - liczba wskaźników.

Metody wykładnicze uwzględniają kształtowanie wartości wskaźników w celu uzyskania charakterystyk rozrzutu wyników w miarę równomiernych lub o żądanym kształcie. W specyficznych zastosowaniach wprowadzenie funkcji wykładniczych może być niewystarczające.

W przypadku rozpatrywanych przez nas wskaźników, ze względu na brak dostatecznej liczby pomiarów, nie znamy rozrzutów ich wartości, a także nie wiemy jaką postać miałyby one przyjąć. Mamy jednak wpływ na kształtowanie rozrzutu wartości wskaźników poprzez zmianę norm użytych do ich obliczania. I tylko tą metodę zalecamy do stosowania.

Metody multyplikacyjne łączenia wskaźników stosuje się tam, gdzie wartość każdego ze wskaźników ma wpływ decydujący na wartość kryterium efektywności. Stosuje się je np. w

rachunku niezawodności urządzeń i systemów, gdzie awaryjność jest uzależniona od niezawodności każdego z elementów.

System rozpoznania jest tak organizowany, by zniszczenie lub zła praca jednego elementu nie wpływała decydująco na jego działanie. Należy więc odrzucić metody multyplikacyjne przy tworzeniu kryteriów oceny efektywności podsystemów i systemu rozpoznania.

Metody oblicznia wskaźników za własności i procesy zostały tak dobrane, że wpływ pojedynczego wskaźnika nie będzie wpływać decydująco na ostateczną ocenę efektywności. Odrzuciliśmy dlatego metody multyplikacyjne przy łaczeniu tych wskaźników.

W systemie pk. "KULA 5" do tworzenia kryteriów przyjeliśmy i zastosowaliśmy metodę addytywną. Pomimo swej prostoty, a może dzieki niej, zdała ona egzamin. Nie pozwala ona jednak zróżnicować wpływu wskaźników na wartość kryteriów.

Wady tej nie ma metoda addytywna korygowana. Wymaga ona jednak określenia znaczenia poszczególnych wskaźników (a więc procesów i własności) i doboru właściwych współczynników korelacyjnych.

Przed wybraniem metody formowania kryteriów zastanówmy się nad ich własnościami. Wartości wskaźników określone są na podzbiorze $\mathcal{Y}$ liczb rzeczywistych. Zakłada się, że wartości wskaźników, a także kryteriów, rosną gdy odpowiadające im cechy systemu przyjmują wartości pozytywne.

Funkcji spełniających te postulaty jest więcej niż podał to R.Kolman. Ze względów praktycznych wybiera się je

spośród funkcji liniowych.

Wymagamy istnienia relacji równoważności

$$\overset{R}{\equiv} : x \overset{R}{\equiv} y \iff K(x) = K(y), \quad x, y \in \mathcal{Y}$$

oraz relacji liniowego porządku

$$\overset{R}{\leftarrow} : x \overset{R}{\leftarrow} y \iff K(x) \geqslant K(y), \quad x, y \in \mathcal{Y}.$$

Relacja równoważności wyznacza klasy abstrakcji odpowiadające zbiorowi tych wskaźników, które przyjmują tą samą wartość

$$[x] = \left\{ y \in \mathcal{R}^I \; K(x) = K(y) \right\}, \; x \in \mathcal{R}^I.$$

Metoda multyplikatywna odpowiada modułowi z iloczynowi wektorowemu

$$|y_1 \times y_2 \times \ldots \times y_n|$$

gdzie $y_i = \langle 0, \ldots, W_i, \ldots, 0 \rangle$. Dla I = 2 wartość kryterium jest równoważna polu prostokąta, a wartość dla I = 3 objętości prostopadłościanu o długościach boków odpowiadających współrzędnym wektora w. Klasa abstrakcji w $\mathcal{R}^I$ wyznacza dla I = 2 hiperbolę, a dla I = 3 hiperboloidę.

Metoda addytywna i addytywna korygowana jest równoważna formie liniowej

$$K(y) = (y, a), \quad a \in \mathcal{R}^I,$$

a jej klasy abstrakcji wyznaczają hiperpłaszczyzny prostopadłe do wektora a w przestrzeni $\mathcal{R}^I$, tzn. dla I = 2 proste, I = 3 płaszczyzny.

Metoda addytywna korygowana z wykładnikami $\lambda_i = 2$ dla i = 1,I równoważna jest formie kanonicznej formy kwadratowej

$$K(y) = (y, Ay)$$

gdzie A jest macieżą diagonalną o głównej przekątnej $(a_1,\ldots,a_I)$. Zakłada się, że $a_i > 0$ dla $i = 1,n$ co powoduje, że klasy abstrakcji wyznaczają sfery eliptyczne w przestrzeni $\mathcal{R}^I$. W szczególności dla $a_i = 1$ są to powierzchnie kul o środku w początku układu współrzędnych, a wartości kryterium odpowiada kwadratowi odległości punktu y od punktu zerowego.

Ogólnie metoda addytywna korygowana z wykładnikami λ_i jest rownoważna normie:

$$\|\overset{*}{y} - y\|_p = \Big(\sum_{i=1,I} (|\overset{*}{y}_i - y_i|)^p \Big)^{\frac{1}{p}}$$

gdzie $y, \overset{*}{y} \in \mathcal{R}^I$, $p \geqslant 1$ i $\overset{*}{y}$ jest w naszym przypadku antyideałem.

Ze względu na swoją prostotę i łatwość w interpretacji wyników, odrzucając zarazem możliwość przeskalowywania rozkładów wartości wskaźników, ograniczymy się do trzech metod: multyplikacyjnej (iloczynu wektorowego), addytywnej korygowanej (formy liniowej) i addytywnej korygowanej o wykładniku kwadratowym (formy kwadradratowej).

Wybór jednej z nich zależy od natury badanych cech systemu oraz strategii oceniania. Wcześniej już stwierdziliśmy, że nie zastosujemy metody multyplikacyjnej, ze względu na charakter systemu rozpoznania oraz dobór metody obliczania wskaźników procesów i własności.

Jeżeli będziemy rozpatrywali dwie pozostałe metody i sprowadzimy je do postaci:

$$K_1 = \frac{1}{I} \sum_{i=1,I} \alpha_i W_i$$ addytywna korygowana

$$K_2 = \frac{1}{I} \sum_{i=1,I} \alpha_i W_i^2$$ addytywna korygowana z wykładnikiem kwadratowym

przy czym założymy że

$\alpha_i > 0$, $W_i \in \langle 0, 1 \rangle$,

to $K_2 \leqslant K_1$, a więc kryterium z wykładnikiem kwadratowym jest niewiększe od kryterium liniowego. Metoda z wykładnikiem kwadratowym jest więc bardziej "surowa" dla mniejszych wartości wskaźników. Tylko ze względu na większą efektywność obliczeniową i prostotę wybieramy wariant metody addytywnej korygowanej.

Relację liniowego porządku $\overset{R}{\longleftarrow}$ generować będzie stożek:

$$\Lambda = \left\{ \lambda = \langle \lambda_1, \ldots, \lambda_I \rangle \in \mathcal{R}^I : (c, \lambda) = \sum_{i=1}^{I} c_i \lambda_i \leqslant 0 \right\}, \quad c = \langle c_1, \ldots, c_I \rangle,$$

$c \in \mathcal{R}^I_+$.

Jest to stożek wypukły tworzący półprzestrzeń w $\mathcal{R}^I$ ograniczoną płaszczyzną prostopadłą do wektora c przechodzącą przez punkt zerowy.

Niech $x, y \in \mathcal{Y}$. Relacją $\overset{R}{\longleftarrow}$ będzie zbiór par $\langle y, z \rangle$ takich, że $(y - z) \in \Lambda$.

Czyli $\langle y, z \rangle \in \overset{R}{\longleftarrow}$, jeśli $z \in \{y\} + \Lambda = \{y + \lambda : \lambda \in \Lambda\}$,

a więc dla pewnego $\lambda \in \Lambda$ zachodzi $z = y + \lambda$.

Stąd

$$(z - y, c) = \sum_{i=1}^{I} (z_i - y_i)\, c_i = \sum_{i=1}^{I} z_i c_i - \sum_{i=1}^{I} y_i c_i \leqslant 0.$$

a więc

$$(z,c) = \sum_{i=1}^{I} z_i c_i \leqslant \sum_{i=1}^{I} y_i c_i = (y,c).$$

Relacja $\overset{R}{\longmapsto}$ jest zwrotna, antysymetryczna, przechodnia oraz spójna, jest więc relacją liniowego porządku.

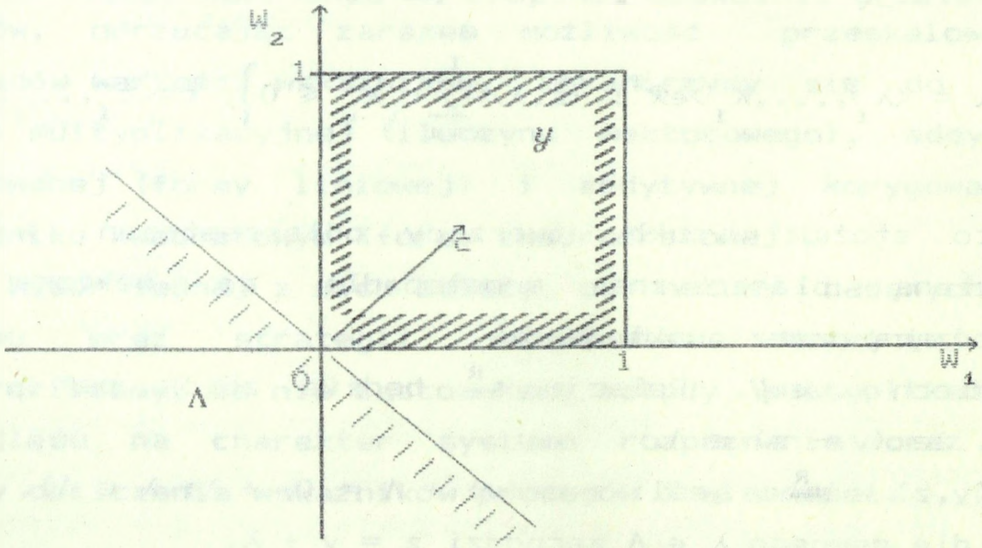
Relację równoważności $\overset{R}{\equiv}$ generować będzie stożek:

$$\Lambda' = \left\{ \lambda = \langle \lambda_1, \ldots, \lambda_I \rangle \in \mathcal{R}^I : (c,\lambda) = \sum_{i=1}^{I} c_i \lambda_i = 0 \right\}, \quad c = \langle c_1, \ldots, c_I \rangle.$$

Jest to stożek wypukły tworzący płaszczyznę w $\mathcal{R}^I$ prostopadłą do wektora c przechodzącą przez punkt zerowy. Dla $x,y \in \mathcal{Y}$ generuje on relację

$$(z,c) = \sum_{i=1}^{I} z_i c_i = \sum_{i=1}^{I} y_i c_i = (y,c).$$

która jest zwrotna, symetryczna i przechodnia, a więc jest relacją równoważności.



Przestrzen kryterialna $\mathcal{Y}$, stozek wypukly Λ dla I=2.

Sformułowane relacje dotyczą oceny dla chwili czasu $t \in \mathbb{T}$, jednakże istnieje potrzeba oceny efektywności za dowolny podprzedział czasu, w szczególności za okres badań

(ćwiczeń) $\mathbb{T}$. Uważamy, że wobec tego, że wskaźniki są całkowalne względem czasu, najwłaściwszą metodą będzie uśrednianie wartości wskaźników w czasie:

$$W_i(t_1,t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{W_i(t)}{t_1 - t_2}\, dt, \quad i=1,I, \quad t_1,t_2 \in \mathbb{T}$$

Relacje zachowają w tym przypadku swąją ważność, gdyż dla $W(t) = \langle W_1(t),\ldots,W_I(t)\rangle \in \mathcal{Y}$ i $t_1,t_2 \in \mathbb{T}$ zachodzi:

$$\left(\int_{t_2}^{t_1} W(t)dt\ ,\ c\right) = \sum_{i=1}^{I} \int_{t_2}^{t_1} W_i(t)dt\ c_i = \int_{t_2}^{t_1} \sum_{i=1}^{I} W_i(t)\ c_i\ dt =$$

$$= \int_{t_2}^{t_1} (W(t)\ ,\ c)\ dt$$

W praktyce ustalanie wartości wektora c dla każdego x, y i j byłoby niewygodne, proponujemy by:

$$c_i = c_{\psi(x,y,j)} = \alpha_{xy}\nu_j(t)$$

gdzie:

α_{xy} - współczynnik korelacyjny dla własności y procesu działania y,

$\nu_j(t)$ - współczynnik korelacyjny dla elementu j, zwany później udziałem elementu j w realizacji zadań systemu rozpoznania w chwili czasu t.

Relacja równoważności będzie miała postać:

$$\underline{\underline{R}} = \left\{ W(t),\ W'(t) \in \mathcal{Y}\times\mathcal{Y}:\ \int_{t_2}^{t_1} (W(t)\ ,\ c)\ dt = \int_{t_2}^{t_1} (W(t)\ ,\ c)\ dt \right\}$$

Ostatecznie zakładając normalizację wartości kryterium do przedziału <0,1> (patrz Rozdział I punkt 6) możemy sformułować jednowymiarowe kryterium główne o pastaci:

$$K = \frac{\int_{t_k}^{t_p} \sum_{i=1}^{I} W_i(t)\, c_i \, dt}{\int_{t_k}^{t_p} \sum_{i=1}^{I} c_i \, dt}$$

gdzie:

$I = \overline{\mathcal{X}}\ \overline{\mathcal{Y}}\ \overline{\mathcal{J}}$,

$\mathcal{I} = \{1,2,\ldots,I\}$,

$\chi: \mathcal{X} \times \mathcal{Y} \times \mathcal{J} \longrightarrow \mathcal{I}$ funkcja wzajemnie jednoznaczna,

$i \in \mathcal{I}, j \in \mathcal{J}, x \in \mathcal{X}, y \in \mathcal{Y}, t \in \mathcal{T}$,

$$W_i(t) = W_{\chi(x,y,j)}(t) = \begin{cases} 0 & \text{dla } W_{xyj}(t) \notin \mathbb{W}(t) \\ W_{xyj}(t) & \text{dla } W_{xyj}(t) \in \mathbb{W}(t), \end{cases}$$

$c_i = c_{\chi(x,y,j)} = \alpha_{xy} \nu_j$,

α_{xy} - współczynnik korelacyjny dla własności y procesu działania y,

ν_j - współczynnik korelacyjny dla elementu j, zwany później udziałem elementu j w realizacji zadań systemu rozpoznania.

Mianownik funkcji kryterium zapewnia normalizację jego do przedziału <0,1>.

Jednocześnie założymy, że w okresie początkowym, zbierania danych pomiarowych:

$$\alpha_{xy} = 1 \text{ dla } x \in \mathcal{X},\ y \in \mathcal{Y},$$

po tym okresie na podstawie zebranych wyników określimy wartości współczynników korelacyjnych.

Współczynniki korelacyjne ν_i będą omówione przy opisie efektywności systemu.

Kryterium to będzie bazą do sformułowania kryteriów pomocniczych, opisanych w nieco innej formie w następnych punktach.

Zastosowanie tej oceny efektywności przy pomocy takiego kryterium natrafiałoby na trudności, gdyby wskaźniki były okeślone funkcjami innymi niż liniowe względem czasu. Ponieważ są to funkcje przedziałami stałe lub przedziałami liniowo malejące, obliczenia można prowadzić przedziałami. W praktyce programowania będą one jednak i tak skomplikowane i czasochłone. Ponieważ nie wymagamy zazwyczaj dokładnych wyników, a tylko szacunków, w praktyce należy zastosować próbkowanie i uśrednianie wartości kryterium. Próbkowanie może być dokonywane w stałych albo w losowych odstępach czasu. Preferować będziemy stały okres pomiarów ze względu na późniejszą prezentację wyników w formie tabelarycznej lub graficznej.

Kryteria zostały tak dobrane, żeby w sposób możliwie prosty, najpełniej odzwierciedlały istotę działania i cechy systemu rozpoznania w realizacji jego celów przy założeniu oczywistych kompromisów i uproszczeń.

5. ODWZOROWANIE STRUKTURALNE SYSTEMU A EFEKTYWNOŚĆ ELEMENTÓW, PODSYSTEMÓW, SYSTEMU I RODZAJÓW ROZPOZNANIA.

(A. Grochalski)

5.1. Efektywność elementu

Sformułujmy metody tworzenia kryteriów chwilowych oceny efektywności elementu. W modelu ex post założyliśmy, że elementy organizacyjne i wykonawcze nie będą oceniane za jednakowe procesy i własności. Elementy organizacyjne będą oceniane za proces planowania, natomiast wykonawcze za procesy dystrybucji i zdobywania.

Ze względu na nieokreśloność niektórych wskaźników wprowadźmy funkcję określająca podzbiór własności procesów działania, za które oceniany jest element j w chwili czasu t:

$$\chi_j(t) = \left\{ \langle x,y\rangle \in \mathcal{X}\times\mathcal{Y} : W_{xyj}(t) \in \mathbb{W}(t) \right\}$$

przy czym dla modelu ex post:

dla elementów organizacyjnych $j \in \mathcal{J}^o$

$$\chi_j(t) \subseteq \left\{\langle p,t\rangle,\langle p,d\rangle,\langle p,c\rangle\right\},$$

a dla elementów wykonawczych $j \in \mathcal{J}^w$

$$\chi_j(t) \subseteq \left\{\langle d,t\rangle,\langle z,s\rangle,\langle z,a\rangle,\langle z,t\rangle,\langle z,d\rangle,\langle z,c\rangle\right\}.$$

Przyjmiemy, że kryterium chwilowej oceny efektywności elementu j za wybrane procesy i własności $\langle x,y\rangle \in \chi_j(t)$ równoważne jest odpowiadającemu mu wskaźnikowi:

$$K_{xyj}(t) = W_{xyj}(t)$$

Kryterium chwilowej oceny efektywności elementu j za procesy $x \in \mathcal{X}$ takie, że $\langle x,y \rangle \in \chi_j(t)$ określimy następująco:

$$K_{xj}(t) = \frac{\sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j(t)} \alpha_{xy} W_{xyj}(t)}{\sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j(t)} \alpha_{xy}}$$

gdzie:

α_{xy} - współczynnik korelacji dla własności y procesu x.

Globalne kryterium chwilowej oceny efektywności dla elementu j określimy jako:

$$K_j(t) = \frac{\sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j(t)} \alpha_{xy} W_{xyj}(t)}{\sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j(t)} \alpha_{xy}}$$

Istnieje potrzeba określania kryterium efektywności za określony przedział czasu. Uważamy, że najwłaściwszą metodą będzie uśrednianie oceny efektywności w czasie. Założyliśmy, że zarówno wskaźniki, jak i kryteria będą funkcjami całkowalnymi względem czasu.

Dla przedziału czasu $\langle t_1, t_2 \rangle$ globalne kryterium oceny efektywności elementu j może mieć wtedy postać:

$$K_j(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{K_j(t)}{t_1 - t_2} dt,$$

kryterium oceny efektywności elementu j za proces x:

$$K_{xj}(t_1,t_2)=\int_{t_1}^{t_2}\frac{K_{xj}(t)}{t_1-t_2}dt,$$

a za własność y w procesie x:

$$K_{xyj}(t_1,t_2)=\int_{t_1}^{t_2}\frac{W_{xyj}(t)}{t_1-t_2}dt$$

W modelu ex ante założyliśmy ocenianie elementów wykonawczych za terminowość, dokładność, celowość zdobywania. Elementy organizacyjne będą oceniane za terminowość dystrybucji.

Dla tego modelu wprowadzimy następujące zmienne określające procesy i własności, za które będą oceniane elementy systemu rozpoznania:

dla elementu organizacyjnego $j \in \mathcal{J}^{o}$

$$\chi_j = \left\{\langle d,t\rangle\right\},$$

dla elementu wykonawczego $j \in \mathcal{J}^{w}$

$$\chi_j = \left\{\langle z,t\rangle,\langle z,d\rangle,\langle z,c\rangle\right\}.$$

Przyjmiemy, że kryterium oceny efektywności elementu j za wybrane procesy i własności $\langle x,y\rangle \in \chi_j$ równoważne jest odpowiadającemu mu wskaźnikowi:

$$K_{xyj} = W_{xyj}$$

Kryterium oceny efektywności elementu j za procesy $x \in \mathcal{X}$ takie, że $\langle x,y \rangle \in \chi_j(t)$ określimy następująco:

$$K_{xj} = \frac{\sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \alpha_{xy} W_{xyj}}{\sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \alpha_{xy}}$$

gdzie:

α_{xy} - współczynnik korelacji dla własności y procesu x.

Globalne kryterium oceny efektywności dla elementu j określimy jako:

$$K_j = \frac{\sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \alpha_{xy} W_{xyj}}{\sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \alpha_{xy}}$$

5.2. Efektywność podsystemu

Przyjmujemy, że rozpatrywać będziemy te podsystemy systemu rozpoznania, których elementy są z sobą powiązane funkcjonalnie.

W pojęciu grafu podległości funkcjonalnej elementy podsystemu tworzą poddrzewa grafu $\mathbb{G}_R$. Pozwala to traktować każdy z podsystemów rozpoznania jako oddzielny system. Odpowiada to rzeczywistości, gdyż od każdej z części systemu rozpoznania wymaga się umiejętności samodzielnego, autonomicznego działania.

Z takiego założenia wynika, że możemy podsystem oceniać tą samą metodą co cały system rozpoznania, ograniczając odpowiednio zakres danych niezbędnych do obliczeń. W obliczeniach uwzględniamy dane dotyczące

elementów podsystemu, a więc wyliczone wartości wskaźników elementów podsystemu.

Będziemy więc rozpatrywać podsystemy określone następująco:

$$\mathcal{J}' \subset \mathcal{J},$$

$$\mathbb{G}'_{\mathbf{R}} = \langle \mathcal{J}', \Gamma'_{\mathbf{R}} \rangle$$

$$\Gamma'_{\mathbf{R}} = \mathcal{J}' \times \mathcal{J}' \cap \Gamma_{\mathbf{R}}$$

spełniające warunki:

1. każdy element $j \in \mathcal{J}'$ posiada co najwyżej jeden element nadrzedny

$$\overline{\overline{\Gamma'^{-1}_{\mathbf{R}}(j)}} \leqslant 1$$

2. istnieje dokładnie jeden element $j_o \in \mathcal{J}'$ nie posiadający elementu narzędnego

$$\Gamma'^{-1}_{\mathbf{R}}(j_o) = \emptyset$$

Kryteria ocen efektywności podsystemów będą takie same jak w przypadku całego systemu, lecz obliczenia zostaną ograniczone do zbioru elementów podsystemu.

5.3. Efektywność systemu

Zasadniczą trudność w sformułowaniu kryteriów oceny efektywności systemu rozpoznania stwarzają:

- różnice w znaczeniu elementów w zależności od ich miejsca w strukturze podległości,
- wyróżnienie dwóch typów elementów, organizacyjnego i wykonawczego,
- niewspółmierność ocen efektywności własności procesów działania,
- niejednolite przedziały określoności wskaźników i kryteriów dla elementów systemu.

Pierwszą, a zarazam i drugą przeszkodę można pokonać przez takie sformułowanie kryterium, które będzie odzwierciedlać udział elementów w realizacji globalnego celu systemu rozpoznania, a więc dostarczenia dowództwom i sztabom informacji o nieprzyjacielu pozwalających im planować i organizować działania wojsk.

Niestety nie istnieje jeden globalny, jednolity cel systemu, ze względu na strukturalne podporządkowanie elementów rozpoznania dowództwom i sztabom.

Elementy rozpoznawcze realizują cele zarowno elementów organizacyjnych bezpośrednio, jak i pośrednio nadrzędnych. Istnieje więc wiele celów, które w różnym stopniu odzwierciedlają cel globalny systemu. Zadania realizone przez poszczególne elementy w celu spełnienia cząstkowych celów systemu mają różną, zmienną w trakcie działań bojowych wartość.

Należy więc przyjąć, że udział elementów w realizacji celu jest zmienny w czasie i różny dla poszczególnych elementów. Istnieje przy tym proporcjonalna zależność udziału danego elementu w realizacji celu systemu od liczby i ważności obiektów nieprzyjaciela przez niego rozpoznawanych.

Tworząc kryteria efektywności systemu posłużymy się, jak to powiedzieliśmy w punkcie 4, metodą addytywną korygowaną znormalizowaną do przedziału <0, 1>. Ponieważ, tak jak to wcześniej stwierdziliśmy, udział elementów rozpoznawczych w realizacji celu globalnego systemu jest różny i zmienny w czasie, wprowadzimy współczynniki korelacyjne, które będą go odzwierciedlać.

Wartość współczynników korelacyjnych dla elementów organizacyjnych uzależnimy od ważności obiektów wynikających

z oceny nieprzyjaciela, a dla elementów wykonawczych, od ważności obiektów zaplanowanych do rozpoznawania.

Wartościowanie to nazwiemy udziałem elementu j w realizacji celów systemu i dla modelu ex post określimy następująco:

$$\upsilon_j(t) = \begin{cases} \sum\limits_{\langle n,s\rangle \in \Phi_j(t)} c(n) & \text{dla } j \in \mathcal{J}^o \\ \sum\limits_{\langle j,n,H^p\rangle \in \mathbb{Z}^v_j(q_{j_o}(t))} c(n) & \text{dla } j \in \mathcal{J}^w,\ \{j_o\} \in \Gamma_R^{-1}(j) \end{cases}$$

Jeżeli nie będziemy uwzględniać przedziałów określoności kryteriów, to możemy przyjąć następującą formę kryterium chwilowej oceny efektywności dla własności y procesu x:

$$K_{xy}(t) = \frac{\sum\limits_{j\in\mathcal{J}} \upsilon_j(t)\, W_{xyj}(t)}{\sum\limits_{j\in\mathcal{J}} \upsilon_j(t)}$$

Formuła ta zapewnia zawieranie wartości kryterium w przedziale <0,1>.

Kryteria oceny mogą być nieokreślone i należy to uwzględnić następująco:

$$K_{xy}(t) = \frac{\sum\limits_{j\in\mathcal{J} \wedge \langle x,y\rangle \in \chi_j(t)} \upsilon_j(t)\, W_{xyj}(t)}{\sum\limits_{j\in\mathcal{J} \wedge \langle x,y\rangle \in \chi_j(t)} \upsilon_j(t)}$$

Rozpatrując efektywność elementów rozpoznawczych stwierdziliśmy potrzebę określenia kryteriów za wybrane procesy:

$$K_x(t) = \frac{\sum_{j\in J} \sum_{\langle x,y\rangle \in \chi_j(t)} \upsilon_j(t)\, \alpha_{xy}\, W_{xyj}(t)}{\sum_{j\in J} \sum_{\langle x,y\rangle \in \chi_j(t)} \upsilon_j(t)\, \alpha_{xy}},$$

oraz globalnego kryterium chwilowej oceny efektywności:

$$K(t) = \frac{\sum_{j\in J} \sum_{\langle x,y\rangle \in \chi_j(t)} \upsilon_j(t)\, \alpha_{xy}\, W_{xyj}(t)}{\sum_{j\in J} \sum_{\langle x,y\rangle \in \chi_j(t)} \upsilon_j(t)\, \alpha_{xy}}$$

Jeżeli będziemy rozpatrywać kryteria oceny efektywności systemu za przedział czasu $\langle t_1, t_2\rangle$, to kryterium oceny efektywności systemu za własności procesów może przyjąć postać:

$$K_{xy}(t_1,t_2) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \left(\sum_{j\in J} \upsilon_j(t)\, W_{xyj}(t) \right) dt}{\int_{t_1}^{t_2} \left(\sum_{j\in J} \upsilon_j(t) \right) dt}$$

za dany proces:

$$K_x(t_1,t_2) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \left(\sum_{j\in J} \sum_{\langle x,y\rangle \in \chi_j(t)} \upsilon_j(t)\, \alpha_{xy}\, W_{xyj}(t) \right) dt}{\int_{t_1}^{t_2} \left(\sum_{j\in J} \sum_{\langle x,y\rangle \in \chi_j(t)} \upsilon_j(t)\, \alpha_{xy} \right) dt}$$

i globalne kryterium efektywności systemu za przedział czasu:

$$K(t_1,t_2) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \left(\sum_{j \in \mathcal{J}} \sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j(t)} \upsilon_j(t)\ \alpha_{xy}\ W_{xyj}(t) \right) dt}{\int_{t_1}^{t_2} \left(\sum_{j \in \mathcal{J}} \sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j(t)} \upsilon_j(t)\ \alpha_{xy} \right) dt}$$

W modelu ex ante rozpatrujemy ze względu na czas tylko jeden typ kryterium oceniające system za określony plan działania.

Dla modelu ex ante wartościowanie określimy następująco:

$$\upsilon_j = \begin{cases} \sum\limits_{n \in \bigcup\limits_{j' \in \Gamma_R(j)} \mathbb{N}_{j'}^{P}} c(n) & \text{dla } j \in \mathcal{J}_o \\ \sum\limits_{n \in \mathbb{N}_j^{P}} c(n) & \text{dla } j \in \mathcal{J}_w \end{cases}$$

Wartościowanie dla elementów wykonawczych uzależniamy od zbioru obiektów zleconych do rozpoznania przez element j:

$$\mathbb{N}_j^{P} = \left\{ n \in \mathbb{N} : \langle j,n \rangle \in \mathbb{Z}_j^{v}(q) \right\}.$$

Dla elementów organizacyjnych watościowanie uzależniamy od zbioru obiektów nieprzyjaciela zawartych w planie rozpoznania i przydzielonych do rozpoznania podległym elementom.

Postać odpowiednich kryteriów oceny efektywności będzie następująca:

- za określone procesy i własności

$$K_{xy} = \frac{\sum\limits_{j \in J \wedge \langle x,y \rangle \in \chi_j} \upsilon_j W_{xyj}}{\sum\limits_{j \in J \wedge \langle x,y \rangle \in \chi_j} \upsilon_j}$$

- za wybrane procesy

$$K_x = \frac{\sum\limits_{j \in J} \sum\limits_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \upsilon_j \alpha_{xy} W_{xyj}}{\sum\limits_{j \in J} \sum\limits_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \upsilon_j \alpha_{xy}},$$

- globalne

$$K = \frac{\sum\limits_{j \in J} \sum\limits_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \upsilon_j \alpha_{xy} W_{xyj}}{\sum\limits_{j \in J} \sum\limits_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \upsilon_j \alpha_{xy}}$$

5.4. Efektywność rodzajów rozpoznania

W systemie rozpoznania istnieje pojęcie rodzaj rozpoznania. Wynika ono z jego podziału pod względem stosowanych środków i metod rozpoznania. Zazwyczaj wyróżnia się rozpoznanie ogólnowojskowe, agenturalne, specjalne, radioelektroniczne, lotnicze, kosmiczne, artyleryjskie, chemiczne.

Rodzaj rozpoznania jest najczęściej atrybutem jednostki wojskowej lub komórki organizacyjnej posiadającej w miarę jednolity typ sprzętu lub działającej w określony,

specyficzny sposób. Jednak nie wszystkim jednostkom organizacyjnym można przypisać taki atrybut.

Komórkom rozpoznawczym sztabów ZT/ZO podlegają jednostki i komórki sztabowe reprezentujące różne rodzaje rozpoznania.

Istnieje potrzeba określania i porównywania efektywności systemu rozpoznania z uwzględnieniem jego podziału na rodzaje rozpoznania.

Jeżeli elementom systemu nadamy atrybuty rodzajów rozpoznania:

$$\mathcal{H}: \mathcal{D} \longrightarrow \mathbb{R}$$

to możemy podzielić system na rozłączne podsystemy, których grafy mogą reprezentować drzewa lub rodzinę drzew.

W takim przypadku dla każdego podsystemu, reprezentującego rodzaj rozpoznania, metoda obliczeń będzie taka sama jak dla systemu rozpoznania, tak jak to proponujemy w punkcie 5.2.

Taką metodę proponujemy w modelu ex ante oceny efektywności systemu rozpoznania. Zalecamy ją również w modelu ex post ze względu na prostotę i jednoznaczność obliczeń.

Jeżeli jednak nie chcemy lub nie potrafimy nadać elementom systemu atrybutu rodzaju rozpoznania, to albo musimy zrezygnować z oceny efektywności rodzajów rozpoznania, albo zbudować wskaźniki i kryteria oceny efektywności na podstawie innych danych, o ile takie istnieją.

W modelu systemu ex post wskaźniki, wykorzystywane do oceny efektywności działania poszczególnych rodzajów rozpoznania, mogą być budowane w oparciu o parametry zawarte

w meldunkach rozpoznawczych.

Wynika to z tego, że w przyjętym modelu informacje o rodzajach rozpoznania zawarte są tylko w meldunkach rozpoznawczych, natomiast nie ma ich w pozostałych danych.

Uwzględniając to możemy zdefiniować wskaźniki dokładności i terminowości zdobywania.

Metoda obliczania wskaźników będzie taka sama jak dla elementów systemu rozpoznania.

Przyjmując wcześniej wprowadzone oznaczenia możemy kolejno konstruować wskaźniki i kryteria oceny efektywności rodzajów rozpoznania.

Wskaźnik dokładności zdobywania informacji przez rodzaj rozpoznania r:

$$W_{zdr}(t) = \vartheta\left(\left[w_{zdm}(t) \right]_{\overline{\overline{\mathbb{M}_r^v(t)}}} \right)$$

gdzie:

w_{zdm} - wskaźnik dokładności zdobywania dla meldunku m;

$m = \langle j,r,n,H^v,t^v,t^d \rangle$ - meldunek j-tego elementu r-tego rodzaju rozpoznania o n-tym obiekcie rozpoznanym w chwili t^v;

$$\mathbb{M}_r^v(t) = \left\{ \langle j,r,n,H^v,t^v,t^d \rangle \in \bigcup_{j \in \mathbb{J}} \mathbb{M}_j^v(t) \right\}$$

- zbiór aktualnych, zgodnych z planem, meldunków od rodzaju rozpoznania r;

ϑ - funkcja wyznaczania wskaźnika własności;

Wskaźnik terminowości zdobywania informacji przez rodzaj rozpoznania r:

$$W_{ztr}(t) = g\left(\left[w_{ztm}(t)\right]_{\mathbb{M}_r^v(t)}\right)$$

gdzie:

w_{ztm} - wskaźnik terminowości zdobywania dla meldunku $m \in \mathbb{M}_r^v(t)$.

Kryterium chwilowej oceny efektywności rodzaju rozpoznania r ze wzgledu własności procesów działania:

$$K_{xyr}(t) = W_{xyr}(t)$$

Kryterium chwilowej oceny efektywności rodzaju rozpoznania r ze względu na procesy działania:

$$K_{zr}(t) = \frac{\alpha_{zd} W_{zdr}(t) + \alpha_{zt} W_{ztr}(t)}{\alpha_{zd} + \alpha_{zt}}$$ za proces zdobywania

Kryterium chwilowej oceny efektywności rodzaju rozpoznania r:

$$K_r(t) = \frac{\alpha_{zd} W_{zdr}(t) + \alpha_{zt} W_{ztr}(t) + \alpha_{dt} W_{dtr}(t)}{\alpha_{zd} + \alpha_{zt} + \alpha_{dt}}$$

Kryterium oceny efektywności rodzaju rozpoznania r ze względu na procesy i własności działania za przedział czasu:

$$K_{xyr}(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{K_{xyr}(t)}{t_2 - t_1}\, dt$$

Kryterium oceny efektywności rodzaju rozpoznania r ze względu na procesy działania za przedział czasu:

$$K_{xr}(t_1,t_2)=\int_{t_1}^{t_2}\frac{K_{xr}(t)}{t_2-t_1}dt$$

Kryterium oceny efektywności rodzaju rozpoznania r za przedział czasu:

$$K_r(t_1,t_2)=\int_{t_1}^{t_2}\frac{K_r(t)}{t_2-t_1}dt$$

W modelu systemu ex ante wskaźniki, wykorzystywane do oceny efektywności działania poszczególnych typów elementów rozpoznawczych, mogą być budowane w oparciu o dane zawarte w parametrach opisujących możliwości elementów systemu oraz opisujących obiekty nieprzyjaciela.

Uwzględniając to, możemy zdefiniować wskaźniki dokładności, celowości i terminowości zdobywania oraz terminowość dystrybucji informacji rozpoznawczych.

Metoda obliczania wskaźników będzie taka sama jak dla pojedynczych elementów systemu rozpoznania.

Przyjmując wcześniej wprowadzone oznaczenia możemy kolejno konstruować wskaźniki i kryteria oceny efektywności typów elementów rozpoznawczych.

Oznaczenia:

$\mathbb{R}$ - zbiór wyróżnianych typów elementów rozpoznawczych w danym systemie;

$\mathcal{H}:\mathcal{J} \longrightarrow \mathbb{R}$ - relacja reprezentująca klasyfikację elementów systemu na typy środków rozpoznania;

$\mathbb{N}^p_r$ - zbiór obiektów zleconych do rozpoznawania elementom typu r:

$$\mathbb{N}^p_r = \left\{ n \in \bigcup_{j \in \mathcal{J}} \mathbb{N}^p_j : \mathcal{H}(j) = r \right\};$$

$$\mathbb{N}^p_j = \left\{ n \in \mathbb{N} : \langle j,n \rangle \in \mathbb{Z}^v_j \right\};$$

Wskaźnik dokładności zdobywania informacji przez elementy rozpoznawcze typu r:

$$W_{zdr} = \mathcal{g}\left(\left[w_{zdr}(n) \right]_{\mathbb{N}^p_r} \right)$$

gdzie:

$w_{zdr}(n)$ - wskaźnik dokładności zdobywania informacji o n-tym obiekcie nieprzyjaciela;

$\mathcal{g}$ - funkcja wyznaczania wskaźnika własności.

Wskaźnik terminowości zdobywania informacji przez elementy rozpoznawcze typu r:

$$W_{ztr} = \mathcal{g}\left(\left[w_{ztr}(n) \right]_{\mathbb{N}^p_r} \right)$$

gdzie:

$w_{ztr}(n)$ - wskaźnik terminowości zdobywania informacji o n-tym obiekcie nieprzyjaciela.

Wskaźnik celowości zdobywania informacji przez elementy rozpoznawcze typu r:

$$W_{zcr} = w_c\left(\sum_{n \in \mathbb{N}^p_r} c(n), \sum_{n \in \mathbb{N}^v_r} c(n) \right)$$

gdzie:

$\mathbb{N}^v_r$ - zbiór obiektów rozpoznanych przez elementy typu r:

$$\mathbb{N}_r^v = \left\{ n \in \mathbb{N}_r^p : w_{ztr}(n) > 0 \wedge w_{zdr}(n) > 0 \right\};$$

w_c - funkcja oceny celowości.

Kryterium oceny efektywności elementów rozpoznawczych typu r ze wzgledu własności charakteryzujące procesy działania:

$$K_{xyr} = W_{xyr}.$$

Kryterium oceny efektywności elementów rozpoznawczych typu r ze względu na procesy działania:

$$K_{zr} = \frac{\alpha_{zd} W_{zdr} + \alpha_{zt} W_{ztr} + \alpha_{zc} W_{zcr}}{\alpha_{zd} + \alpha_{zt} + \alpha_{zc}}$$ za proces zdobywania.

Kryterium oceny efektywności elementów rozpoznawczych typu r:

$$K_r = \frac{\alpha_{zd} W_{zdr} + \alpha_{zt} W_{ztr} + \alpha_{zt} W_{ztr}}{\alpha_{zd} + \alpha_{zt} + \alpha_{zt}} = K_{zr}$$

6. MIARA EFEKTYWNOŚCI ORAZ JEJ POSTAĆ

(A.Grochalski, L.Kwiatek)

W poprzednich punktach opisywanego rozdziału dokonany został wybór metod określania wskaźników i kryteriów oceny efektywności oraz zostały zdefiniowane postacie poszczególnych wskaźników bez określania konkretnej miary ich wartości. Istnieje więc potrzeba jasnego i dogodnego do obliczeń przedstawiania wartości poszczególnych wskaźników i kryteriów efektywności.

Wyrażenie wartości kryteriów, reprezentujących różne dziedziny działania systemu rozpoznania, sprowadzać się będzie do umownego ustalenia liczbowej interpretacji wyrażającej różne stany (graniczne lub pośrednie) funkcjonowania systemu.

W celu uzyskania powszechnie jednoznacznej interpretacji poszczególnych wskaźników i kryterów efektywności, zdecydowaliśmy się na wyrażenie ich wartości za pomocą ogólnie przyjętych i umownie uznawanych wartości liczbowych.

Przyjmujemy następujące założenia:

1. stan doskonałości wyraża wartość liczbowa 1;
2. stan niedoskonałości wyraża wartość liczbowa zero ;
3. stany pośrednie wyrażone są wartościami liczb rzeczywistych z przedziału (0,1);
4. skala wartości jest niemianowana.

Założenia pozwalają na sumowanie wskaźników, parametrów wyrażających rożne charakterystyki działania systemu, ich porównawczą analizę oraz algebraiczną syntezę.

W celu sprowadzenia wartości poszczególnych paramatrów pośrednich, wskaźników własności i działania oraz kryteriów efektywności określonych w poprzednich punktach niniejszego rozdziału do przyjętej jednolitej skali <0,1> należy:

1. nadać wartość równą 1 wszystkim maksymalnym wartościom jakie mogą uzyskać parametry, wskaźniki, kryteria;
2. nadać wartościom minimalnym parametrów wskaźników i kryteriów wartość równą zero "0";
3. dokonać standaryzacji parametrów, wskaźników, kryteriów do przyjętego przedziału liczbowego w oparciu o następujący wzór:

$$X^s_{rz} = \frac{X_{rz} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

gdzie:

X^s_{rz} - wartość zmierzona, wyliczona parametru po standaryzacji,

X_{min} - wartość minimalna jaką może uzyskiwać parametr,

X_{max} - wartość maksymalna jaką może uzyskać parametr.

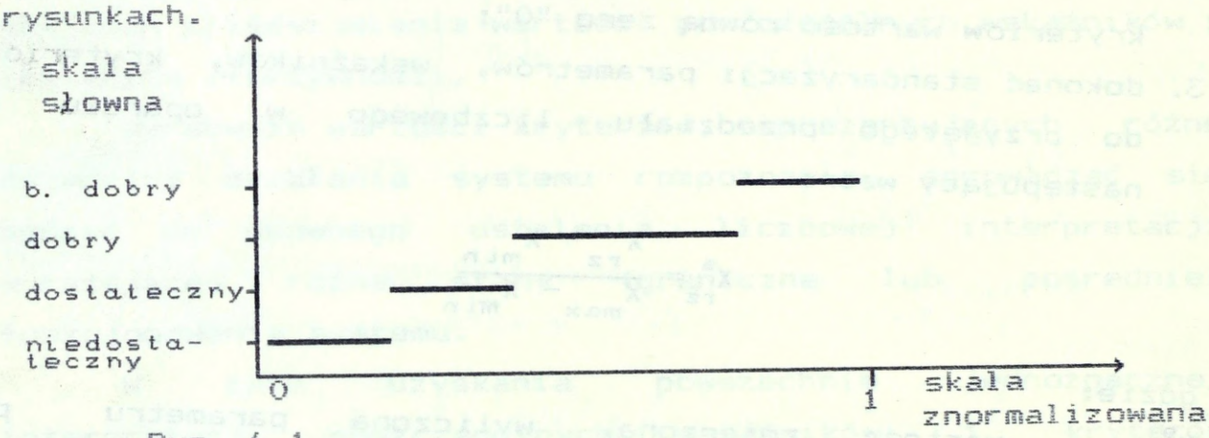
Wartości danych stanowiących oceny cząstkowe i uogólnione badanych elementów, podsystemów systemu rozpoznania będą również zawierać się w przedziale liczbowym <0,1> i mogą być przedstawiane w postaci tabel, wykresów dokumentujących lub prognozujących działanie systemu rozpoznania i jego elementów.

Tradycyjne systemy ocen oparte są zazwyczaj o skalę dyskretną, często wyliczeniową, np:

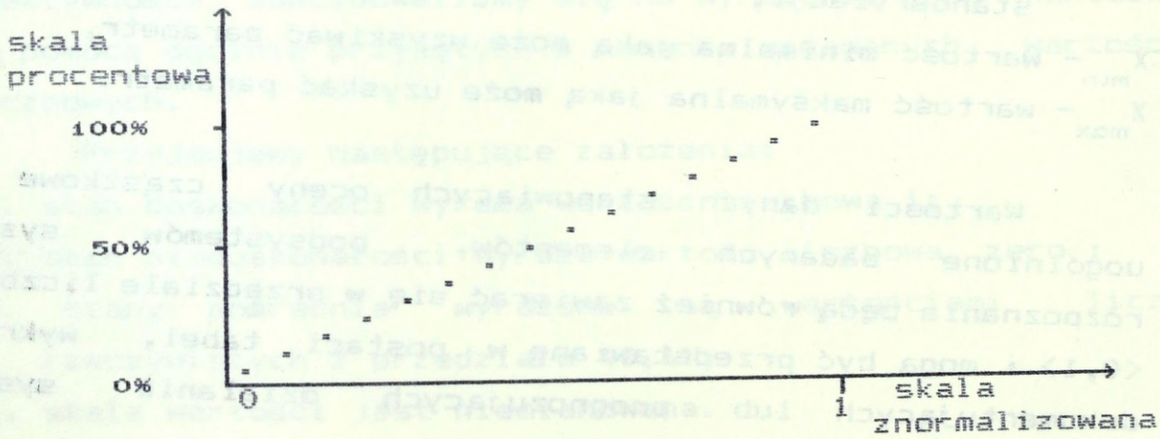
- ocena słowna (niedostateczny, dostateczny, dobry, bardzo

dobry);
- ocena szkolna cyfrowa (2, 2+, 3-, 4+, 5);
- ocena punktowa (0,1,2,3,4,...,10 lub 1,2,...,100);
- ocena procentowa (0% - 100%);
- ocena binarna (zły,dobry).

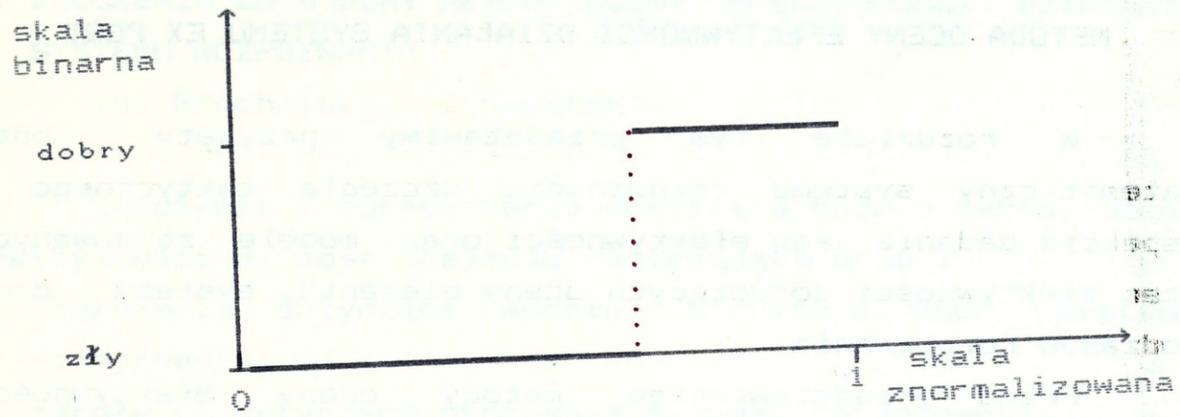
Z przyjętej skali <0,1> można przejść na każdy z nich określając odpowiednią funkcję przeskalowania. Przykładowe wykresy funkcji przeskalowania przedstawiono na poniższych rysunkach.



Rys. 6.1



Rys. 6.2



Rys. 6.3

Trudność skonstruowania funkcji przeskalowania polega na tym, by uzyskiwane w tej skali oceny nie odbiegały zasadniczo od ocen dokonywanych dotychczas, subiektywnie, metodami tradycyjnymi.

W innym przypadku wyniki oceny efektywności nie będą akceptowane. Ponieważ istnieją problemy z określeniem funkcji przeskalowania, która akceptowana byłaby przez wszystkich zainteresowanych oceną efektywności systemu rozpoznania będziemy, posługiwali się wyłącznie znormalizowaną skalą <0,1>.

W celu właściwego określenia funkcji przeskalowania należy:

- eksperymentalnie zbadać rozrzut ocen efektywności;
- metodą ekspertów ustalić strategię premiowania.

ROZDZIAL II
METODA OCENY EFEKTYWNOŚCI DZIAŁANIA SYSTEMU EX POST

W rozdziale tym przedstawimy przyjęty model matematyczny systemu rozpoznania szczebla taktycznego w aspekcie badania jego efektywności oraz modele zbudowanych ocen efektywności dotyczących oceny elementu, systemu oraz rodzajów rozpoznania.

Przed przedstawieniem metody oceny efektywności konieczne jest przyjęcie pewnych założeń ukierunkowujących oraz ograniczających zakres ocen, a także precyzujących pojęcia stosowne w poprzednich rozdziałach, które dotyczyły w zasadzie dowolnego systemu rozpoznania ogólnowojskowego. W kolejnych punktach rozdziału sprecyzujemy założenia i ograniczenia, a następnie przedstawimy postacie matematyczne poszczególnych wskaźników i kryteriów dotyczących oceny efektywności działania elementów, systemu i rodzajów rozpoznania.

Podsumowaniem opisanej metody oceny będzie przedstawienie możliwości zastosowania skonstruowanej przez nas metody. Pewne elementy tej metody były praktycznie wykorzystywane do badania efektywności systemów rozpoznania w czasie ćwiczeń KLON-80, KLON-81, RUBIN-81 oprogramowanej jako SI pod kryptonimem KULA-5 na komputery serii ODRA 1300.

1. ZAŁOŻENIA DO BUDOWY METODY OCENY EFEKTYWNOŚCI DZIAŁANIA SYSTEMU ROZPOZNANIA.

(A. Grochalski, L. Kwiatek)

Założenia i ograniczenia dotyczące budowy metody oceny efektywności ex post obejmują następujące grupy:

1. założenia dotyczące modelu strukturalnego systemu rozpoznania;
2. założenia dotyczące otoczenia systemu rozpoznania;
3. założenia dotyczące parametrów, wskaźników i kryteriów zastosowanych w budowanej metodzie oceny efektywności.

1.1. Założenia na model systemu rozpoznania

W naszej rozprawie przedmiotem modelowania jest system rozpoznania szczebla taktycznego, w którym wyróżniliśmy dwa rodzaje elementów, elementy organizacyjne oraz wykonawcze.

W rozpatrywanym systemie istnieje tylko jeden element organizacyjny, zaś elementy wykonawcze mogą sobą reprezentować kilka rodzajów rozpoznania. Przyjmujemy więc, jednoszczeblową strukturę organizacyjną systemu rozpoznania o skończonej liczbie elementów wykonawczych i jednym wyróżnianym elemencie organizacyjnym. Ponadto zakładamy, że przyjęta w chwili rozpoczęcia badań T^p struktura systemu rozpoznania jest w całym przedziale czasu $\mathbb{T}$ strukturą niezmienną.

Elementy rozpoznawcze podzielone są na zbiory:

$$\mathcal{J}^o = \{j_o\}$$

$$\mathcal{J}^w = \Gamma_R(j_o)$$

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}^w \cup \mathcal{J}^o$$

1.2. Założenia na otoczenie systemu rozpoznania

Założenia przyjęte w tym punkcie dotyczyć będą norm i wymagań regulujących realizowane przez system procesy działania oraz obiektów nieprzyjaciela wynikających z przyjętej na daną sytuację oceny nieprzyjaciela. Każdy obiekt nieprzyjaciela opisany jest parametrami stałymi. Na podstawie zajmowaneogo miejsca w ugrupowaniu i przynależności do konkretnej klasy obiektów jest wyznaczona jego waga. W metodzie oceny nie uwzględniamy warunków terenowych i meteorologicznych w jakich działał system.

Przyjmujemy następujące założenia odnośnie obiektów nieprzyjaciela będących przedmiotem zainteresowania systemu rozpoznania:

1. zbiór obiektów nieprzyjaciela na daną sytuację (jeden plan rozpoznania) jest niezmienny, skończony i przeliczalny;
2. każdy obiekt opisany jest zmiennymi i stałymi parametrami, na podstawie których wyznaczana jest jego waga.

W chwili czasu $t \in \mathbb{T}$ są określone następujące zbiory danych dotyczące otoczenia zewnętrznego systemu:

$\mathbb{N}(t)$ - zbiór obiektów występujących w danej sytuacji bojowej określonych trójką $n = \langle k, H^{a}(t), \Delta H \rangle$;

$\mathbb{K}$ - zbiór klas ważności obiektów.

Badany system rozpoznania to system szczebla taktycznego. W związku z tym w normach działania będzie uwzględniana jedna strefa odpowiedzialności, strefa ogniowego oddziaływania. Zbiór $\mathbb{S}$ jest więc zbiorem jednoelementowym i w dalszej części dla uproszczenia zapisu nie będziemy wyróżniali stref przyjmując, iż wszystkie używane normy odnoszą się do strefy ogniowego oddziaływania ($a: \mathbb{K} \to \mathbb{R}$).

1.3. Założenia na parametry, wskaźniki, kryteria

W rozdziale I Części II rozprawy określiliśmy zależności na wyznaczanie poszczególnych wskaźników własności i wskaźników działania. Nie podaliśmy jednak metod tworzenia wskaźników własności i wskaźników działania. Przyjmujemy ogólna zasadę odnośnie postaci funkcji wyrażających poszczególne wskaźniki i kryteria:
przyjmowane formuły powinny być formułami prostymi, szybkimi w obliczeniach, powszechnie stosowanymi oraz logicznie uzasadnionymi.

Ponieważ przyjęliśmy normalizację wartości wskaźników do przedziału liczbowego <0,1>, funkcje oceny wykonania zadań w systemie rozpoznania będą spełniać następujące ograniczenia:

- funkcja oceny aktywności

$$w_a(\overline{\overline{\mathbb{N}}}^p, \overline{\overline{\mathbb{N}}}^d) = 0 \qquad \text{dla} \quad \overline{\overline{\mathbb{N}}}^d = 0$$

$$w_a(\overline{\overline{\mathbb{N}}}^p, \overline{\overline{\mathbb{N}}}^d) = 1 \qquad \text{dla} \quad \overline{\overline{\mathbb{N}}}^d \geqslant 2\overline{\overline{\mathbb{N}}}^p$$

$$w_a(\overline{\overline{\mathbb{N}}}^p, \overline{\overline{\mathbb{N}}}^d) \in (0,1) \qquad \text{dla} \quad \overline{\overline{\mathbb{N}}}^d \in (0, 2\overline{\overline{\mathbb{N}}}^p)$$

- funkcja oceny celowości zdobywania

$$w_{c1}(\overline{\overline{\mathbb{N}}}^p, \overline{\overline{\mathbb{N}}}^v) = 0 \qquad \text{dla} \quad \overline{\overline{\mathbb{N}}}^v = 0$$

$$w_{c1}(\overline{\overline{\mathbb{N}}}^p, \overline{\overline{\mathbb{N}}}^v) = 1 \qquad \text{dla} \quad \overline{\overline{\mathbb{N}}}^v \geqslant \overline{\overline{\mathbb{N}}}^p$$

$$w_{c1}(\overline{\overline{\mathbb{N}}}^p, \overline{\overline{\mathbb{N}}}^v) \in (0,1) \qquad \text{dla} \quad \overline{\overline{\mathbb{N}}}^v \in (0, \overline{\overline{\mathbb{N}}}^p)$$

- funkcja oceny celowości planowania

$w_{c2}(\overline{\overline{\mathbb{N}}}_k^o, \overline{\overline{\mathbb{N}}}_k^p, a_k) = 0$ dla $\overline{\overline{\mathbb{N}}}_k^p / \overline{\overline{\mathbb{N}}}_k^o = 0$

$w_{c2}(\overline{\overline{\mathbb{N}}}_k^o, \overline{\overline{\mathbb{N}}}_k^p, a_k) = 1$ dla $\overline{\overline{\mathbb{N}}}_k^p / \overline{\overline{\mathbb{N}}}_k^o \geqslant a_k$

$w_{c2}(\overline{\overline{\mathbb{N}}}_k^o, \overline{\overline{\mathbb{N}}}_k^p, a_k) \in (0,1)$ dla $\overline{\overline{\mathbb{N}}}_k^p / \overline{\overline{\mathbb{N}}}_k^o \in (0, a_k)$

- funkcja oceny dokładności

$w_d(L, \Delta L) = 0$ dla $L \geqslant \Delta L$

$w_d(L, \Delta L) = 1$ dla $L = 0$

$w_d(L, \Delta L) \in (0,1)$ dla $L \in (0, \Delta L)$

- funkcja oceny skrytości

$w_s(\beta, \alpha) = 0$ dla $\beta \geqslant \alpha$

$w_s(\beta, \alpha) = 1$ dla $\beta = 0$

$w_s(\beta, \alpha) \in (0,1)$ dla $\beta \in (0, \alpha)$

- funkcja oceny terminowości

$w_t(t^r, t^p, t^o, t) = 0$ dla $t \geqslant t^o$

$w_t(t^r, t^p, t^o, t) = 1$ dla $t \leqslant t^p$

$w_t(t^r, t^p, t^o, t) \in (0,1)$ dla $t \in (t^p, t^o)$

Z opisywanych w rozdziale I Części II metod tworzenia wskaźników do budowy wskaźników działania wybieramy metodę addytywnego wyrażania z wagami poszczególnych wskaźników własności równymi i wynoszącymi 1. Wynika to z tego, że:

- ograniczamy liczbę wskaźników do najistotniejszych;
- wybieramy metody obliczeń proste i szybkie.

Do wyznaczania wskaźników własności zastosujemy metodę średniej artmetycznej, przyjmując, że:
wskazniki w funkcji parametrów je opisujących są funkcjami liniowymi rosnącymi lub malejącymi o wartościach z przedziału liczbowego <0,1>.

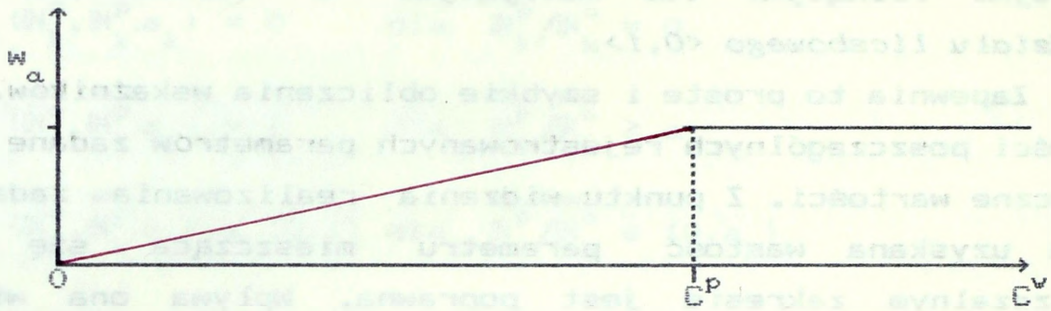
Zapewnia to proste i szybkie obliczenia wskaźników. Na wartości poszczególnych rejestrowanych parametrów zadane są graniczne wartości. Z punktu widzenia realizowania zadania każda uzyskana wartość parametru mieszcząca się w dopuszczalnym zakresie jest poprawna. Wpływa ona wtedy jedynie na jakość realizacji zadania. Z punktu widzenia oceny realizacji zadania ocena powinna rosnąć proporcjonalnie wraz ze zmniejszaniem się dopuszczalnego błędu.

Za przykład może posłużyć dokładność określania położenia obiektu w terenie. Użytkownicy informacji rozpoznawczych wymagają, aby położenie obiektów było określone z wymaganą dokładnością. Jeżeli błąd położenia nie przekroczy dopuszczalnej wartości, to taka informacja jest uważana za przydatną. W przeciwnym przypadku przyjmuje się, że informacja jest błędną. Ocena dokładności powinna rosnąć proporcjonalnie wraz ze zmniejszaniem się błędu w określeniu położenia obiektu.

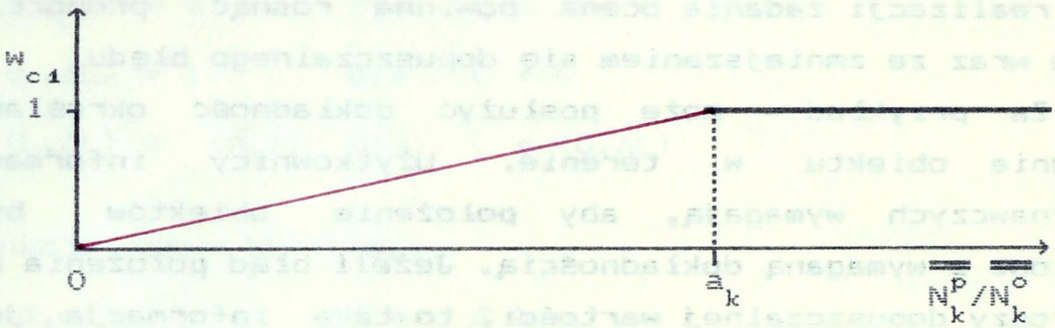
W przypadku braku wartości parametrów w oparciu o które wyznaczany jest wskaźnik (w części teoretycznej określany jako nieokreślony) jego wartość przyjmowana jest za zero.

Postacie graficzne przyjętych funkcji na wskaźniki własności są następujące:

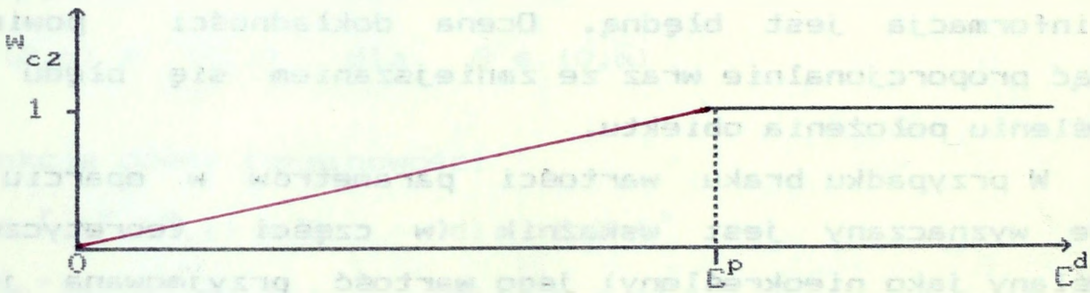
- funkcja oceny aktywności



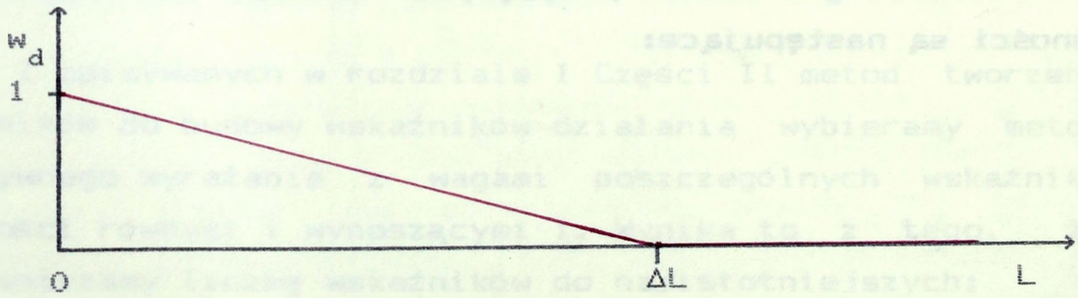
- funkcja oceny celowości planowania



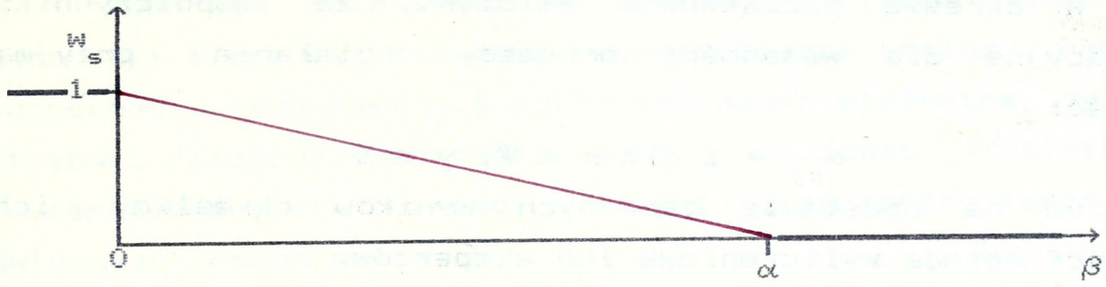
- funkcja oceny celowości zdobywania



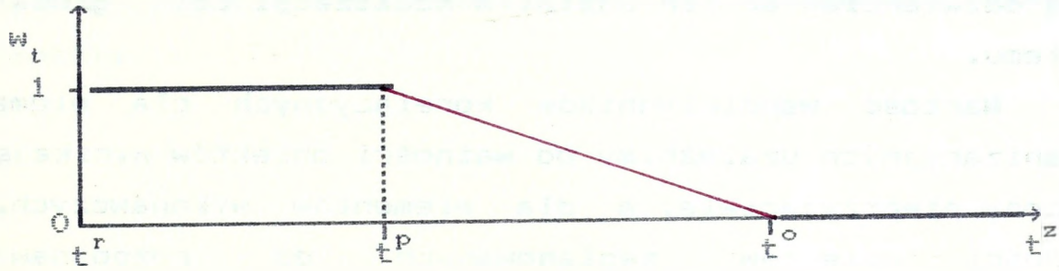
- funkcja oceny dokładności



- funkcja oceny skrytości



- funkcja oceny terminowości



Przedstawione funkcje stanowią podstawę budowy wskaźników własności, które opisane zostaną w następnym punkcie rozprawy.

Kryteria oceny efektywności systemu rozpoznania są oparte o zbiór wcześniej określonych wskaźników.

Jako kryterium główne przyjmujemy kryterium globalnej oceny efektywności systemu rozpoznania za okres prowadzenia badań. Jednocześnie rozpatrywać będziemy kryteria pomocnicze pozwolające na badanie efektywności części składowych systemu oraz wyróżnionych procesów i własności, a także na śledzenie jej zmian w czasie.

Kryteria zostały tak dobrane, żeby w sposób możliwie prosty odzwierciedlały istotę działania i cechy systemu rozpoznania w realizacji jego celów.

Dla kryteriów zastosowaliśmy wariant metody addytywnej

korygowanej normalizujący ich wartość do przedziału <0, 1>.

W okresie początkowym założymy, że współczynniki korelacyjne dla własności procesów działania przyjmą wartość:

$$\alpha_{xy} = 1 \text{ dla } x \in \mathcal{X},\ y \in \mathcal{Y}$$

po czym na podstawie zebranych wyników określimy ich wartości metodą wyliczeniową lub ekspertów.

Współczynniki korelacyjne dla elementów rozpoznawczych będą odzwierciedlać ich udział w realizacji celu globalnego systemu.

Wartość współczynników korelacyjnych dla elementów organizacyjnych uzależnimy od ważności obiektów wynikających z oceny nieprzyjaciela, a dla elementów wykonawczych, od ważności obiektów zaplanowanych do rozpoznawania. Wartościowanie to nazwiemy udziałem elementu w realizacji celów systemu rozpoznania.

Ponieważ funkcje określające wskaźniki są przedziałami liniowe określone dla całego okresu badań, a więc są całkowalne i obliczenia kryterium efektywności za przedział czasu można prowadzić przedziałami. W praktyce proponujemy zastosować próbkowanie wartości wskaźników w stałych odstępach czasu i obliczonie na ich podstawie wartości kryterium.

Przyjmiemy, że kryterium chwilowej oceny efektywności elementu za wybrane procesy i własności równoważne jest odpowiadającemu mu wskaźnikowi:

$$K_{xyj}(t) = W_{xyj}(t)$$

Ponieważ w modelu przyjęliśmy jednoszczeblową strukturę organizacyjną systemu rozpoznania, nie będziemy rozpatrywać i formułować kryteriów oceny efektywności

podsystemów.

Komórkom rozpoznawczym sztabów ZT/ZO podlegają jednostki i komórki sztabowe reprezentujące różne rodzaje rozpoznania. Ponieważ nie potrafimy nadać elementom systemu atrybutu rodzaju rozpoznania, musimy zbudować wskaźniki i kryteria oceny efektywności w oparciu o parametry zawarte w meldunkach rozpoznawczych.

Metoda obliczania wskaźników oraz kryteriów efektywności będzie taka sama jak dla elementów systemu rozpoznania.

2. PARAMETRY I WSKAŹNIKI EFEKTYWNOŚCI SYSTEMU

(L. Kwiatek)

W punkcie tym zostaną określone formuły obliczania poszczególnych wskaźników wykorzystywanych do dokonywania oceny efektywności systemu rozpoznania szczebla taktycznego.

W modelowanym systemie rozpoznania zostały wyróżnione elementy wykonawcze oraz jeden element organizacyjny. Podział ten wynika z faktu, iż uwzględnienie każdej odrębności ocenianych elementów byłoby przedsięwzięciem bardzo trudnym i prawdopodobnie niecelowym. Ponadto wyróżniane są rodzaje rozpoznania, podlegające ocenie.

Działanienie systemu rozpoznania jest rozpatrywane w kolejnych cyklach pracy informacyjnej obejmujących daną sytuację bojową (planowanie rozpoznania i realizacja planu dla jednej, określonej oceny nieprzyjaciela).

Parametry rejestrujące działanie poszczególnych elementów będą pobierane z dokumentów wykonywanych w czasie działania systemu, jak również ze zbiorów danych dotyczących wojsk nieprzyjaciela zawarych w systemach informatycznych.

Parametry te, w oparciu o które wyznacza się wskaźniki, podzielimy na następujące grupy:

- opisujące obiekty;
- opisujące elementy systemu;
- opisujące działanie systemu;
- stanowiące normy;
- wyliczeniowe.

W dalszej części przedstawimy poszczególne grupy parametrów, a następnie wskaźniki uwzględnione w ocenie efektywności systemu rozpoznania.

2.1. Parametry

Parametry charakteryzujące poszczególne wskaźniki, w związku z ich charakterem i źródłem, zostały podzielone na pięć oddzielych grup.

Pierwsza z nich, parametry opisujące obiekt, dotyczy stałych i zmiennych parametrów mianujących obiekt i opisujących go w czasie i terenie. Parametry te są uzyskiwane ze zbiorów danych SI, np. z systemu MIKRORW, poprzez numery klasyfikacyjne obiektów występujące w dokumentach tworzonych w czasie działania systemu rozpoznania.

Druga grupa, parametry opisujące system rozpoznania, dotyczy liczby elementów wykonawczych oraz stanu sił i środków w kolejnych cyklach działania systemu.

Trzecia grupa parametrów dotyczy stawiania zadań i ich realizacji. Dane te czerpane są z dokumentów rejestrujących pracę w systemie rozpoznania.

Czwarta grupa, parametry stanowiące normy i wymagania regulujące działanie systemu rozpoznania, to normy czasowe na rozpoznanie określonych klas obiektów, normy na dokładność określania położenia obiektów w terenie, normy na rozpoznanie liczby obiektów określonych klas itd.

Piąta grupę stanowią parametry, które są wyliczane lub ustalane metodą ekspertów.

Na podstawie parametrów charakteryzujących działanie elementów systemu wyznaczane są poszczególne wskaźniki i kryteria oceniające działanie systemu rozpoznania. Przyjmując oznaczenia wprowadzone w rozdziale I rozprawy oraz założenia określone w punkcie 1 rozdziału II, parametry

możemy przedstawić w sposób następujący:

$\mathbb{N}(t)$ - zbiór obiektów nieprzyjaciela (obiekty wynikające ze struktury nieprzyjaciela znajdującego się w pasie rozpoznania);

$\Delta\mathbb{H}$ - wymiary obiektów;

$\mathbb{K}$ - zbiór klas ważności obiektów;

$\mathbb{J}$ - zbiór elementów systemu rozpoznania;

$\mathbb{R}$ - zbiór rodzajów rozpoznania występujących w badanym systemie;

$\mathbb{V}$ - zbiór danych o stanie sił i środków poszczególnych elementów wykonawczych systemu rozpoznania;

$\mathbb{T}$ - przedział czasu badania systemu;

a - procentowe normy na rozpoznanie obiektów poszczególnych klas ważności;

$\Delta L()$ - normy na dokładność określania położenia obiektów;

Δt^p - pożądany okres czasu na dotarcie informacji;

Δt^o - ostateczny okres czasu na dotarcie informacji;

c() - wagi obiektów nieprzyjaciela;

$\mathbb{M}(t)$ - zbiór wszystkich meldunków rozpoznawczych w badanym systemie w danej chwili;

$\mathbb{M}^a_j(t)$ - zbiór aktualnych meldunków elementu j

$$\mathbb{M}^a_j(t) = \Big\{ \langle j,r,n,H^v,t^v,t^d\rangle \in \mathbb{M}_j(t):$$

$$\langle j,r',n,H^{v'},t^{v'},t^{d'}\rangle \in \mathbb{M}_j(t) \wedge t^{v'} < t^v \wedge t-2\Delta t^v(n) < t^v \leq t \Big\};$$

$\mathbb{M}^v_j(t)$ - zbiór aktualnych meldunków o rozpoznanych obiektach zgodnie z planem dla elementu j:

$$\mathbb{M}^v_j(t) = \Big\{ \langle j,r,n,H^v,t^v,t^d\rangle \in \mathbb{M}^a_j(t):\ n \in \mathbb{N}^p_j(t) \Big\};$$

$\mathbb{M}^p_j(t)$ - pakiet meldunków od elementu j:

$$\mathbb{M}^p_j(t) = \Big\{ \langle j,r,n,H^v,t^v,t^d\rangle \in \mathbb{M}_j(t) : \langle j,r,n',H^{v'},t^{v'},t^{d'}\rangle \in \mathbb{M}_j(t) \wedge t^{d'} \leqslant t^d \leqslant t \Big\};$$

$\mathbb{N}^p_j(t)$ - zbiór obiektów zaplanowanych do rozpoznawania przez element j:

$$\mathbb{N}^p_j(t) = \Big\{ n \in \mathbb{N}(t) : \langle j,n\rangle \in \mathbb{Z}^v_j(q) \Big\};$$

$\mathbb{N}^v_j(t)$ - zbiór obiektów rozpoznanych przez element j:

$$\mathbb{N}^v_j(t) = \Big\{ n \in \mathbb{N}^p_j(t) : m = \langle j,r,n,H^v,t^v,t^d\rangle \in \mathbb{M}^a_j(t) \wedge w_{ztm} > 0 \wedge w_{zdm} > 0 \Big\}$$

$\mathbb{N}^d_j(t)$- zbiór obiektów dodatkowo rozpoznanych przez element j

$$\mathbb{N}^d_j(t) = \Big\{ n \in \mathbb{N}(t) \setminus \mathbb{N}^p_j(t) : m = \langle j,r,n,H^v,t^v,t^d\rangle \in \mathbb{M}^a_j(t) \wedge w_{ztm} > 0 \wedge w_{zdm} > 0 \Big\};$$

$\mathbb{N}^o_{j_o k}$ - zbiór obiektów klasy k zawartych w aktualnej ocenie:

$$\mathbb{N}^o_{j_o k}(t) = \Big\{ n = \langle k,H^a(t),\Delta H\rangle \in \mathbb{N}(t) : \langle n,s\rangle \in \Phi_{j_o}(t) \Big\};$$

$\mathbb{N}^p_{j_o k}(t)$- zbiór obiektów klasy k ujętych w planie rozpoznania wykonanym przez element j_o

$$\mathbb{N}^p_{j_o k}(t) = \Big\{ n \in \mathbb{N}^o_{j_o k}(t) : \langle j,n,H^p\rangle \in \mathbb{Z}_j(q_{j_o}(t)) \wedge j_o \in \Gamma^{-1}_{\mathbf{R}}(j) \Big\};$$

$\mathbb{Z}^p(t)$- zbiór zadań planowania;

$\mathbb{Z}^v(t)$- zbiór zadań rozpoznawczych.

Dysponując wartościami opisanych parametrów możliwe jest wyznaczanie wartości poszczególnych, wcześniej zdefiniowanych wskaźników w oparciu o wzory przedstawione w kolejnym podpunkcie.

2.2. Wskaźniki oceny efektywności

Wskaźniki efektywności podzielone zostały na wskaźniki własności i wskaźniki działania oceniające działanie systemu rozpoznania oraz rodzajów rozpoznania. Rodzaj rozpoznania nie jest oceniany tak jak element wykonawczy systemu, gdyż nie jest on wyodrębniony w badanym systemie jako oddzielny element, a jest jedynie jednym z parametrów opisujących meldunek rozpoznawczy.

Postacie poszczególnych wskaźników dotyczących realizacji zadań, w dowolnej chwili czasu, w oparciu o które konstruowane będą kryteria oceny elementów wykonawczych i organizacyjnych wyróżnionych w systemie rozpoznania są następujące:

- wskaźnik aktywności zdobywania

$$W_{zaj}(t) = \min\left\{\frac{C^d(t)}{C^p(t)}, 1\right\},$$

gdzie:

$C^d(t) = \sum_{n \in \mathbb{N}^d_j(t)} c(n)$ suma wag obiektów rozpoznanych ponadplanowo,

$C^p(t) = \sum_{n \in \mathbb{N}^p(t)} c(n)$ suma wag obiektów ujętych w planie dla elementu;

- wskaźnik celowości zdobywania

$$W_{zcj}(t) = \frac{C^w(t)}{C^p(t)}$$

gdzie:

$C^w(t) = \sum_{n \in \mathbb{N}^w_j(t)} c(n)$ suma wag obiektów rozpoznanych;

$C^p(t) = \sum_{n \in \mathbb{N}^p_j(t)} c(n)$ suma wag obiektów ujętych w planie j-tego elementu;

- wskaźnik dokładności zdobywania

$$W_{zdj}(t) = \frac{\sum_{m \in \mathbb{M}^v_j(t)} w_{zdm}(t)}{\underline{\underline{\mathbb{N}^p_j(t)}}},$$

gdzie:

$m = \langle j, r, n, H^v, t^v, t^d \rangle$, $n = \langle k, H^a(t), \Delta H \rangle$,

$w_{zdm}(t) = w_d(L(H^a(t^v), H^p), \Delta L(k))$,

$$w_d(L(H^a(t^v), H^p), \Delta L(k)) = \max\left\{1 - \frac{L(H^a(t^v), H^p)}{\Delta L(k)}, 0\right\};$$

- wskaźnik skrytości zdobywania

$$W_{zsj}(t) = \max\left\{\min\left\{1 - \frac{\beta_j(t)}{\alpha_j}, 1\right\}, 0\right\},$$

gdzie:

$v' = \langle j, t^{u'}, u' \rangle$, $v'' = \langle j, t^{u''}, u'' \rangle \in \mathbb{V}_j$ dwa kolejne meldunki o stanie sił i środków takie, że $t \in \langle t^{u'}, t^{u''})$,

$$\beta_j(t) = \frac{u'' - u'}{t^{u''} \quad t^{u'}};$$

- wskaźnik terminowości zdobywania

$$W_{ztj}(t) = \frac{\sum_{m \in \mathbb{M}^v_j(t)} w_{ztm}(t)}{\underline{\underline{\mathbb{N}^p_j(t)}}},$$

gdzie:

$$w_{ztm}(t) = w_t(t^g, t^v+\Delta t^v(n), t^v+2\Delta t^v(n), t) =$$

$$= \begin{cases} 0 & \text{dla } t < t^g \\ 1 & \text{dla } t \in \langle t^v, t^v+\Delta t^v(n)) \\ 1 - \dfrac{t - (t^v + \Delta t^v(n))}{\Delta t^v(n)} & \text{dla } t \in \langle t^v+\Delta t^v(n), t^v+2\Delta t^v(n)) \end{cases}$$

$m = \langle j, n, r, H^v.t^v, t^d \rangle$,

$j_o \in \Gamma_R^{-1}(j)$,

$q = \langle j_o, t^z, t^g, \mathbb{Z}^v \rangle$;

- wskaźnik celowości planowania

$$W_{pcj_o}(t) = \begin{cases} 0 & \text{dla } t \in \langle T^p, t^z) \\ W_{pcj_o}(t^z) & \text{dla } t \in \langle t^z, t^{z'}) \\ W_{pcj_o}(t^{z\sim}) & \text{dla } t \in \langle t^{z\sim}, T^k \rangle \end{cases}$$

gdzie:

$$W_{pcj_o}(t^z) = \frac{\sum\limits_{k \in \mathbb{K}} w_{pcj_o k}(t)}{\overline{\overline{\mathbb{K}}}}$$

$$w_{pcj_o k}(t) = \min \left\{ \frac{100 \; \overline{\overline{\mathbb{N}^p_{j_o k}(t)}}}{a_k \; \overline{\overline{\mathbb{N}^o_{j_o k}(t)}}}, 1 \right\},$$

$t^{z\sim}$ - czas zakończenia opracowywania ostatniego planu wykonanego w systemie.

● wskaźnik dokładności planowania

$$W_{pdj_o}(t) = \begin{cases} 0 & \text{dla } t \in \langle T^p, t^z) \\ W_{pdj_o}(t^z) & \text{dla } t \in \langle t^z, t^{z'}) \\ W_{pdj_o}(t^{z\sim}) & \text{dla } t \in \langle t^{z\sim}, T^k \rangle \end{cases}$$

gdzie:

$$W_{pdj_o}(t^z) = \frac{\sum_{z \in \mathbb{Z}^v} w_{pdz}(t)}{\overline{\overline{\mathbb{Z}^v}}},$$

$$w_{pdz}(t) = \min \left\{ 1 - \frac{L(H^a(t), H^p)}{\Delta L(n)}, 0 \right\},$$

$z = \langle j_o, n, H^p \rangle \in \mathbb{Z}^v(q)$ - zadanie rozpoznawcze elementu j_o wynikające z aktualnego planu rozpoznania dotyczące obiektu $n = \langle k, H^a(t), \Delta H \rangle$;

$L(H^a(t^z), H^p)$ - odległość dwóch punktów wyliczana na podstawie wzoru wyznaczania odległości między dwoma punktami na kuli ziemskiej

$\Delta L(n)$ - dopuszczalny błąd w określaniu położenia obiektu n podczas przewidywania jego położenia.

● wskaźnik terminowości planowania

$$W_{ptj_o}(t) = \begin{cases} 0 & \text{dla } t \in \langle T^p, t^z) \\ W_{ptj_o}(t^z) & \text{dla } t \in \langle t^z, t^{z'}) \\ \vdots & \\ W_{ptj_o}(t^{z\sim}) & \text{dla } t \in \langle t^{z\sim}, T^k \rangle \end{cases}$$

gdzie:

$$W_{ptj}(t^z) = w_t(t^r, t^p, t^o, t^z),$$

$$w_t(t^r, t^p, t^o, t^z) = \begin{cases} 0 & \text{dla } t^z < t^r \\ \min\left\{1, \max\left\{1 - \dfrac{t^z - t^p}{t^o - t^p}, 0\right\}\right\} & \end{cases}$$

- wskaźnik terminowości dystrybucji

$$W_{dtj}(t) = \begin{cases} 0 & \text{dla } \mathbb{M}^p_j(t) = \emptyset \\ \dfrac{\sum\limits_{m \in \mathbb{M}^p_j(t)} w_{dtm}(t)}{\overline{\overline{\mathbb{M}^p_j(t)}}} & \text{dla } \mathbb{M}^p_j(t) \neq \emptyset \end{cases}$$

gdzie:

$$w_{dtm}(t) = w_t(t^w, t^w + \Delta t^p, t^w + \Delta t^o, t^d) =$$

$$= \begin{cases} 1 & \text{dla } t^d \in \langle t^w, t^w + \Delta t^p) \\ 1 - \dfrac{t^d - t^w - \Delta t^p}{\Delta t^o - \Delta t^p} & \text{dla } t^d \in \langle t^w + \Delta t^p, t^w + \Delta t^o) \end{cases}$$

Wszystkie przedstawione wskaźniki dotyczą oceny efektywności elementów wykonawczych i organizacyjnych za wykonane zadania w chwili czasu $t \in \mathbb{T}$. Przyjmują one wartości znormalizowane z przedziału liczbowego $\langle 0,1 \rangle$ i są przedziałami liniowe oraz całkowalne.

3. KRYTERIA OCENY EFEKTYWNOŚCI SYSTEMU

(A. Grochalski)

Kryteria oceny efektywności systemu rozpoznania szczebla taktycznego zostały sformułowane w oparciu wskaźniki własności procesów działania, przy uwzględnieniu przyjętej miary efektywności i wcześniejszych założeń.

W modelowanym systemie rozpoznania zostały wyróżnione elementy wykonawcze oraz jeden element organizacyjny. Ponadto wyróżniane są rodzaje rozpoznania. Stąd wyróżnimy trzy grupy kryteriów oceny efektywności:

- elementu systemu rozpoznania,
- systemu rozpoznania,
- rodzajów rozpoznania.

Działanienie systemu rozpoznania jest charakteryzowane przez własności procesów działania. W celu ułatwienia analizy działania systemu wprowadziliśmy podgrupy kryteriów:

- kryteria za własności procesów działania,
- kryteria za procesy działania,
- kryteria globalne.

W modelu oceny ex post prowadzimy badanie efektywności dynamiki działań systemu uwzględniając jej zmiany w czasie. Określiliśmy trzy podgrupy kryteriów ze względu na czas:

- chwilowe,
- za przedział czasu,
- za cały okres badań (czyli przedział czasu od początku do końca ćwiczeń).

Za główne kryterium będziemy uważać globalne kryterium oceny efektywności systemu rozpoznania za okres badań. Pozostałe kryteria będą kryteriami pomocniczymi służącymi do analizy działania systemu. Pomimo określenia ich jako

pomocniczych odgrywają one dużą rolę, gdyż zawierają informacje niezbędne do zrozumienia krzałtowania się oceny finalnej systemu.

3.1. Kryteria efektywności elementu

Sformułujmy metody tworzenia kryteriów oceny efektywności elementu. W modelu ex post założyliśmy, że elementy organizacyjne i wykonawcze nie będą oceniane za jednakowe procesy i własności. Elementy organizacyjne będą oceniane za proces planowania, natomiast wykonawcze za procesy dystrybucji i zdobywania.

Wprowadziliśmy funkcję określającą zbiór własności procesów działania, za które oceniane są elementy w danym momencie czasu:

$$\chi_j(t) = \left\{ \langle x,y \rangle \in \mathcal{X} \times \mathcal{Y} : W_{xyj}(t) \in \mathbb{W}(t) \right\}$$

Założyliśmy, że w przypadku braku parametrów opisujących dany wskaźnik (w części teoretycznej określany jako nieokreślony) jego wartość przyjmowana jest za zero.

W związku z tym przyjmujemy następujący zapis:

$$\chi_j(t) = \chi_j = \left\{ \langle p,t \rangle, \langle p,d \rangle, \langle p,c \rangle \right\}$$

jeżeli $\Gamma_R(j) \neq \emptyset$ (element organizacyjny),

$$\chi_j(t) = \chi_j = \left\{ \langle d,t \rangle, \langle z,s \rangle, \langle z,a \rangle, \langle z,t \rangle, \langle z,d \rangle, \langle z,c \rangle \right\}$$

jeżeli $\Gamma_R(j) = \emptyset$ (element wykonawczy).

Wprowadziliśmy także dla $x \in \mathcal{X}$ i $y \in \mathcal{Y}$ współczynniki korelacji dla własności y procesu x – α_{xy}, które pozwalają na łączenie wskaźników za procesy działania i własności.

3.1.1. Kryteria chwilowej efektywności elementu

Kryterium chwilowej oceny efektywności elementu j za wybrane procesy i własności $\langle x,y\rangle \in \chi_i$ równoważne jest odpowiadającemu mu wskaźnikowi:

$$K_{xyj}(t) = W_{xyj}(t)$$

Kryterium chwilowej oceny efektywności elementu j za proces x jest określone następująco:

$$K_{xj}(t) = \frac{\sum_{\langle x,y\rangle \in \chi_j} \alpha_{xy} W_{xyj}(t)}{\sum_{\langle x,y\rangle \in \chi_j} \alpha_{xy}}$$

czyli dla elementów wykonawczych za proces zdobywania:

$$K_{zj}(t) = \frac{\alpha_{zs} W_{zsj}(t) + \alpha_{za} W_{zaj}(t) + \alpha_{zt} W_{ztj}(t) + \alpha_{zd} W_{zdj}(t) + \alpha_{zc} W_{zcj}(t)}{\alpha_{zs} + \alpha_{za} + \alpha_{zt} + \alpha_{zd} + \alpha_{zc}}$$

za proces dystrybucji:

$$K_{dj}(t) = \frac{\alpha_{dt} W_{dtj}(t)}{\alpha_{dt}},$$

a dla elementów organizacyjnych za proces planowania:

$$K_{pj}(t) = \frac{\alpha_{pt} W_{ptj}(t) + \alpha_{pd} W_{pdj}(t) + \alpha_{pc} W_{pcj}(t)}{\alpha_{pt} + \alpha_{pd} + \alpha_{pc}}$$

Globalne kryterium chwilowej oceny efektywności elementu j:

$$K_j(t)=\frac{\sum\limits_{\langle x,y\rangle\in\chi_j}\alpha_{xy}\,W_{xyj}(t)}{\sum\limits_{\langle x,y\rangle\in\chi_j}\alpha_{xy}}$$

czyli dla elementu wykonawczego:

$$K_j(t) =$$

$$= \frac{\alpha_{zs}W_{zsj}(t)+\alpha_{za}W_{zaj}(t)+\alpha_{zt}W_{ztj}(t)+\alpha_{zd}W_{zdj}(t)+\alpha_{zc}W_{zcj}(t)+\alpha_{dt}W_{dtj}(t)}{\alpha_{zs}+\alpha_{za}+\alpha_{zt}+\alpha_{zd}+\alpha_{zc}+\alpha_{dt}}$$

a dla elementu organizacyjnego:

$$K_j(t) = \frac{\alpha_{pt}W_{ptj}(t)+\alpha_{pd}W_{pdj}(t)+\alpha_{pc}W_{pcj}(t)}{\alpha_{pt}+\alpha_{pd}+\alpha_{pc}}$$

3.1.2. Kryteria efektywności elementu za przedział czasu

Kryterium oceny efektywności elementu j za własność y procesu x za przedział czasu $\langle t_1,t_2\rangle$:

$$K_{xyj}(t_1,t_2)=\int_{t_1}^{t_2}\frac{W_{xyj}(t)}{t_1-t_2}dt$$

Kryterium oceny efektywności elementu j za przedział czasu $\langle t_1, t_2 \rangle$ i proces działania x:

$$K_{xj}(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{K_{xj}(t)}{t_1 - t_2} dt,$$

czyli za proces:

- zdobywania

$$K_{zj}(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{K_{zj}(t)}{t_1 - t_2} dt ,$$

- dystrybucji

$$K_{dj}(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{K_{dj}(t)}{t_1 - t_2} dt ,$$

- planowania

$$K_{pj}(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{K_{pj}(t)}{t_1 - t_2} dt ,$$

Globalne kryterium oceny efektywności elementu j za przedział czasu $\langle t_1 , t_2 \rangle$ określimy jako:

$$K_j(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{K_j(t)}{t_1 - t_2} dt,$$

3.1.3. Kryteria efektywności elementu za okres badań

Kryterium oceny efektywności elementu j za własność y procesu x za okres badań $\langle T^p, T^k \rangle$:

$$K_{xyj} = \int_{T^p}^{T^k} \frac{W_{xyj}(t)}{T^k - T^p} dt$$

Kryterium oceny efektywności elementu j za proces działania x za okres badań $\langle T^p, T^k \rangle$:

$$K_{xj} = \int_{T^p}^{T^k} \frac{K_{xj}(t)}{T^k - T^p} dt,$$

Globalne kryterium oceny efektywności elementu j za okres badań $\langle T^p, T^k \rangle$:

$$K_j = \int_{T^p}^{T^k} \frac{K_j(t)}{T^k - T^p} dt,$$

3.2. Kryteria efektywności podsystemu

Założyliśmy, że przedmiotem badań efektywności będzie systemu rozpoznania szczebla taktycznego, w którym wyróżniamy jeden element organizacyjny i bezpośrednio mu podległe elementy wykonawcze. Przy tym założeniu nie jest celowe jego dzielenie na podsystemy funkcjonalne. Dlatego też nie będziemy formułowali kryteriów oceny efektywności podsystemów rozpoznania.

3.3. Kryteria efektywności systemu

Wartościowaniem nazwaliśmy udział elementu w realizacji celów systemu i określiliśmy następująco:

$$\upsilon_j(t) = \begin{cases} \sum\limits_{\langle n,s\rangle \in \Phi_j(t)} c(n(o)) & \text{dla } j \in \mathcal{J}^o \\ \sum\limits_{\langle j,n,H^p\rangle \in \mathbb{Z}^v_j(q_{j_o}(t))} c(n) & \text{dla } j \in \mathcal{J}^v \{j_o\} \in \Gamma^{-1}_R(j) \end{cases}$$

Łącznie z współczynnikami korelacji dla własności i procesów zastosujemy je w formułach kryteriów oceny efektywności badanego systemu rozpoznania.

3.3.1. Kryteria chwilowej efektywności systemu

Kryterium chwilowej oceny efektywności systemu rozpoznania za własność x procesu y:

$$K_{xy}(t) = \frac{\sum\limits_{j \in \mathcal{J} \wedge \langle x,y\rangle \in \chi_i} \upsilon_j(t)\, \alpha_{xy}\, W_{xyj}(t)}{\sum\limits_{j \in \mathcal{J} \wedge \langle x,y\rangle \in \chi_j} \upsilon_j(t)\, \alpha_{xy}}$$

Kryterium chwilowej oceny efektywności systemu rozpoznania za wybrane procesy:

$$K_x(t) = \frac{\sum\limits_{j \in \mathcal{J}} \sum\limits_{\langle x,y\rangle \in \chi_j} \upsilon_j(t)\, \alpha_{xy}\, W^j_{xyj}(t)}{\sum\limits_{j \in \mathcal{J}} \sum\limits_{\langle x,y\rangle \in \chi_j} \upsilon_j(t)\, \alpha_{xy}},$$

Globalnego kryterium chwilowej oceny efektywności systemu rozpoznania:

$$K(t)=\frac{\sum_{j\in J}\sum_{\langle x,y\rangle\in\chi_j} \upsilon_j(t)\ \alpha_{xy}\ W_{xyj}(t)}{\sum_{j\in J}\sum_{\langle x,y\rangle\in\chi_j} \upsilon_j(t)\ \alpha_{xy}}$$

3.3.2. Kryteria efektywności systemu za przedział czasu

Kryterium oceny efektywności systemu rozpoznania za własność x procesu y w przedziale czasu $\langle t_1,t_2\rangle$:

$$K_{xy}(t_1,t_2) = \frac{\int_{t_1}^{t_2}\left(\sum_{j\in J} \upsilon_j(t)\ W_{xyj}(t)\right)dt}{\int_{t_1}^{t_2}\left(\sum_{j\in J} \upsilon_j(t)\right)dt}$$

za proces x:

$$K_x(t_1,t_2) = \frac{\int_{t_1}^{t_2}\left(\sum_{j\in J}\sum_{\langle x,y\rangle\in\chi_j} \upsilon_j(t)\ \alpha_{xy}\ W_{xyj}(t)\right)dt}{\int_{t_1}^{t_2}\left(\sum_{j\in J}\sum_{\langle x,y\rangle\in\chi_j} \upsilon_j(t)\ \alpha_{xy}\right)dt}$$

i globalne kryterium efektywności systemu za przedział czasu:

$$K(t_1,t_2) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \left(\sum_{j\in J} \sum_{\langle x,y\rangle \in \chi_j} \upsilon_j(t)\ \alpha_{xy}\ W_{xyj}(t) \right) dt}{\int_{t_1}^{t_2} \left(\sum_{j\in J} \sum_{\langle x,y\rangle \in \chi_j} \upsilon_j(t)\ \alpha_{xy} \right) dt}$$

3.3.3. Kryteria efektywności systemu za okres badań

Kryterium oceny efektywności systemu rozpoznania za własność x procesu y w przedziale czasu $\langle T^p, T^k \rangle$:

$$K_{xy}(T^p,T^k) = \frac{\int_{T^p}^{T^k} \left(\sum_{j\in J} \upsilon_j(t)\ W_{xyj}(t) \right) dt}{\int_{T^p}^{T^k} \left(\sum_{j\in J} \upsilon_j(t) \right) dt}$$

za proces x:

$$K_x(T^p,T^k) = \frac{\int_{T^p}^{T^k} \left(\sum_{j\in J} \sum_{\langle x,y\rangle \in \chi_j} \upsilon_j(t)\ \alpha_{xy}\ W_{xyj}(t) \right) dt}{\int_{T^p}^{T^k} \left(\sum_{j\in J} \sum_{\langle x,y\rangle \in \chi_j} \upsilon_j(t)\ \alpha_{xy} \right) dt}$$

i globalne kryterium efektywności systemu:

$$K(T^p, T^k) = \frac{\int_{T^p}^{T^k} \left(\sum_{j \in \mathcal{J}} \sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \upsilon_j(t)\, \alpha_{xy}\, W_{xyj}(t) \right) dt}{\int_{T^p}^{T^k} \left(\sum_{j \in \mathcal{J}} \sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \upsilon_j(t)\, \alpha_{xy} \right) dt}$$

3.4. Kryteria efektywności rodzajów rozpoznania

Przedmiotem badań efektywności będzie systemu rozpoznania szczebla taktycznego, w którym wyróżniamy jeden element organizacyjny i bezpośrednio mu podległe elementy wykonawcze. Elementy wykonawcze nie muszą sobą reprezentować jednego rodzaju rozpoznania. Tak jest np. z batalionem rozpoznawczym, a także z rozpoznaniem pułków podległych dywizji. Dlatego nie możemy elementom systemu nadawać atrybutów rodzajów rozpoznania.

W modelu systemu ex post do oceny efektywności działania poszczególnych rodzajów rozpoznania wykorzystmy parametry zawarte w meldunkach rozpoznawczych, w których są zawarte informacje o rodzajach rozpoznania.

Zdefiniujemy wskaźniki dokładności i terminowości zdobywania oraz terminowość dystrybucji informacji rozpoznawczych.

3.4.1. Wskaźniki efektywności rodzajów rozpoznania

Wskaźnik dokładności zdobywania informacji przez rodzaj rozpoznania:

$$W_{zdr}(t)=\frac{\sum\limits_{m \in \mathbb{M}_r^w(t)} w_d\left(L(H^a(t),H^w),\Delta L(k)\right)}{\overline{\overline{\mathbb{M}_r^w(t)}}}$$

gdzie:

$m = \langle j,r,n,H^w,t^w,t^d\rangle$ - meldunek elementu j rodzaju rozpoznania r o obiekcie n rozpoznanym w chwili t^w;

$L(H^a(t),H^w)$ - odległość położenia autorskiego i podanego w meldunku m;

$\Delta L(k)$ - dopuszczalny błąd w określaniu położenia obiektu;

$\mathbb{M}_r^w(t)$ - zbiór aktualnych meldunków od rodzaju rozpoznania r i dotyczących obiektów zaplanowanych do rozpoznania;

Wskaźnik terminowości zdobywania informacji przez rodzaj rozpoznania:

$$W_{ztr}(t)=\frac{\sum\limits_{m \in \mathbb{M}_r^w(t)} w_t(t^g,t^w+\Delta t^w(n),t^w+2\Delta t^w(n),t)}{\overline{\overline{\mathbb{M}_r^w(t)}}}$$

gdzie

$m = \langle j,r,n,H^w,t^w,t^d\rangle$ - meldunek rozpoznawczy o obiekcie n,

$q = \langle j_o,t^g,t^w,\mathbb{Z}^w\rangle$ - plan działania opracowany przez element organizacyjny j_o,

t^g - czas gotowości do wykonania zadań rozpoznawczych,

t^w - czas rozpoznania obiektu,

$\Delta t^w(n)$ - wymagania czasowe na składanie meldunków o obiekcie n,

w_t - funkcja oceny terminowości.

Wskaźnik terminowości dystrybucji informacji przez rodzaj rozpoznania:

$$W_{dtr}(t) = \frac{\sum_{m \in \mathbb{M}_r^p(t)} w_t(t^w, t^w + \Delta t^p, t^w + \Delta t^o, t^d)}{\overline{\overline{\mathbb{M}_r^p(t)}}}$$

gdzie:

t^d - czas dotarcia meldunku m do adresata,

t^w - czas rozpoznania obiektu z meldunku m,

Δt^p - pożądany okres czasu na dotarcie informacji od chwili wykrycia obiektu,

Δt^o - ostateczny okres czasu na dotarcie informacji od chwili wykrycia obiektu,

w_t - funkcja oceny terminowości.

3.4.2. Kryteria chwilowej efektywności rodzajów rozpoznania

Kryterium chwilowej oceny efektywności rodzaju rozpoznania r dla własności y procesu działania x:

$$K_{xyr}(t) = W_{xyr}(t)$$

Kryterium chwilowej oceny efektywności rodzaju rozpoznania r ze względu na procesy działania:

$$K_{zr}(t) = \frac{\alpha_{zd} W_{zdr}(t) + \alpha_{zt} W_{ztr}(t)}{\alpha_{zd} + \alpha_{zt}}$$ za proces zdobywania

$$K_{dr}(t) = \frac{\alpha_{dt} W_{dtr}(t)}{\alpha_{dt}} = W_{dtr}(t)$$ za proces dystrybucji

Kryterium chwilowej oceny efektywności rodzaju rozpoznania r:

$$K_r(t) = \frac{\alpha_{zd} W_{zdr}(t) + \alpha_{zt} W_{ztr}(t) + \alpha_{dt} W_{dtr}(t)}{\alpha_{zd} + \alpha_{zt} + \alpha_{dt}}$$

3.4.3. Kryteria efektywności rodzajów rozpoznania za przedział czasu

Kryterium oceny efektywności rodzaju rozpoznania r dla własności y procesu działania x za przedział czasu $\langle t_1, t_2 \rangle$:

$$K_{xyr}(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{K_{xyr}(t)}{t_2 - t_1} dt,$$

dla procesu x:

$$K_{xr}(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{K_{xr}(t)}{t_2 - t_1} dt$$

Kryterium oceny efektywności rodzaju rozpoznania r za przedział czasu:

$$K_r(t_1,t_2)=\int_{t_1}^{t_2}\frac{K_r(t)}{t_2-t_1}dt$$

3.4.4. Kryteria efektywności rodzajów rozpoznania za okres badań

Kryterium oceny efektywności rodzaju rozpoznania r dla własności y procesu działania x za okres badań $\langle T^p,T^k\rangle$:

$$K_{xyr}=\int_{T^p}^{T^k}\frac{K_{xyr}(t)}{T^k-T^p}dt,$$

za proces x:

$$K_{xr}=\int_{T^p}^{T^k}\frac{K_{xr}(t)}{T^k-T^p}dt$$

Kryterium oceny efektywności rodzaju rozpoznania r za okres badań $\langle T^p,T^k\rangle$:

$$K_r=\int_{T^p}^{T^k}\frac{K_r(t)}{T^k-T^p}dt$$

4. ZASTOSOWANIE METODY OCENY EFEKTYWNOŚCI SYSTEMU

(A. Grochalski, L. Kwiatek)

W rozprawie opisujemy metody badania efektywności systemu rozpoznania szczebla taktycznego ex post i ex ante. Proponowana metoda badania efektywności ex post może być stosowana do ustalenia osiągniętej efektywności działania badanego systemu w określonym przedziale czasu i w określonych warunkach. Stanowi ona wielokryterialną i wieloskładnikową ocenę, której podstawą jest ocena działania elementów systemu za realizację jednego zadania w danym cyklu. Działanie systemu rozpoznania zostało podzielone na cykle pracy informacyjnej oraz opisane określonymi parametrami rejestrującymi kolejne stany realizacji zadań rozpoznawczych. Zarejestrowane wartości wybranych parametrów są podstawą opracowania ocen cząstkowych za spełnienie określonych własności rozpoznania i realizację określonych procesów działania w kolejnych cyklach pracy informacyjnej.

Opracowna metoda oceny efektywności systemu rozpoznania przeznaczona jest więc do:

1. dokonywania oceny elementu za wykonanie jednego zadania rozpoznawczego (ocena jednej informacji o danym obiekcie w jednym cyklu pracy informacyjnej);
2. parametryzowania działania systemu rozpoznania umożliwiającego tworzenie wielokryterialnej oceny efektywności tego systemu;
3. tworzenia pośrednich ocen działania systemu w ramach oceny spełniania określonych własności rozpoznania i

określonych procesów realizowanych przez system rozpoznania;

4. tworzenia ocen działania elementów i rodzajów rozpoznania systemu;
5. dokonywania ocen w ramach jednego cyklu pracy informacyjnej bez wpływu na następny cykl działania systemu rozpoznania.

Przeznaczenie modelu badania efektywności ex post uwarunkowane jest potrzebą ustalenia zgodności aktualnego stanu działania systemu z celem istnienia i funkcjonowania systemu rozpoznania. Oznacza to, że ocenę podporządkowuje się głównie temu, co wynika z potrzeb użytkowników, dla których system rozpoznania istnieje i funkcjonuje. Budowana metoda oceny efektywności przeznaczona jest więc do dokonywania dynamicznej oceny efektywności systemu rozpoznania w trakcie, a także po zakończeniu działań. Ma ona służyć do aktualizacji planów rozpoznania (wykorzystywana na bieżąco) oraz do oceny ich realizacji po zakończeniu działań.

Opracowana metoda oceny efektywności systemu rozpoznania ma za cel ustalenie stanu zdolności systemu do wykonywania zadań poprzez wykazanie:

- czy zadania zrealizowane przez poszczególne elementy, podsystemy i system rozpoznania wykonane zostały zgodnie z opracowanym planem działania;
- czy opracowany plan rozpoznania wynikał z zadań narzuconych przez wyższego przełożonego oraz potrzeb związanych z realizacją zadań bojowych;

- czy zdobyte i przekazane informacje rozpoznawcze były dokładne i wiarygodne oraz docierały do użytkowników w wymaganym czasie;
- czy wykonywane zadania były realizowane z zachowaniem skrytości działania.

Metoda może posłużyć również do badania działania poszczególnych elementów i podsystemów systemu rozpoznania oraz zbierania danych z różnych ćwiczeń. Na podstawie uzyskanych w ten sposób danych świadczących o działaniu poszczególnych elementów, podsystemów i systemów rozpoznania będzie możliwe prowadzenie wielostronnych analiz działania w zakresie zdobywania, przetwarzania i przekazywania informacji oraz planowania działań w różnych warunkach bojowych i meteorologicznych przy różnym stanie sił i środków.

ROZDZIAŁ III

METODA OCENY EFEKTYWNOŚCI DZIAŁANIA SYSTEMU EX ANTE

W rozdziale tym przedstawimy przyjęty model strukturalny systemu rozpoznania szczebla taktycznego w aspekcie badania jego efektywności ex ante oraz metody oceny efektywności elementów, systemu i typów elementów rozpoznawczych.

Przed przedstawieniem metody oceny efektywności konieczne jest przyjęcie pewnych założeń ukierunkowujących oraz ograniczających zakres ocen, a także precyzujących pojęcia stosowne w poprzednich rozdziałach, które dotyczyły w zasadzie dowolnego systemu rozpoznania ogólnowojskowego. W kolejnych punktach rozdziału sprecyzujemy założenia i ograniczenia, a następnie przedstawimy postacie matematyczne poszczególnych wskaźników i kryteriów oceny efektywności działania elementów i systemu rozpoznania.

Podsumowaniem opisanej metody oceny będzie przedstawienie możliwości zastosowania skonstruowanej przez nas metody.

1. ZAŁOŻENIA DO BUDOWY METODY OCENY EFEKTYWNOŚCI DZIAŁANIA SYSTEMU ROZPOZNANIA.

(A. Grochalski, L. Kwiatek)

Założenia i ograniczenia dotyczące budowy metody oceny efektywności ex ante obejmują w zasadzie trzy zasadnicze elementy, które należy określić, aby móc podać metodę oceny efektywności konkretnego systemu rozpoznania.

Są to następujące grupy:

1. Założenia dotyczące modelu strukturalnego systemu rozpoznania;
2. Założenia dotyczące otoczenia systemu rozpoznania;
3. Założenia dotyczące parametrów, wskaźników i kryteriów zastosowanych w budowanej metodzie oceny efektywności.

1.1. Założenia na model systemu rozpoznania

W naszej rozprawie przedmiotem modelowania jest system rozpoznania szczebla taktycznego, w którym wyróżniliśmy dwa rodzaje elementów, elementy organizacyjne oraz wykonawcze.

W rozpatrywanym systemie istnieje tylko jeden element organizacyjny, zaś elementy wykonawcze reprezentują sobą określony typ. Przyjmujemy więc, jednoszczeblową strukturę organizacyjną systemu rozpoznania o skończonej liczbie elementów wykonawczych i jednym wyróżnianym elemencie organizacyjnym. Ponadto zakładamy, że struktura systemu rozpoznania przyjęta w chwili rozpoczęcia badań nie zmienia się w trakcie realizacji założonego planu rozpoznania.

Przyjęte założenia na model struktury systemu rozpoznania możemy zapisać w sposób następujący:

1. $\mathcal{J}^{v} = \{j_o\}$; $\mathcal{H}(j_o) = r$
2. $\mathcal{J} = \mathcal{J}^{v} \cup \mathcal{J}^{o}$;
3. $j \in \Gamma_R(j_o)$;

gdzie:

$r \in \mathbb{R}$ - typ elementu rozpoznawczego.

1.2. Założenia na otoczenie systemu rozpoznania

Rozpatrywane przez nas otoczenie zewnętrzne, stanowią obiekty nieprzyjaciela wynikające z zadanego planu rozpoznania. Każdy obiekt nieprzyjaciela opisany jest parametrami. Na podstawie zajmowanego miejsca w ugrupowaniu i przynależności do konkretnej klasy obiektów wyznaczona jest jego waga. W metodzie oceny efektywności nie uwzględniamy warunków terenowych i meteorologicznych w jakich będzie realizował system założony plan.

Przyjmujemy następujące założenia odnośnie obiektów nieprzyjaciela będących przedmiotem zainteresowania systemu rozpoznania:

1. zbiór obiektów nieprzyjaciela na daną sytuację (jeden plan rozpoznania) jest niezmienny, skończony i przeliczalny;
2. każdy obiekt opisany jest zmiennymi i stałymi parametrami, na podstawie których wyznaczana jest jego waga.

W systemie dysponujemy następującymi zbiorami danych dotyczących otoczenia zewnętrznego systemu:

$\mathbb{N}$ - zbiór obiektów występujących w danej sytuacji bojowej;

$n = \langle k, H^{\alpha}, \Delta H \rangle$;

$\Delta H = \langle q, l \rangle$ wymiary obiektu;

$\mathbb{K}$ - zbiór klas ważności obiektów.

1.3. Założenia na parametry, wskaźniki, kryteria

W rozdziale I Części II rozprawy określiliśmy zależności na wyznaczanie poszczególnych wskaźników własności. Nie podaliśmy jednak konkretnych metod tworzenia wskaźników. Ogólna zasada jaką przyjmujemy odnośnie postaci funkcji wyrażających poszczególne wskaźniki i kryteria: *przyjmowane formuły powinny być formułami prostymi, szybkimi w obliczeniach, powszechnie stosowanymi oraz logicznie uzasadnionymi.*

Przyjęliśmy, że wartości wskaźników będą zawierały się w przedziale wartości $\langle 0, 1 \rangle$. Funkcje badania wykonania zadań w systemie rozpoznania winny więc spełniać ograniczenia:

- funkcja badania celowości zdobywania

$$w_c(\overline{\overline{\mathbb{N}^p}}, \overline{\overline{\mathbb{N}^w}}) = 0 \iff \overline{\overline{\mathbb{N}^w}} = 0$$

$$w_c(\overline{\overline{\mathbb{N}^p}}, \overline{\overline{\mathbb{N}^w}}) = 1 \iff \overline{\overline{\mathbb{N}^w}} = \overline{\overline{\mathbb{N}^p}}$$

$$w_c(\overline{\overline{\mathbb{N}^p}}, \overline{\overline{\mathbb{N}^w}}) \in (0, 1) \iff \overline{\overline{\mathbb{N}^w}} \in (0, \overline{\overline{\mathbb{N}^p}})$$

- funkcja badania dokładności

$w_d(L,\Delta L) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad L \geqslant \Delta L$

$w_d(L,\Delta L) = 1 \quad \Leftrightarrow \quad L = 0$

$w_d(L,\Delta L) \in (0,1) \quad \Leftrightarrow \quad L \in (0,\Delta L)$

- funkcja badania terminowości zdobywania

$w_t(\Delta t^w, 2\Delta t^w, \Delta\tau^w) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \Delta\tau^w > 2\Delta t^w$

$w_t(\Delta t^w, 2\Delta t^w, \Delta\tau^w) = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \Delta\tau^w < \Delta t^w$

$w_t(\Delta t^w, 2\Delta t^w, \Delta\tau^w) \in (0,1) \quad \Leftrightarrow \quad \Delta\tau^w \in \langle \Delta t^w, 2\Delta t^w \rangle$

- funkcja badania terminowości dystrybucji

$w_{dt}(\lambda,\xi) = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \lambda \leqslant \xi$

$w_{dt}(\lambda,\xi) \in (0,1) \quad \Leftrightarrow \quad \lambda > \xi$

Z opisywanych w rozdziale I Części II metod tworzenia wskaźników do budowy wskaźników działania wybieramy metodę addytywnego wyrażania z wagami poszczególnych wskaźników własności równymi i wynoszącymi 1.

Do wyznaczania wskaźników własności przyjmujemy metodę średniej artmetycznej. Dla funkcji określających wskaźniki własności przyjmujemy że:
wskazniki własności w funkcji parametrów je opisujących są funkcjami liniowymi rosnącymi lub malejącymi o wartościach z przedziału liczbowego <0,1>.

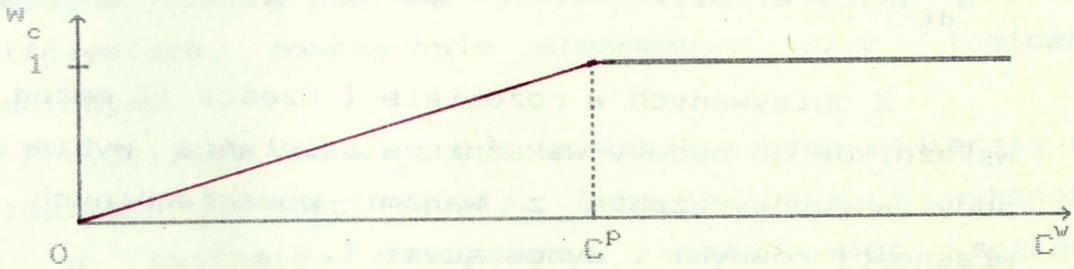
Uzasadnieniem tego jest fakt przyjęcia założenia o przyjmowaniu prostych i szybkich w obliczeniach formuł matematycznych, jak również to, że na wartości

poszczególnych rejestrowanych parametrów zadane są graniczne wartości i z punktu widzenia zrealizowania zadania każda uzyskana wartość parametru mieszcząca się w dopuszczalnym zakresie jest poprawna. Wpływa ona wtedy jedynie na jakość realizacji zadania. Z punktu widzenia oceny realizacji zadania ocena powinna posiadać proporcjonalny przyrost wraz ze zmniejszaniem się dopuszczalnego błędu.

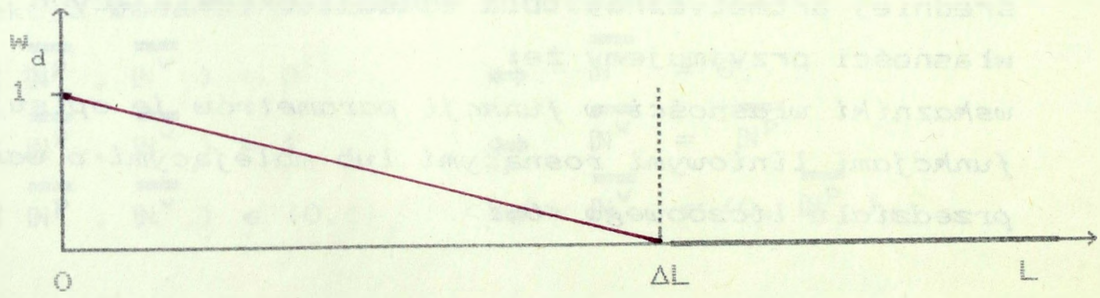
W przypadku braku parametrów opisujących dany wskaźnik (w części teoretycznej określany jako nieokreślony) jego wartość przyjmowana jest za zero.

Postacie graficzne przyjętych funkcji obliczania wskaźników elementarnych są następujące:

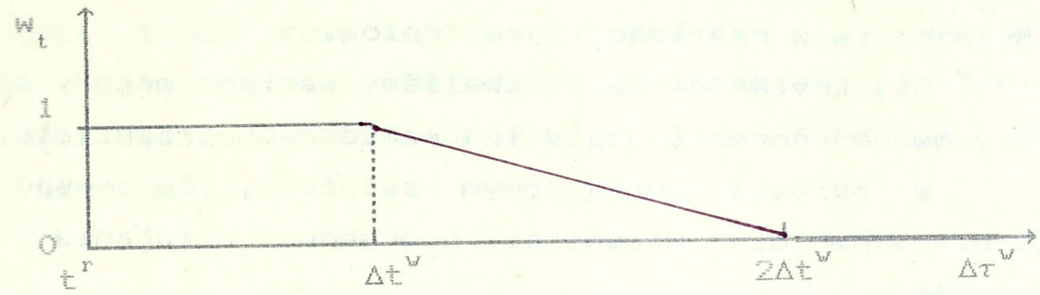
- funkcja oceny celowości



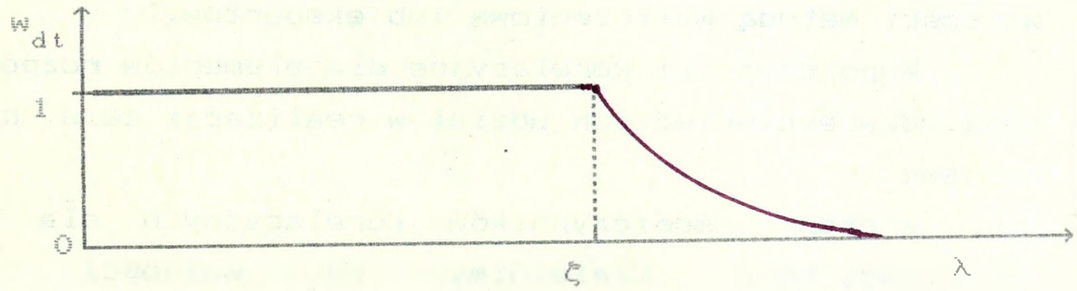
- funkcja oceny dokładności



- funkcja badania terminowości zdobywania



- funkcja badania terminowości dystrybucji



Przedstawione funkcje stanowią podstawę budowy wskaźników własności, które opisane zostaną w następnym punkcie rozprawy.

Kryteria oceny efektywności systemu rozpoznania są oparte o zbiór wcześniej określonych wskaźników.

Jako kryterium główne przyjmujemy kryterium globalnej oceny efektywności systemu rozpoznania za realizację zadanego planu rozpoznania. Jednocześnie rozpatrywać będziemy kryteria pomocnicze pozwalające na badanie efektywności części składowych systemu oraz wyróżnionych procesów i własności.

Kryteria zostały tak dobrane, żeby w możliwie prosty sposób odzwierciedlały istotę działania i cechy systemu rozpoznania w realizacji jego celów.

Dla kryteriów zastosowaliśmy wariant metody addytywnej korygowanej normalizujący ich wartość do przedziału <0, 1>.

W okresie początkowym założymy, że współczynniki korelacyjne dla własności procesów działania przyjmą wartość:

$$\alpha_{xy} = 1 \text{ dla } x \in \mathcal{X},\ y \in \mathcal{Y}$$

po czym na podstawie zebranych wyników określimy ich wartości metodą wyliczeniową lub ekspertów.

Współczynniki korelacyjne dla elementów rozpoznawczych będą odzwierciedlać ich udział w realizacji celu globalnego systemu.

Wartość współczynników korelacyjnych dla elementów organizacyjnych uzależnimy od ważności obiektów uwzględnionych w planie rozpoznania, czyli pośrednio z oceny nieprzyjaciela, a dla elementów wykonawczych, od ważności obiektów zaplanowanych do rozpoznawania. Wartościowanie to nazwiemy udziałem elementu w realizacji celów systemu rozpoznania.

Przyjmiemy, że kryterium chwilowej oceny efektywności elementu za wybrane procesy i własności równoważne jest odpowiadającemu mu wskaźnikowi:

$$K_{xyj}(t) = W_{xyj}$$

Ponieważ w modelu przyjęliśmy jednoszczeblową strukturę organizacyjną systemu rozpoznania, nie będziemy rozpatrywać i formułować kryteriów oceny efektywności podsystemów.

Ze względu na to, że potrafimy nadać elementom systemu atrybuty typu rozpoznania, możemy zbudować kryteria oceny efektywności typów rozpoznania w oparciu o wartości kryteriów elementów. Metoda obliczania kryteriów efektywności będzie w tym przypadku taka sama jak dla systemu rozpoznania.

2. PARAMETRY I WSKAŹNIKI EFEKTYWNOŚCI SYSTEMU

(L. Kwiatek)

W punkcie tym zostaną określone formuły obliczania wskaźników wykorzystywanych do oceny efektywności ex ante systemu rozpoznania szczebla taktycznego.

W modelowanym systemie rozpoznania zostały wyróżnione elementy wykonawcze oraz jeden element organizacyjny. Podział ten wynika z faktu, iż uwzględnienie każdej odrębności ocenianych elementów byłoby przedsięwzięciem bardzo trudnym i prawdopodobnie niecelowym.

Wyróżniamy trzy oceny efektywności działania:

- elementu systemu rozpoznania,
- systemu rozpoznania,
- typów elementów rozpoznania.

Przewidywane działanienie systemu rozpoznania jest oceniane za realizację jednego planu rozpoznania. W modelu oceny efektywności ex ante konstruowane są cztery wskaźniki własności:

- dokładności zdobywania informacji,
- terminowości zdobywania informacji,
- celowości zdobywania informacji,
- terminowości dystrybucji informacji.

Parametry, w oparciu o które konstruowane są wyżej wymienione wskaźniki, podzielimy na następujące grupy:

- opisujące obiekt,
- opisujące elementy systemu,
- stanowiące normy,
- wyliczeniowe.

Parametry i wskaźniki opiszemy w następnych punktach.

2.1. Parametry

Wskaźniki własności procesów działania systemu rozpoznania obliczane są na podstawie parametrów. W zależności od ich charakteru i źródła podzieliliśmy je na cztery grupy.

Pierwsza z nich, parametry opisujące obiekt, dotyczy stałych i zmiennych parametrów mianujących obiekt i opisujących go w czasie i terenie. Dane te mogą być uzyskiwane ze zbiorów danych systemów informatycznych, np. z systemu MIKRORW poprzez numery klasyfikacyjne obiektów.

Druga grupa, parametry opisujące system rozpoznania, dotyczy liczby elementów wykonawczych oraz ich charakterystyki (typ danego elementu).

Trzecia grupa, parametry stanowiące normy i wymagania regulujące działanie systemu rozpoznania, to normy czasowe na rozpoznanie określonych klas obiektów, normy na dokładność określania położenia obiektów w terenie.

Czwartą grupę stanowią parametry wyliczeniowe dotyczące możliwości poszczególnych typów elementów.

Na podstawie parametrów charakteryzujących działanie elementów systemu wyznaczane są poszczególne wskaźniki i kryteria oceniające przewidywane działanie systemu rozpoznania. Przyjmując oznaczenia wprowadzone w rozdziale I oraz założenia określone w punkcie 11 rozdziału III, parametry te to:

$\mathbb{N}$ - zbiór obiektów nieprzyjaciela (obiekty wynikające z przyjętego planu rozpoznania);

$\Delta\mathbb{H}$ - wymiary obiektów;

$\mathbb{K}$ - zbiór klas ważności obiektów;

$\mathbb{J}$ - zbiór elementów systemu rozpoznania;

$\mathbb{R}$ - zbiór typów elementów rozpoznawczych;

$\Delta L()$ - normy na dokładność określania położenia obiektów;

$c()$ - wagi obiektów nieprzyjaciela;

$\mathbb{N}^p_j$ - zbiór obiektów zaplanowanych do rozpoznawania przez j-ty element;

$\mathbb{N}^w_j$ - zbiór obiektów rozpoznanych przez j-ty element;

$\mathbb{Z}^w$ - zbiór zadań rozpoznawczych;

$\Delta\tau^w()$ - wymagane okresy czasu na rozpoznanie obiektów z minimalnym błędem w określaniu położenia;

$L(n,r,\Delta\tau)$ - funkcja dokładności określania położenia obiektu w zależności od okresu czasu zużytego na rozpoznawanie obiektu.

Na postawie tych parametrów możemy wyznaczyć wartości wskaźników oceny efektywności ex ante systemu rozpoznania szczebla taktycznego.

2.2. Wskaźniki oceny efektywności

Wskaźniki oceny efektywności przewidywanej realizacji zadań elementów systemu rozpoznaniasą następujące:

- wskaźnik celowości zdobywania

$$W_{zcj} = \frac{C^w}{C^p},$$

gdzie:

$$C^{w} = \sum_{n \in \mathbb{N}_j^{w}} c(n)$$ suma waq rozpoznanych obiektów;

$$C^{p} = \sum_{n \in \mathbb{N}_j^{p}} c(n)$$ suma waq obiektów ujętych w planie rozpoznania;

- wskaźnik dokładności zdobywania

$$W_{zdj} = \frac{\sum_{n \in \mathbb{N}_j^{p}} w_{zdj}(n) * c(n)}{C^{p}}$$

gdzie:

$$w_{zdj}(n) = w_d\left(L(n, \mathcal{H}(j), \Delta\tau), \Delta L(n) \right),$$

$$\Delta\tau = \begin{cases} \Delta t^{w}(n) & \text{dla } \Delta\tau^{w}(n, \mathcal{H}(j)) \leqslant \Delta t^{w}(n) \\ \Delta\tau^{w}(n, \mathcal{H}(j)) - \Delta t^{w}(n) & \text{dla } \Delta\tau^{w}(n, \mathcal{H}(j)) > \Delta t^{w}(n) \end{cases},$$

$$w_d(L(n), \Delta L(n)) = \max\left\{ 1 - \frac{L - L^{m}}{\Delta L(n) - L^{m}}, 0 \right\},$$

$$L = L(n, \mathcal{H}(j), \Delta\tau),$$

$$L^{m} = L(n, \mathcal{H}(j), \Delta\tau^{w}(n)),$$

$$C^{p} = \sum_{n \in \mathbb{N}_j^{p}} c(n)$$ suma waq obiektów ujętych w planie rozpoznania;

$\Delta L(n)$ - normy na dokładność określania położenia obiektu n;

- wskaźnik terminowości zdobywania

$$W_{ztj} = \frac{\sum_{n \in \mathbb{N}_j^{p}} w_{ztj}(n)}{C^{p}}$$

gdzie:

$$w_{ztj}(n) = w_t\left[\Delta t^{v}(n), 2\Delta t^{v}(n), \Delta\tau^{v}(n, \mathcal{H}(j))\right] =$$

$$= \min\left\{1, \max\left\{1 - \frac{\Delta\tau^{v}(n) - \Delta t^{v}(n)}{\Delta t^{v}(n)}, 0\right\}\right\},$$

- wskaźnik terminowości dystrybucji

$$W_{dtj_o} = \begin{cases} 1 & \text{dla} \quad \lambda(j_o) \leq \zeta(j_o) \\ \dfrac{\lambda(j_o)}{\zeta(j_o)} & \text{dla} \quad \lambda(j_o) > \zeta(j_o) \end{cases}$$

gdzie:

$$\lambda(j_o) = \sum_{\langle j,n\rangle \in \mathbb{Z}^{v}} \frac{1}{\Delta t^{v}(n)}$$

$\zeta(j_o)$ - maksymalna przepustowość kanałów łączności elementu $j_o \in \mathcal{J}^{o}$.

Wszystkie przedstawione wskaźniki dotyczą przewidywanej oceny efektywności elementów wykonawczych i elementu organizacyjnego za wykonanie postawionych przed nimi zadań. Wskaźniki przyjmują wartości zgodnie z przyjętą skalą, z przedziału liczbowego <0,1>.

3. KRYTERIA EFEKTYWNOŚCI OCENY SYSTEMU

(A. Grochalski)

Kryteria oceny efektywności działania ex ante systemu rozpoznania szczebla taktycznego zostały sformułowane w oparciu wskaźniki własności procesów działania elementów, przy uwzględnieniu przyjętej miary efektywności i wcześniejszych założeń.

W systemie rozpoznania zostały wyróżnione elementy wykonawcze oraz jeden element organizacyjny. Ponadto wyróżniane są typy elementów rozpoznawczych. Stąd wyróżnimy trzy grupy kryteriów oceny efektywności:

- elementu systemu rozpoznania,
- systemu rozpoznania,
- typów elementów rozpoznawczych.

Działanienie systemu rozpoznania jest charakteryzowane przez własności procesów działania. W celu ułatwienia analizy działania systemu wprowadziliśmy kryteria:

- za własności procesów działania,
- za procesy działania,
- globalne.

W modelu oceny ex ante prowadzimy badanie efektywności systemu za realizację postawionego planu, a więc wszystkie kryteria dotyczą realizacji jednego planu rozpoznania.

Za główne kryterium będziemy uważali globalne kryterium oceny efektywności systemu rozpoznania. Pozostałe kryteria będą kryteriami pomocniczymi służącymi do analizy działania systemu. Pomimo określenia ich jako pomocniczych odgrywają one dużą rolę, gdyż zawierają informacje niezbędne do zrozumienia kształtowania się oceny finalnej systemu.

3.1. Kryteria efektywności elementu

Sformułujmy metody tworzenia kryteriów oceny efektywności. W modelu ex ante założyliśmy, że elementy organizacyjne i wykonawcze nie będą oceniane za jednakowe procesy i własności. Elementy organizacyjne będą oceniane za proces dystrybucji, natomiast wykonawcze za proces zdobywania.

Wprowadziliśmy funkcję określającą zbiór własności procesów, za które oceniany jest element j:

$$\chi_j = \left\{ \langle x,y \rangle \in \mathcal{X} \times \mathcal{Y} \; : \; W_{xyj} \in \mathbb{W} \right\}$$

przy czym:

$\chi_j = \left\{ \langle d,t \rangle \right\}$ jeżeli $j = j_o$ (element organizacyjny),

$\chi_j = \left\{ \langle z,t \rangle, \langle z,d \rangle, \langle z,c \rangle \right\}$ jeżeli $j \neq j_o$ (element wykonawczy).

Wprowadziliśmy także współczynniki korelacji α_{xy}, które pozwalają wartościować wskaźniki własności procesów działania.

Kryterium oceny efektywności elementu za wybrane procesy i własności równoważne jest odpowiadającemu mu wskaźnikowi:

$$K_{xyj} = W_{xyj}$$

Kryterium oceny efektywności elementu j za proces x określiliśmy następująco:

$$K_{xj} = \frac{\sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \alpha_{xy} \, W_{xyj}}{\sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \alpha_{xy}}$$

Globalne kryterium oceny efektywności dla elementu j ma postać:

$$K_j = \frac{\sum_{\langle x,y\rangle \in \chi_j} \alpha_{xy} W_{xy_j}}{\sum_{\langle x,y\rangle \in \chi_j} \alpha_{xy}}$$

Z powyższych wzorów wynika, że kryteria dla elementu organizacyjnego j_o przyjmą postać:

$$K_{j_o} = K_{dj_o} = K_{dtj_o} = W_{dtj_o} ,$$

a dla elementu wykonawczego j:

$$K_j = K_{zj} = \frac{\alpha_{zd} W_{zdj} + \alpha_{zt} W_{ztj} + \alpha_{zc} W_{zcj}}{\alpha_{zd} + \alpha_{zt} + \alpha_{zc}} .$$

3.2. Kryteria efektywności podsystemu

Założyliśmy, że przedmiotem badań efektywności będzie systemu rozpoznania szczebla taktycznego, w którym wyróżniamy jeden element organizacyjny i bezpośrednio mu podległe elementy wykonawcze. Przy tym założeniu nie jest celowe jego dzielenie na podsystemy funkcjonalne. Dlatego też nie będziemy formułowali kryteriów oceny efektywności podsystemów rozpoznania.

3.3. Kryteria efektywności systemu

W modelu ex ante rozpatrujemy kryteria oceniające system za określony plan działania. Udział elementu j w realizacji tego planu określimy następująco:

$$\upsilon_j = \begin{cases} \sum\limits_{n \in \bigcup\limits_{j \in \mathcal{J}^{\nu}} \mathbb{N}_j^p} c(n) & \text{dla } j \in \mathcal{J}^{o} \\ \sum\limits_{n \in \mathbb{N}_j^p} c(n) & \text{dla } j \in \mathcal{J}^{\nu} \end{cases}$$

Wartościowanie to dla elementów wykonawczych uzależniliśmy od zbioru obiektów zleconych do rozpoznania przez element j, który wynika z planu rozpoznania q:

$$\mathbb{N}_j^p = \left\{ n \in \mathbb{N} : \langle j, n \rangle \in \mathbb{Z}^{\nu}(q) \right\}.$$

Dla elementów organizacyjnych watościowanie uzależniamy od zbioru obiektów nieprzyjaciela zawartych w planie rozpoznania i przydzielonych do rozpoznania podległym elementom.

Postać odpowiednich kryteriów oceny efektywności będzie następująca:

- za własność y procesu x:

$$K_{xy} = \frac{\sum\limits_{j \in \mathcal{J} \wedge \langle x, y \rangle \in \chi_j} \upsilon_j W_{xyj}}{\sum\limits_{j \in \mathcal{J} \wedge \langle x, y \rangle \in \chi_j} \upsilon_j},$$

czyli za terminowość dystrybucji:

$$K_{dt} = K_{dtj_o} = W_{dtj_o},$$

za dokładność zdobywania:

$$K_{zd} = \frac{\sum_{j \in \mathcal{J}^w} \upsilon_j \, W_{zdj}}{\sum_{j \in \mathcal{J}^w} \upsilon_j},$$

za terminowość zdobywania:

$$K_{zt} = \frac{\sum_{j \in \mathcal{J}^w} \upsilon_j \, W_{ztj}}{\sum_{j \in \mathcal{J}^w} \upsilon_j},$$

za celowość zdobywania:

$$K_{zc} = \frac{\sum_{j \in \mathcal{J}^w} \upsilon_j \, W_{zcj}}{\sum_{j \in \mathcal{J}^w} \upsilon_j},$$

- za wybrane proces działania x:

$$K_x = \frac{\sum_{j \in \mathcal{J}} \sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \upsilon_j \, \alpha_{xy} \, W_{xyj}}{\sum_{j \in \mathcal{J}} \sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \upsilon_j \, \alpha_{xy}},$$

czyli za proces dystrybucji, za który oceniany jest tylko element organizacyjny j_o:

$$K_d = K_{dj_o} = W_{dtj_o},$$

oraz za proces zdobywania, za który oceniane są elementy wykonawcze:

$$K_z = \frac{\sum_{j \in \mathcal{J}^w} \upsilon_j (\alpha_{zd} W_{zdj} + \alpha_{zt} W_{ztj} + \alpha_{zc} W_{zcj})}{\sum_{j \in \mathcal{J}^w} \upsilon_j (\alpha_{zd} + \alpha_{zt} + \alpha_{zc})} ,$$

- globalne

$$K = \frac{\sum_{j \in \mathcal{J}} \sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \upsilon_j \alpha_{xy} W_{xyj}}{\sum_{j \in \mathcal{J}} \sum_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \upsilon_j \alpha_{xy}} =$$

$$= \frac{\nu_{j_o} \alpha_{dt} W_{dtj_o} + \sum_{j \in \mathcal{J}^w} \upsilon_j (\alpha_{zd} W_{zdj} + \alpha_{zt} W_{ztj} + \alpha_{zc} W_{zcj})}{\nu_{j_o} \alpha_{dt} + \sum_{j \in \mathcal{J}^w} \upsilon_j (\alpha_{zd} + \alpha_{zt} + \alpha_{zc})}$$

3.4. Kryteria efektywności typów rozpoznania

Przedmiotem badań efektywności jest system rozpoznania szczebla taktycznego, w którym wyróżniamy jeden element organizacyjny i bezpośrednio mu podległe elementy wykonawcze. Zakładamy, że elementy wykonawcze reprezentują sobą określony typ elementu rozpoznawczego. Elementy wykonawcze oceniane są tylko za proces zdobywania informacji. Elementowi organizacyjnemu nie nadajemy atrybutu typu rozpoznania i dlatego nie będziemy rozpatrywać w obliczeniach procesu dystrybucji informacji.

Jeżeli elementom systemu nadamy atrybuty typów rozpoznania:

$$\mathcal{K}: \mathcal{J} \longrightarrow \mathbb{R},$$

to możemy podzielić system na rozłączne podsystemy, których grafy będą reprezentować rodzinę wierzchołków.

W takim przypadku dla każdego podsystemu, reprezentującego typ rozpoznania, metoda obliczeń będzie taka sama jak dla systemu rozpoznania, tak jak to proponujemy w punkcie 5.2.

Kryterium oceny efektywności elementów rozpoznawczych typu r dla własności działania dokładności, terminowości i celowości procesu zdobywynia ($\langle x,y\rangle \in \{\langle z,d\rangle,\langle z,t\rangle,\langle z,c\rangle\}$) będzie miało postać:

$$K_{xyr} = \frac{\sum\limits_{j\in\mathcal{J} \wedge \mathcal{K}(j)=r} \upsilon_j W_{xyj}}{\sum\limits_{j\in\mathcal{J} \wedge \mathcal{K}(j)=r} \upsilon_j}$$

czyli:

$$K_{zd} = \frac{\sum\limits_{j\in\mathcal{J}^w} \upsilon_j W_{zdj}}{\sum\limits_{j\in\mathcal{J}^w} \upsilon_j}, \quad K_{zt} = \frac{\sum\limits_{j\in\mathcal{J}^w} \upsilon_j W_{ztj}}{\sum\limits_{j\in\mathcal{J}^w} \upsilon_j}, \quad K_{zc} = \frac{\sum\limits_{j\in\mathcal{J}^w} \upsilon_j W_{zcj}}{\sum\limits_{j\in\mathcal{J}^w} \upsilon_j}.$$

Kryterium oceny efektywności elementów rozpoznawczych typu r dla procesu zdobywania:

$$K_{zr} = \frac{\sum\limits_{j \in \mathcal{J}^{w} \wedge \mathcal{H}(j)=r} \; \sum\limits_{y \in \{d,t,c\}} \upsilon_j \, \alpha_{zy} \, W_{zyj}}{\sum\limits_{j \in \mathcal{J}_{v} \wedge \mathcal{H}(j)=r} \; \sum\limits_{y \in \{d,t,c\}} \upsilon_j \, \alpha_{zy}} =$$

$$= \frac{\sum\limits_{j \in \mathcal{J}^{w} \wedge \mathcal{H}(j)=r} \upsilon_j \, (\alpha_{zd} \, W_{zdj} + \alpha_{zt} \, W_{ztj} + \alpha_{zc} \, W_{zcj})}{\sum\limits_{j \in \mathcal{J}^{w} \wedge \mathcal{H}(j)=r} \upsilon_j \, (\alpha_{zd} + \alpha_{zt} + \alpha_{zc})} .$$

Kryterium oceny efektywności elementów rozpoznawczych typu r:

$$K_r = \frac{\sum\limits_{j \in \mathcal{J} \wedge \mathcal{H}(j)=r} \; \sum\limits_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \upsilon_j \, \alpha_{xy} \, W_{xyj}}{\sum\limits_{j \in \mathcal{J} \wedge \mathcal{H}(j)=r} \; \sum\limits_{\langle x,y \rangle \in \chi_j} \upsilon_j \, \alpha_{xy}} = K_{zr}$$

4. ZASTOSOWANIE METODY OCENY EFEKTYWNOŚSCI SYSTEMU

(A. Grochalski, L. Kwiatek)

W rozprawie opisujemy metody badania efektywności systemu rozpoznania szczebla taktycznego ex post i ex ante. Proponowana metoda badania efektywności ex ante może być stosowana do ustalania przewidywanej oceny efektywności działania badanego systemu w założonych warunkach. Stanowi ona wielokryterialną ocenę, której podstawą jest ocena działania elementów systemu podczas realizacji jednego planu rozpoznania.

Działanie systemu rozpoznania zostało opisane wybranymi parametrami, które są podstawą opracowania przewidywanych ocen cząstkowych charakteryzujących spełnienie określonych własności rozpoznania i możliwość zrealizowania określonych procesów działania.

Opracowna metoda oceny efektywności systemu rozpoznania przeznaczona jest do:

1. dokonywania oceny elementu za wykonanie jednego zadania rozpoznawczego oraz wszystkich postawionych mu zadań;
2. parametryzowania działania systemu rozpoznania umożliwiającego tworzenie wielokryterialnej oceny efektywności tego systemu;
3. tworzenia pośrednich ocen działania systemu w ramach oceny spełniania określonych własności rozpoznania i określonych procesów realizowanych przez system rozpoznania;
4. tworzenia ocen działania elementów i typów elementów rozpoznawczych
5. dokonywania ocen w ramach jednego planu rozpoznania bez wpływu na następny plan;

6. dokonywnia weryfikacji planów rozpoznania poprzez sprawdzanie możliwości ich realizacji;
7. badania możliwości rozpoznawania różnych typów obiektów przez różne typy elementów rozpoznawczych, różne rodzaje rozpoznania;
8. dokonywnia werfikacji norm i wymagań stawianych przed poszczególnymi typami elementów;
9. badania możliwości nowowprowadzanych typów elementów rozpoznawczych, nowego sprzetu;
10. badania możliwości automatyzacji procesu planowania rozpoznania.

Proponowana metoda oceny efektywności systemu rozpoznania ma za cel ustalenie stanu zdolności systemu do wykonywania zadań poprzez wykazanie:

- czy postawione zadania mogą być wykonane i w jakim stopniu przez poszczególne elementy, podsystemy i system rozpoznania;
- czy zdobyte i przekazane informacje rozpoznawcze będą dokładne i wiarygodne oraz będą docierały do użytkowników w wymaganym czasie;
- predyspozycji typów i rodzajów rozpoznania do rozpoznawania różnych klas obiektów nieprzyjaciela;
- kierunku rozwoju struktur organizacyjnych systemu rozpoznania;
- prawidłowości norm rozpoznawczych;
- potencjalnych rezerw w systemie lub ich braku;
- zapotrzebowania na sprzęt rozpoznawczy i wyznaczenie kierunków jego rozwoju.

A. OZNACZENIA

$a: \mathbb{K} \times \mathbb{S} \longrightarrow \mathcal{R}$, $A = [a_{ks}]_{K*S}$ - normy procentowego rozpoznania obiektów nieprzyjaciela występujących w pasie rozpoznania według klas ważności $\mathbb{K}$ i stref odpowiedzialności $\mathbb{S}$;

$c: \mathbb{N} \longrightarrow \mathcal{R}$, $c(n)$ - wagi obiektów wyznaczane na podstawie ważności danego obiektu, jego miejsca w ugrupowanu oraz przynależności do klasy ważności lub ustalone metodą ekspertów;

$\mathcal{f}$ - funkcja tworzenia wskaźników działania;

$\mathbb{G}_R = \langle \mathcal{J}, \Gamma_R \rangle$ - graf, dendryt struktury podległości funkcjonalnej systemu rozpoznania;

$\mathcal{g}$ - funkcja tworzenia wskaźników własności;

$\mathbb{H}$ - przestrzeń współrzędnych geograficznych:

$$\mathbb{H} = \left\{ \langle \vartheta, \lambda \rangle : \vartheta \in \langle -90^\circ, +90^\circ \rangle, \lambda \in \langle -180^\circ, +180^\circ \rangle \right\}$$

gdzie:

ϑ - szerokość geograficzna w stopniach;

λ - długość geograficzna w stopniach.

$H^a(t) \in \mathbb{H}$ - położenie obiektu określone przez autora ćwiczenia lub rozjemców;

$H^p \in \mathbb{H}$ - położenie obiektu określone w zarządzeniu rozpoznawczym;

$H^w \in \mathbb{H}$ - położenie obiektu określone w meldunku;

$\mathcal{J}$ - zbiór elementów rozpoznawczych systemu rozpoznania:

$\mathcal{J} = \mathcal{J}^w \cup \mathcal{J}^o$,

$\mathcal{J}^o = \{j_o\}$,

$j \in \Gamma_R(j_o)$

dla modelu ex ante: $\mathcal{H}(j) = r$,

$r \in \mathbb{R}$ - typ elementu rozpoznawczego;

$\mathcal{J}^{o}$ - zbiór elementów organizacyjnych systemu rozpoznania;

$\mathcal{J}^{v}$ - zbiór elementów wykonawczych systemu rozpoznania;

j - element rozpoznawczy systemu;

j_{o} - element organizacyjny;

$\mathbb{K} = \langle 1,..k,..K \rangle$ - zbiór wyróżnianych numerów klas ważności obiektów nieprzyjaciela;

K - liczba klas ważności obiektów nieprzyjaciela;

$k \in \mathbb{K}$ - numer klasy obiektu nieprzyjaciela;

$K_{xyj}(t)$, $K_{xyj}(t_1,t_2)$, K_{xyj} -kryterium chwilowej, za przedział czasu i badań, oceny efektywności elementu j za własność y procesu x;

$K_{xj}(t)$, $K_{xj}(t_1,t_2)$, K_{xj} - kryterium chwilowej, za przedział czasu i badań, oceny efektywności elementu j za proces x;

$K_{j}(t)$, $K_{j}(t_1,t_2)$, K_{j} - globalne kryterium chwilowej, za przedział czasu i badań, oceny efektywności elementu j;

$K_{xy}(t)$, $K_{xy}(t_1,t_2)$, K_{xy} - kryterium chwilowej, za przedział czasu i badań, oceny efektywności systemu rozpoznania za własność y procesu x;

$K_{x}(t)$, $K_{x}(t_1,t_2)$, K_{x} - kryterium chwilowej, za przedział czasu i badań, oceny efektywności systemu rozpoznania za proces x;

$K(t)$, $K(t_1,t_2)$, K - globalne kryterium chwilowej, za przedział czasu i badań, oceny efektywności systemu rozpoznania;

$K_{xyr}(t)$, $K_{xyr}(t_1,t_2)$, K_{xyr} - kryterium chwilowej, za przedział czasu i badań, oceny efektywności rodzaju rozpoznania r za własność y procesu działania x;

$K_{xr}(t)$, $K_{xr}(t_1,t_2)$, K_{xr} - kryterium chwilowej, za przedział czasu i badań, oceny efektywności rodzaju rozpozna-

nia r za proces działania x;

$K_r(t)$, $K_r(t_1,t_2)$, K_r - kryterium chwilowej, za przedział czasu i badań oceny efektywności rodzaju rozpoznania;

$L(x,y)$ - odległość dwóch punktów wyliczana na podstawie wzoru wyznaczania odległości między dwoma punktami na kuli ziemskiej: $x = (\vartheta_x, \lambda_x)$, $y = (\vartheta_y, \lambda_y)$;

$L(r,n,\Delta\tau)$ - funkcja dokładności określania położenia obiektu n przez typ rozpoznania r w zależności od wielkości czasu $\Delta\tau$ zużytego na rozpoznawanie obiektu;

$\mathbb{M}(t)$ - zbiór meldunków rozpoznawczych przesłanych w badanym systemie do chwili czasu t;

$\mathbb{M}_j(t)$ - zbiór meldunków rozpoznawczych przesłanych przez element j do chwili czasu t;

$\mathbb{M}_j^{\alpha}(t)$ - zbiór aktualnych meldunków w chwili czasu t o rozpoznanych obiektach przez element wykonawczy j;

$\mathbb{M}_j^{p}(t)$ - pakiet meldunków rozpoznawczych przekazanych do chwili t przez element j systemu rozpoznania;

$\mathbb{M}_j^{v}(t)$ - zbiór aktualnych meldunków w chwili czasu t o rozpoznanych obiektach przez element j zgodnie z obowiązującym planem;

$\mathbb{M}_r(t)$ - zbiór meldunków rozpoznawczych złożonych do chwili czasu t przez rodzaj rozpoznania r;

$m = \langle j,r,n,H^v,t^v,t^d \rangle$ - meldunek elementu j o rozpoznaniu obiektu n:

$j \in \mathbb{J}$ - nadawca meldunku;

$n \in \mathbb{N}(t)$ - rozpoznany obiekt;

$H^v \in \mathbb{H}$ - położenie obiektu;

$t^v \in \mathbb{T}$ - czas rozpoznania obiektu;

$r \in \mathbb{R}$ - rodzaj rozpoznania, który rozpoznał obiekt;

$t^d \in \mathbb{T}$ - czas dotarcia informacji do adresata.

$\mathbb{N}$ - zbiór liczb naturalnych;

$\mathbb{N}(t)$ - zbiór obiektów nieprzyjaciela w sytuacji bojowej dla chwili czasu t (obiekty wynikające ze struktury nieprzyjaciela znajdującego się w pasie rozpoznania);

$n = \langle k, H^{a}(t), \Delta H \rangle \in \mathbb{N}(t)$ - obiekt nieprzyjaciela dla modelu ex post

($H^{a}(t)$ - położenie autorskie w chwili czasu t);

$\mathbb{N}$ - zbiór obiektów występujących w danej sytuacji bojowej;

$n = \langle k, H^{a}, \Delta H \rangle \in \mathbb{N}$ - obiekt nieprzyjaciela dla modelu ex ante (H^{a} - odległość od linii styczności wojsk);

$\mathbb{N}^{d}_{j}(t)$ - zbiór obiektów ponadplanowo rozpoznanych przez element j do chwili czasu t;

$\mathbb{N}^{t}_{j_o ks}$ - zbiór obiektów klasy k w strefie odpowiedzialności s zawartych w aktualnej, w chwili czasu t ocenie nieprzyjaciela elementu j_o;

$\mathbb{N}^{o}_{k}$ - zbiór obiektów klasy k zawartych w aktualnej ocenie;

$\mathbb{N}^{o}_{ks}$ - zbiór obiektów klasy k w strefie odpowiedzialności s zawartych w aktualnej ocenie nieprzyjaciela;

$\mathbb{N}^{p}$ - zbiór obiektów zaplanowanych do rozpoznania,

$\mathbb{N}^{p}_{j}(t)$ - zbiór obiektów zleconych do rozpoznawania przez element j do chwili czasu t (model ex post);

$\mathbb{N}^{p}_{j}$ - zbiór obiektów zleconych w planie rozpoznania do rozpoznawania przez element j (model ex ante);

$\mathbb{N}^{p}_{j_o ks}(t)$ - zbiór obiektów klasy k i strefy odpowiedzialności s zawartych w aktualnym w chwili czasu t planie rozpoznania elementu j_o;

$\mathbb{N}^{p}_{j_o ks}$ - zbiór obiektów klasy k i strefy odpowiedzialności s zawartych w aktualnym planie rozpoznania elementu j_o;

$\mathbb{N}^{p}_{r}$ - zbiór obiektów zleconych do rozpoznawania elementom typu r (model ex ante);

$\mathbb{N}^{v}$ - zbiór rozpoznanych obiektów.

$\mathbb{N}^{v}_{j}(t)$ - zbior obiektów nieprzyjaciela rozpoznanych zgodnie z planem, przez element j do chwili czasu t;

n - identyfikator obiektu rozpoznania:

$n = \langle k, H^{a}(t), \Delta H \rangle \in \mathbb{N}(t)$ - dla modelu ex post,

$n = \langle k, H^{a}, \Delta H \rangle \in \mathbb{N}$ - dla modelu ex ante,

gdzie:

k - numer klasy obiektu nieprzyjaciela;

$H^{a} \in \mathbb{H}$ - położenie obiektu określone przez autora ćwiczenia lub rozjemców;

$\Delta H \in \Delta\mathbb{H}$ - wymiary obiektu (głębokość i szerokość);

$\mathbb{O}_{j_o} \subset \mathbb{N}$ - ocena nieprzyjaciela dla modelu ex ante, podzbiór obiektów występujących w pasie działania badanego systemu rozpoznania;

$\mathbb{O}_{j_o}(t) \subset \mathbb{N}(t) \times \mathbb{S}$ - aktualnie obowiązująca ocena nieprzyjaciela elementu j_o (podzbiór obiektów rozpoznania $\mathbb{N}$ z podziałem na strefy odpowiedzialności $\mathbb{S}$);

$\mathbb{Q}(t)$ - zbiór planów rozpoznania poszczególnych elementów organizacyjnych wykonanych do chwili czasu t:

$$\mathbb{Q}(t) = \bigcup_{j_o \in \mathbb{J}_o} \mathbb{Q}_{j_o}(t),$$

$\mathbb{Q}_{j_o}(t)$ - zbiór planów rozpoznania elementu organizacyjnego j_o wykonanych do chwili czasu t;

q - plan rozpoznania opracowany przez element organizacyjny j_o;

$q = \langle j_o, t^z, t^g, \mathbb{Z}^v \rangle \in \mathbb{Q}_{j_o}(t)$ - dla modelu ex post,

$q = \langle j_o, \mathbb{Z}^v \rangle \in \mathbb{Q}$ - dla modelu ex ante,

gdzie:

t^z - czas zakończenia tworzenia planu rozpoznania;

t^g - czas gotowości elementów wykonawczych;

$\mathbb{Z}^v$ - zbiór zadań rozpoznawczych dla podległych elementów wykonawczych.

$\mathbb{R}$ - zbiór rodzajów (model ex post) lub typów (model ex ante) rozpoznania występujących w badanym systemie;

$\mathcal{R}$ - zbiór liczb rzeczywistych;

r - rodzaj rozpoznania dla modelu ex post (ogólnowojskowe, radioelektroniczne, specjalne, lotnicze, itd.) lub typ rozpoznania dla modelu ex ante (namiernik KF, namiernik UKF, patrol na BWP, patrol na SKOT itd.).

$\mathbb{S} = \{1,2\}$ - zbiór numerów wyróżnianych stref odpowiedzialności;

S - liczba stref odpowiedzialności;

$\mathbb{T} = \langle T^p, T^k \rangle$ - przedział czasu badania systemu;

T^p - chwila czasu rozpoczęcia badań systemu;

T^k - chwila czasu zakończenia badań systemu;

t^d - czas dotarcia meldunku do adresata;

t^g - czas gotowości wynikający z planu rozpoznania (czas rozpoczęcia realizacji planu);

t^o - ostateczny czas zakończenia opracowywania planu rozpoznania;

t^p - pożądany czas zakończenia opracowywania planu rozpoznania;

t^r - czas rozpoczęcia opracowywania planu rozpoznania;

t^w - czas rozpoznania obiektu;

t^z - czas zakończenia opracowywania planu rozpoznania;

u - stan sił i środków elementu;

$\mathbb{V}$ - zbiór meldunków o stanie sił i środków elementów wykonawczych systemu rozpoznania;

$v = \langle j, t^u, u \rangle$ - meldunek o stanie sił i środków u elementu j, t^u - czas przekazania danych,

$\mathbb{W}(t) = \left\{ W_{xyj}(t) : x \in \mathbb{X} \wedge y \in \mathbb{Y} \wedge j \in \mathbb{J} \right\}$ - zbiór wskaźników procesów i własności działania systemu rozpoznania dla chwili czasu t;

$W_{xyj}(t)$, W_{xyj} - wskaźnik spełnienia własności y w procesie informacyjnym x przez element rozpoznawczy j w chwili czasu t dla modelu ex post, ex ante;

W_x - wskaźnik procesu x;

$\mathbb{W}_x$ - zbiór wskaźników własności procesu x;

$w_{dtm}(t)$ - wskaźnik terminowości dystrybucji meldunku m;

$w_{pcj_o ks}(t)$ - wskaźnik celowości planowania obiektów klasy k w strefie odpowiedzialności s, przez element rozpoznawczy j_o;

$w_{pdz}(t)$ - wskaźnik dokładności planowania dla zadania planowania z;

$w_{zdm}(t)$ - wskaźnik dokładności zdobywania dla meldunku m;

$w_{zdj}(n)$ - wskaźnik dokładności zdobywania informacji o obiekcie n przez element j (model ex ante);

$w_{ztm}(t)$ - wskaźnik terminowości zdobywania dla meldunku m;

$w_{ztj}(n)$ - wskaźnik terminowości zdobywania informacji o obiekcie nieprzyjaciela n przez element j (model ex ante);

$\mathbb{X} = \left\{ z, d, p \right\}$ - zbiór procesów informacyjnych gdzie:

z - proces zdobywania informacji,

d - proces dystrybucji informacji,

p - proces planowania rozpoznania,

$\mathbb{Y} = \left\{a, c, d, t, s\right\}$ - zbiór własności rozpoznania gdzie:

a - własność aktywność,

c - własność celowość,

d - własność dokładność,

t - własność terminowość,

s - własność skrytość;

$Z^p_{j_o}(t) = \langle \Phi_{j_o}(t), t^r, t^p, t^o \rangle$ - zadanie planowania elementu j_o;

$\mathbb{Z}^v = \mathbb{Z}^v(q)$ - zbiór zadań rozpoznawczych określonych w planie rozpoznania q:

model ex post

$\mathbb{Z}^v(q) \subset \Gamma_R(j_o) \times \mathbb{N}(t) \times \mathbb{H}$,

$\mathbb{Z}^v_j(q) = \left\{ \langle j, n, H^p \rangle \in \mathbb{Z}^v(q) \right\}$;

model ex ante

$\mathbb{Z}^v(q) \subset \Gamma_R(j_o) \times \Phi_{j_o}$,

$\mathbb{Z}^v_j(q) = \left\{ \langle j, n \rangle \in \mathbb{Z}^v(q) \right\}$;

$j \in \Gamma_R(j_o)$.

z - zadanie rozpoznawcze:

$z = \langle j, n, H^p \rangle \in \mathbb{Z}^v_j(q)$ - dla modelu ex post,

$z = \langle j, n \rangle \in \mathbb{Z}^v_j(q)$ - dla modelu ex ante,

t^r - czas rozpoczęcia opracowywania planu rozpoznania;

t^p - pożądany czas zakończenia tworzenia planu rozpoznania;

t^o - ostateczny czas zakończenia opracowywania planu rozpoznania;

$\Phi_{j_o}(t) \subset \mathbb{N}(t) \times \mathbb{S}$ - aktualnie obowiązująca ocena nieprzyjaciela elementu j_o (model ex post);

$\Phi_{j_o} \subset \mathbb{N}$ - ocena nieprzyjaciela elementu j_o (model ex ante);

α_{xy} - współczynniki korelacji dla własności y procesu x; które pozwalają na wartościowanie wskaźników własności procesów działania.

$\alpha^{v} \in \mathcal{R}$ - dopuszczalne normy ponoszonych strat sił i środków dla elementów systemu przeliczone na jednostkę czasu.

β_{j}^{v} - straty elementu j przypadające na jednostkę czasu;

$\Gamma_{R} \subset \mathcal{J} \times \mathcal{J}$ - relacja podporządkowania funkcjonalnego elementów systemu rozpoznania, określająca dla każdego elementu zbiór podległych mu elementów rozpoznania;

Γ_{R}^{-1} - funkcja odwrotna do Γ_{R}, określająca dla danego elementu rozpoznania jego element nadrzędny;

$\Delta\mathbb{H}$ - przestrzeń wymiarów obiektów nieprzyjaciela:

$$\Delta\mathbb{H} = \left\{ \langle l,q \rangle : l,q \in \mathcal{R} \right\}$$

gdzie:

l - długość obiektu w kilometrach;

q - głębokość obiektu w kilometrach.

ΔH - wymiary obiektu (głębokość i szerokość);

$\Delta L : \mathbb{K} \longrightarrow \mathcal{R}$, $\Delta L(k)$ - normy dopuszczalnego błędu określania położenia obiektów według klas ważności;

$\Delta L(n)$ - graniczny błąd przewidywania położenia obiektu n wyznaczany w oparciu o jego wymiary;

$\Delta t^{o}(n)$ - ostateczny okres czasu na dotarcie informacji o obiekcie n;

$\Delta t^{p}(n)$ - pożądany okres czasu na dotarcie informacji o obiekcie n;

$\Delta t^{w}(n)$ - pożądane okresy czasu składania meldunków o obiekcie n;

$\lambda(j)$ - przewidywana intensywność napływu meldunków do elementu j;

$\xi : \mathcal{J}^{\circ} \longrightarrow \mathcal{R}$, $\xi(j)$ - normy określające maksymalną przepustowość kanałów łączności elementu zbierającego informacje (maksymalna liczba meldunków, które może przyjąć element j w określonej jednostce czasu);

$\mathcal{H} : \mathcal{J} \longrightarrow \mathbb{R}$ - odwzorowanie nadające elementom systemu rozpoznania atrybuty rodzajów lub typów rozpoznania;

$\upsilon_j(t)$ - wartość zadań elementu j, udział elementu w realizacji celów systemu w chwili czasu t;

υ_j - wartość zadań elementu j (ex ante);

$\chi_j(t) = \left\{ \langle x,y \rangle \in \mathcal{X} \times \mathcal{Y} : W_{xyj}(t) \in \mathbb{W}(t) \right\}$ - funkcja określająca procesy i własności, dla których jest dokonywana ocena elementu j w chwili czasu t dla modelu ex post;

$\chi_j = \left\{ \langle x,y \rangle \in \mathcal{X} \times \mathcal{Y} : W_{xyj} \in \mathbb{W} \right\}$ - zbiór własności procesów działania, dla których jest dokonywana element j (ex ante);

B. SYMBOLE

$\wedge$ – koniunkcja, logiczne i;

$\vee$ – alternatywa, logiczne lub;

$\Rightarrow$ – implikacja;

$\Leftrightarrow$ – równoważność;

$\sim$ – negacja, logiczne zaprzeczenie;

$\bigwedge$ – kwantyfikator ogólny, "dla każdego ...";

$\bigvee$ – kwantyfikator szczegółowy, "istnieje takie, że...";

$(\bigwedge (x \in \mathcal{X}))\ (\mathcal{P}(x))$ – kwantyfikator ograniczony predykatem $\mathcal{P}$;

$\{\ldots\}$ – jest elementem zbioru;

$\{x : \mathcal{P}(x)\}$ – zbiór wszystkich elementów spełniających predykat $\mathcal{P}$;

$x \in \mathcal{X}$ – x jest elementem zbioru $\mathcal{X}$;

$\bigcup$ – suma zbiorów;

$\bigcap$ – iloczyn zbiorów;

$\mathcal{X} \setminus \mathcal{Y}$ – różnica zbiorów $\mathcal{X}$ i $\mathcal{Y}$;

$\mathcal{X} \times \mathcal{Y}$ – iloczyn kartezjański zbiorów $\mathcal{X}$ i $\mathcal{Y}$;

$\overline{\overline{\mathcal{X}}}$ – liczność zbioru $\mathcal{X}$;

$\subseteq$ – podzbiór;

$\subset$ – podzbiór właściwy;

$\equiv$ – relacja równoważności;

$\vdash$ – relacja porządku;

$\langle x_1, \ldots, x_n \rangle$ – wektor lub n-tka elementów.

C. BIBLIOGRAFIA

1. R.L. Ackoff "Decyzje optymalne w badaniach stosowanych" PWN Warszawa 1969
2. A. Ameljańczyk "Optymalizacja wielokryterialna", WAT Warszawa 1986
3. J. Czujew "Badanie operacji w wojsku", MON 1972
4. R. Kolman "Ilościowe określanie jakości", PWE Warszawa 1973
5. B. Korzan "Elementy teorii grafów i sieci", WNT Warszawa 1978
6. J. Krempa, B. Mażbic-Kulma "Elementy logiki, teorii mnogości i algebry", WNT Warszawa 1977
7. D. Przeworska-Rolewicz "Wstęp do analizy algebraicznej i jej zastosowań", WNT Warszawa 1979
8. D. Przeworska-Rolewicz "Przestrzenie liniowe i operatory liniowe", WAT Warszawa 1973
9. A. Rogucki "Analiza systemów w planowaniu obrony", 1975
10. P. Sienkiewicz "Teoria efektywności systemów kierowania" Rozprawa habilitacyjna, ASG 1979
11. Cz. Sochal "Rozpoznanie wojskowe", MON 1975
12. E.S. Wentcel "Wstęp do badań operacyjnych", MON 1968
13. Praca zbiorowa "Wybrane metody optymalizacji decyzji", Sztab Generalny WP 1977
14. "Charakterystyka obiektów jako przedmiotów rozpoznania", MON 1972
15. "Zastosowanie współczesnych metod logiczno-matematycznych w rozpoznaniu", Sztab Generalny WP 1977
16. Г. Кейслер, Ч. Ч. Чэн "Теория моделей", изд. "Мир" Москва 1977

17. В.С. Королюк "Справочник по теории вероятностей и математической статистике", "Наукова Думка" Киев 1978

18. Э. Мендельцон "Введение в математическую логику", изд."Наука" Москва 1976

Wykonano w 5 egzemplarzach
Egz. nr 1 - 5 bibl. ASG WP
Wyk. A. Grochalski tel. 13715
L. Kwiatek tel. 14767
Druk. IBM PC F1 WII
Nr ks. ewid. PF1/RWD-10/PF39